Rapport de sécurité

Remplacement de la centrale nucléaire de Beznau



Demande d'autorisation générale pour le remplacement de la centrale nucléaire de Beznau

Requérante : Ersatz Kernkraftwerk Beznau AG

Établi par : **Resun AG**, société de planification commune aux Axpo-Konzerngesellschaften Nordostschweizerische Kraftwerke AG et Centralschweizerische Kraftwerke AG
ainsi qu'à BKW FMB Energie AG

Toutes les cartes sont reproduites avec l'autorisation de swisstopo (BM082270)

Résumé

Introduction

Selon l'article 12 de la Loi sur l'énergie nucléaire (LENu ; RS 732.1) [1] quiconque entend construire ou exploiter une installation nucléaire doit avoir une autorisation générale délivrée par le Conseil fédéral. Pour lancer la procédure d'autorisation, la demande doit s'accompagner des documents requis conformément à l'art. 42 LENu. En vertu de l'art. 23 de l'Ordonnance fédérale sur l'énergie nucléaire (OENu ; RS 732.11) [2] , il s'agit surtout du rapport de sécurité, du rapport de sûreté, du rapport d'impact sur l'environnement, du rapport relatif à la concordance avec l'aménagement du territoire, du concept de désaffectation ainsi que du justificatif de l'évacuation des déchets radioactifs produits par l'installation.

Pour l'essentiel, la conception du rapport de sécurité correspond aux exigences stipulées à l'art. 23 OENu. Un objectif important du rapport de sécurité est l'appréciation du site d'implantation et de son adéquation pour la construction et l'exploitation d'une centrale nucléaire.

Les partenaires de la requérante ont acquis de longues années d'expérience dans l'étude, la construction et l'exploitation d'installations nucléaires. Les centrales nucléaires existantes KKB 1 et 2, ainsi que la KKM, ont fait preuve d'un très bon comportement en matière de sécurité et d'exploitation depuis les années 70. Elles ont été rééquipées en permanence, afin de toujours suivre l'évolution des sciences et des techniques.

Les documents préparés dans le cadre de la demande d'autorisation générale ont été établis et vérifiés à l'aide d'un dispositif minutieux d'assurance qualité, et validés. De plus, un examen externe (audit) a permis de garantir que les processus de qualité correspondent effectivement aux exigences fixées.

Utilisation et caractéristiques de l'installation nucléaire

Le but de l'installation est d'utiliser l'énergie nucléaire pour produire de l'électricité tout en incluant la gestion des biens nucléaires, le conditionnement et l'entreposage de déchets radioactifs provenant de l'installation même et d'autres installations nucléaires en Suisse. En option, elle sert à fournir de la chaleur industrielle ou urbaine.

Les cartes détaillées renseignent sur la nature, la taille et la disposition approximative de l'installation générique, y compris les ouvrages essentiels. Un photomontage permet de visualiser à quoi l'installation nucléaire pourrait ressembler. Des stockages provisoires pour les éléments de combustible usés ainsi qu'un bâtiment pour le conditionnement et l'entreposage provisoire de déchets à faible et moyenne activité sont également prévus.

Il est prévu de doter la centrale nucléaire de remplacement d'un réacteur à eau légère d'une puissance électrique nette de 1450 MWe avec une tolérance de plus ou moins 20%. Le réseau électrique est conçu pour recevoir l'énergie produite par la centrale. Le système de refroidissement du réacteur se compose d'un circuit de refroidissement fermé et d'une tour de refroidissement hybride fonctionnant avec du courant d'air forcé selon le principe de refroidissement combiné sec et humide. Cela permet d'éviter dans une large mesure les traînées de vapeur visibles et de réduire sensiblement la hauteur de la tour de refroidissement.

Caractéristiques du site

Données géographiques et démographiques

Les conditions géographiques, la répartition démographique ainsi que l'utilisation du sol ne présentent pas de particularités défavorables à un site d'implantation de centrale nucléaire. Il est possible de préparer et de mettre en œuvre des mesures de protection d'urgence conformément aux ordonnances en vigueur y afférant (Ordonnance sur la protection en cas d'urgence au voisinage d'installations nucléaires [65] et Ordonnance relative à l'organisation d'intervention en cas d'augmentation de la radioactivité OROIR [64]).

Aucune installation industrielle à proximité du site n'est susceptible de représenter un risque pour la sécurité de la centrale nucléaire. Cela vaut également pour le trafic sur les routes et les voies ferroviaires.

Le site est bien desservi pour les phases de construction et d'exploitation. Compte tenu des diverses possibilités d'accès redondantes et séparées dans l'espace, l'accès au site ne pourrait pas être entièrement interrompu par des contingences industrielles ou accidentelles. L'adéquation du site est donc démontrée, tant en cas d'exploitation normale qu'en cas d'urgence.

Le site n'est pas dans le voisinage immédiat d'aéroports. La fréquence calculée d'un accident d'avion ou d'hélicoptère est faible et ne remet en aucun cas en question l'adéquation du site, que ce soit aujourd'hui ou à l'avenir. Les exigences relatives à la conception de la centrale nucléaire tiennent compte de l'impact et des conséquences d'une chute d'avion telles que l'embrasement du carburant et la dispersion des débris.

Météorologie et climat

Les conditions météorologiques du site sont bien documentées et évaluées. Le climat correspond aux conditions typiques d'Europe occidentale pour une faible altitude. Il est en principe approprié pour la construction et l'exploitation d'une centrale nucléaire. Les valeurs extrêmes de températures de l'air et de l'humidité sur site ne constituent pas des conditions marginales inhabituelles pour la conception et le dimensionnement.

De même, les paramètres spécifiques au site eu égard aux répercussions du vent, de la pluie, de la neige et de la température n'excèdent pas les valeurs limites fixées usuellement pour la conception et le dimensionnement des ouvrages et infrastructures. Cela vaut également pour la fréquence et/ou l'intensité d'éventuels risques météorologiques tels la foudre, les vents violents et les tornades.

Vu la situation en vallée dans le Mittelland, il existe un certain risque de givrage pour les composants devant être refroidis par de l'air extérieur. Ce risque, ainsi que les influences de changements climatiques, seront pris en compte lors de la conception de l'installation, mais ne remettent pas en question l'adéquation du site.

Hydrologie

Les écarts de températures et du niveau des eaux fluviales correspondent aux conditions habituelles rencontrées en Europe centrale. En hiver et en été, l'on peut constater des étiages saisonniers. Ce fait a été pris en compte lors du choix du système de refroidissement du réacteur et le sera encore ultérieurement lors de la conception de l'installation. Ces conditions hydrologiques ne remettent pas en question l'adéquation du site.

Des analyses ont été effectuées quant à d'éventuels risques d'inondation suite à des ruptures de barrage ainsi qu'aux conséquences d'une crue exceptionnelle - survenant tous les 10 000 ans. Dans ce dernier cas, l'île serait inondée. La conception de l'installation prend en compte les mesures de protection contre les crues, par des mesures de rehaussement du terrain ainsi que de protection des ouvrages et des équipements. L'inondation potentielle en cas de crue ne remet pas en question l'adéquation du site.

Géologie et sismologie

Les données relatives à la géologie, au sol de fondation et aux risques sismiques peuvent être considérées comme fiables, celles-ci s'appuyant sur une banque de données approfondies et entretenues depuis des décennies ainsi que sur l'étude PEGASOS. Les propriétés et la résistance favorables du sol de fondation étayent le choix du site. Compte tenu des résultats de l'étude des risques sismiques, l'on ne s'attend à aucune difficulté quant à la maîtrise d'accidents dues à des secousses telluriques ni en ce qui concerne le respect des critères de sécurité correspondants. L'adéquation du site est démontrée.

Tous les bâtiments et équipements liés à la sécurité sont conçus aux éventuels effets d'un tremblement de terre ainsi qu'aux possibles événements consécutifs afin d'éviter les accidents en découlant.

Raccordement au réseau

Le site d'implantation retenu est au centre du réseau haute tension suisse. La topologie du réseau permet d'absorber l'alimentation supplémentaire d'une puissance de 1 450 MWe avec une marge approximative de plus ou moins 20%. Les capacités de raccordement, la fiabilité du réseau existant ainsi que les installations de couplage y afférentes avec des niveaux d'alimentation séparés de 380 kV et 220 kV permettent une exploitation irréprochable des installations nucléaires.

Évaluation globale du choix du site

Le choix du site se fonde sur les caractéristiques favorables suivantes :

- conditions météorologiques stables
- quantités d'eau suffisantes aux fins de refroidissement
- eaux souterraines abondantes
- bonne desserte au réseau haute tension, au réseau routier et au réseau ferroviaire
- formations géologiques stables et sol de fondation de qualité
- zone à faible activité sismique par rapport au reste du pays
- environnement à faible densité de population, en majeure partie boisé ou exploité à des fins agricoles
- absence d'installations industrielles dans les environs et exclusion des risques associés
- bonnes caractéristiques de sécurisation des bâtiments.

Les événements identifiés suite aux études réalisées ne remettent pas en cause le choix du site. Compte tenu des avancées scientifiques et techniques actuelles ces risques peuvent être maîtrisés par le biais notamment de mesures de construction, de conception technique et d'organisation ou encore par d'autres mesures. Les mesures seront définies plus précisément dans le cadre de la procédure d'octroi de l' autorisation de construire.

Radioprotection

Le rapport de sécurité traite exclusivement des risques liés aux rayonnements ionisants.

Les indications relatives à l'exposition probable au rayonnement dans le voisinage de l'installation dans des conditions normales d'exploitation et en cas d'incidents d'exploitation ont été présentées selon l'art. 23 OENu. Toutes les valeurs limites, limites et valeurs de référence seront respectées. L'on s'attend à ce que l'exposition au rayonnement dans le voisinage de l'installation soit comparable aux installations modernes déjà existantes en Suisse.

Étant donné que la centrale nucléaire de remplacement sera construite à proximité immédiate de l'actuelle installation KKB, les deux installations peuvent être considérées, d'un point de vue radiologique, comme une source unique de rayonnement sur un seul site avec une seule valeur directrice de dose spécifique à la source. Dans le cas d'une exploitation du site par différents organismes, ceux-ci devront convenir d'un dispositif contractuel. Les valeurs limites fixées par l'autorité de surveillance seront respectées.

Dans le cadre de la demande de, des analyses d'incidents radiologiques, telles qu'exigées par l'Art.8 de l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire (OENu) et l'Art. 94 de l'Ordonnance sur la radioprotection (ORaP)(ORaP ; RS 814.501) [4] sont effectuées afin de prouver que les valeurs limites d'incidents radiologiques requises sont respectées.

Aspects personnels, organisationnels et humains

Les lignes directrices définies en matière de personnel et d'organisation ainsi que le développement organisationnel prévu ont été déterminés pour les différentes phases du projet. Cela englobe l'appréciation de la faisabilité de mesures de protection d'urgence. Les programmes concrets pour leur mise en œuvre sont décrits dans le cadre de la demande de l'autorisation de construire. Un programme de gestion de la qualité pour les phases d'étude et de construction du projet sera préparé, déposé et mis en œuvre à cet effet (art. 24, al. 2, let. d OENu).

L'ingénierie nucléaire et des Facteurs Humains et Organisationnels (IFH & O) est considérée dès le départ comme un ensemble. Pour l'autorisation de construire et l'autorisation d'exploitation d'une installation nucléaire, l'on ne tient pas seulement compte du système technique en soi, mais aussi du système sociotechnique comme un tout.

L'interaction homme – technique – organisation est ainsi établie afin que les processus de conduite de projet et d'exploitation se déroulent sans heurt et en temps utile et que les exigences légales en matière de sécurité nucléaire soient satisfaites. Les effectifs, la formation et la mobilisation du personnel seront organisés de manière à assurer au projet les compétences techniques et méthodologiques requises.

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Objet du rapport	1
1.2	Autorisation générale	1
1.3	Structure du rapport de sécurité	1
1.4	Expérience de la requérante	2
1.5	Gestion de la qualité	3
2	Description du projet	5
2.1	But du projet	5
2.2	Vue d'ensemble du site	5
2.2.1	Description générale	5
2.2.2	Installations existantes	7
2.2.3	Projets envisagés	11
2.2.4	Desserte de l'île	13
2.3	Grandes lignes du projet	14
2.3.1	Introduction	14
2.3.2	Système de réacteur et classe de puissance	15
2.3.3	Système primaire de refroidissement du réacteur	15
2.3.4	Dimensions et disposition des principaux bâtiments	16
2.3.5	Stockage des éléments de combustible irradiés et d'autres déchets de haute activité (HAA)	24
2.3.6	Conditionnement et stockage des déchets de moyenne et de faible activité	26
2.3.7	Systèmes d'eau de refroidissement et source froide	27
2.4	Exigences légales en matière de sécurité	29
2.4.1	Principes et mesures de protection	29
2.4.2	Conception	30
2.4.3	Protection contre les accidents	31
2.4.4	Analyses des accidents	32
2.4.5	Accidents hors référence	41

2.5	Classification des systèmes, structures et composants	42
3	**Caractéristiques et adéquation du site**	**43**
3.1	Introduction	43
3.2	Géographie et répartition démographique	45
3.2.1	Introduction	45
3.2.2	Situation du site	45
3.2.3	Utilisation de l'île	49
3.2.4	Répartition et évolution démographiques	50
3.2.5	Occupation des sols dans la région	70
3.2.6	Événements extérieurs	74
3.2.7	Évaluation de l'adéquation du site en relation avec les conditions géographiques et la répartition démographique	74
3.2.8	Application pour les mesures de protection en cas d'urgence	75
3.2.9	Annexe 1 : Chiffres actuels de la population des communes situées dans un rayon de 20 km	75
3.2.10	Annexe 2 : Évolution de la population des communes dans un rayon de 20 km	82
3.2.11	Annexe 3 : Lieux de travail et personnes actives dans un rayon de 20 km	88
3.2.12	Annexe 4 : Occupation des sols dans un rayon de 10 km (ha)	94
3.2.13	Annexe 5 : Occupation des sols dans un rayon de 20 km (ha)	97
3.3	Installations industrielles et voies de communication	105
3.3.1	Introduction	105
3.3.2	Installations industrielles	105
3.3.3	Installations militaires	112
3.3.4	Effets d'accidents majeurs sur des installations de gaz naturel sous haute pression	113
3.3.5	Voies de communication et de transport au sol	118
3.3.6	Autres événements	124
3.3.7	Trafic aérien	125
3.3.8	Événements extérieurs	128
3.3.9	Evaluation du site quant aux dangers présentés par des installations industrielles et des voies de communication	129

3.3.10	Mise en œuvre lors de la conception	130
3.3.11	Annexe 6 : Méthode de calcul de la fréquence de chute d'aéronefs civils et militaires et d'hélicoptères	130
3.4	Météorologie et climat	141
3.4.1	Saisie des données météorologiques	141
3.4.2	Méthodes	144
3.4.3	Séries chronologiques	144
3.4.4	Comparaison des différents sites	145
3.4.5	Analyse climatologique des données	148
3.4.6	Événements externes	220
3.4.7	Evaluation de l'adéquation du site compte tenu du climat	222
3.4.8	Mise en œuvre lors de la conception	222
3.4.9	Annexe 7 : Paramètres relatifs à la sécurité résultant de l'analyse	226
3.4.10	Annexe 8: Méthodes	229
3.4.11	Annexe 9 : Statistique des températures	234
3.4.12	Annexe 10: Statistique de vitesse du vent	242
3.4.13	Annexe 11 : Roses des vents pour chaque mois sur les sites de Bâle, Buchs, Beznau et PSI	245
3.4.14	Annexe 12 : Corrélation entre la répartition des vents, les catégories de diffusion et le volume des précipitations / classes de diffusion selon le document KTA 1508	250
3.4.15	Annexe 13 : Événements météorologiques violents de type tornade en Suisse	262
3.5	Eaux de surface	265
3.5.1	Introduction	265
3.5.2	Caractéristiques du bassin de réception	266
3.5.3	Mesures de niveaux et crues historiques	271
3.5.4	Exploitation des crues ayant une annualité déterminée	274
3.5.5	Débit caractéristique et étiage	280
3.5.6	Barrage	285
3.5.7	Inondation	286
3.5.8	Caractéristiques des eaux de l'Aar	299

3.5.9	Formation de givre	301
3.5.10	Evénements externes	303
3.5.11	Estimation du site quant aux eaux de surface	304
3.5.12	Mise en œuvre lors de la conception	305
3.5.13	Annexe 14 : Grandes crues historiques du Rhin et de l'Aar près d'Untersiggenthal (1200 à 1900)	306
3.5.14	Annexe 15 : fréquence de l'englacement et de la débâcle	309
3.5.15	Annexe 16 : Conditions de formation du gel de l'Aar	311
3.6	Eaux souterraines	317
3.6.1	Vue d'ensemble	317
3.6.2	Eaux souterraines dans les environs du site	318
3.6.3	Eaux souterraines dans les environs du site	321
3.6.4	Exploitation des eaux souterraines dans la vallée inférieure de l'Aar	326
3.6.5	Caractéristiques des eaux souterraines et fluviales dans la vallée inférieure de l'Aar	330
3.6.6	Effets possibles d'une EKKB sur les eaux souterraines	346
3.6.7	Productivité de la nappe souterraine pour le refroidissement de secours	354
3.6.8	Evénements externes	383
3.6.9	Evaluation de l'adéquation du site	383
3.6.10	Mise en œuvre lors de la conception	384
3.6.11	Annexe 17 : Propriétés chimiques des eaux souterraines	386
3.6.12	Annexe 18 : Température des eaux souterraines et de l'Aar	392
3.7	Géologie, sol de fondation et aléa sismique	397
3.7.1	Géologie	397
3.7.2	Propriétés du sol de fondation	427
3.7.3	Sismologie et risque de séismes spécifique au site	438
3.7.4	Données sismologiques sur le site	475
3.7.5	Evénements extérieurs	477
3.7.6	Evaluation de l'adéquation du site	477
3.7.7	Application à la conception de l'installation	479

3.8	Caractéristiques du réseau électrique et raccordement	483
3.8.1	Le nœud de réseaux de Beznau	483
3.8.2	Disponibilité du réseau	486
3.8.3	Evénements externes	488
3.8.4	Evaluation du site du point de vue du raccordement au réseau	489
3.8.5	Application à la conception de l'installation	490
3.9	Actes illicites (UEW)	491
3.10	Autres événements	493
3.11	Résumé	495
4	**Radioprotection et exposition aux radiations**	**497**
4.1	Introduction	497
4.2	Exigences légales	497
4.2.1	Principes généraux	497
4.2.2	Exigences légales pour la demande d'autorisation générale	499
4.2.3	Principes de la conception de l'installation du point de vue de la radioprotection	499
4.3	Justification de l'exposition aux radiations et optimisation de la protection	501
4.4	Protection des personnes à l'intérieur de l'installation	502
4.5	Exposition aux rayonnements aux alentours de l'installation	503
4.5.1	Valeur directrice de dose liée à la source (VDDLS)	503
4.5.2	Respect de la limite d'exposition	504
5	**Données relatives au personnel et à l'organisation**	**509**
5.1	Introduction	509
5.2	Principes de l'organisation et de l'évolution des effectifs	510
5.3	Organisation et évolution des effectifs	511
5.3.1	Importance de la gestion des procédures d'autorisation	512
5.3.2	Phases du projet	514
5.4	Mesures de protection d'urgence	520
6	**Références**	**521**

Index des figures 527

Index des tableaux 539

Liste des abréviations 549

Glossaire 553

Glossaire des figures 573

1 Introduction

1.1 Objet du rapport

Le présent rapport constitue le rapport de sécurité conformément à l'article 23, let. a de l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire (OENu) (RS 732.11) [2] destiné à la demande d'autorisation générale pour une centrale nucléaire située sur le site de Beznau (ci-après l'EKKB). Cette centrale comprend la centrale nucléaire de remplacement de Beznau ainsi que des installations pour le stockage d'éléments de combustible irradiés et celui de déchets radioactifs. La requérante est la Centrale nucléaire de remplacement de Beznau S.A. [Ersatz Kernkraftwerk Beznau AG] dont le siège se trouve à Döttingen dans le canton d'Argovie.

1.2 Autorisation générale

Selon l'article 12 de la Loi sur l'énergie nucléaire (LENu ; RS 732.1)[1], la construction et l'exploitation d'une centrale nucléaire sont soumises à une autorisation générale du Conseil fédéral. En vertu de l'article 42 de la LENu, la demande d'autorisation générale (DAG) doit s'accompagner des documents requis.

Conformément à l'article 23 de l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire, la requérante d'une autorisation générale doit fournir les dossiers d'accompagnement suivants :

- Rapport de sécurité (présent rapport)
- Rapport de sûreté
- Rapport d'impact sur l'environnement
- Rapport relatif à la concordance avec l'aménagement du territoire
- Concept de désaffectation
- Justificatif de l'évacuation des déchets radioactifs.

1.3 Structure du rapport de sécurité

La structure du rapport de sécurité suit en substance les exigences formulées à l'article 23 de l'OENu.

Le rapport de sécurité porte, de principe, sur la centrale nucléaire de remplacement (EKKB) et sur son site. Les centrales KKB 1 et 2, et le stockage provisoire de la centrale nucléaire de Beznau (ZWIBEZ) sont pris en compte, dès lors que l'installation est considérée dans son intégralité. Les blocs KKB 1 et 2 disposent d'une autorisation d'exploitation à durée indéterminée et il est prévu de les exploiter conjointement à l'EKKB jusqu'à leur désaffectation respective[1]. Les aspects organisationnels y afférant sont traités au chapitre 5.

Le chapitre 2 décrit l'objectif et les caractéristiques du projet et fournit une vue d'ensemble du site. Les lois et réglementations devant être respectées sont résumées avec des données

[1] La NOK entend mettre l'actuelle centrale nucléaire de Beznau le plus rapidement possible hors service après la mise en service de la centrale de remplacement (EKKB). Cependant, l'exploitation parallèle des deux installations est, à l'heure actuelle, éventuellement nécessaire afin de continuer à garantir la sécurité d'approvisionnement de la NOK et des partenaires participant au projet de remplacement de la centrale durant la première phase suivant la mise en service de l'EKKB.

concernant la classification des systèmes, structures et composants. Les événements extérieurs et les exigences en matière de protection contre les accidents font l'objet d'un résumé.

Le chapitre 3 expose les caractéristiques du site et présente une évaluation du choix du site. La possibilité et les répercussions d'événements extérieurs sont exposées conjointement au respect des objectifs de protection. Il décrit également le processus de mise en œuvre des caractéristiques du site dans la conception de la centrale.

Le chapitre 4 traite des principales exigences posées en matière de radioprotection ainsi que de l'exposition prévisible aux rayonnements aux environs immédiats de l'installation.

Le chapitre 5 décrit les principaux aspects personnels,organisationnels et humains qui incluent également les données relatives à l'organisation d'interventions en cas d'urgence.

1.4 Expérience de la requérante

Les sociétés Nordostschweizerische Kraftwerke AG (NOK), Centralschweizerische Kraftwerke AG (CKW) et BKW FMB Energie S.A. (BKW) ont constitué un partenariat visant à poursuivre leur mission d'approvisionnement énergétique de la Suisse et de protection du climat. L'objectif est de planifier et de construire en temps utile les centrales nucléaires de remplacements de Beznau (EKKB) et de Mühleberg (EKKM).

La requérante est la société de construction et d'exploitation « Centrale nucléaire de remplacement de Beznau S.A. », dont le siège est à Döttingen dans le canton d'Argovie. Il s'agit d'une filiale commune à NOK, BKW-FMB et CKW.

Les partenaires disposent de plusieurs années d'expérience dans l'étude, la construction et l'exploitation d'installations nucléaires.

La NOK est l'unique propriétaire et exploitante de la centrale nucléaire de Beznau qui a deux réacteurs à eau sous pression. La BKW-FMB est l'unique propriétaire et exploitante de la centrale nucléaire de Mühleberg qui dispose d'un réacteur à eau bouillante. La centrale nucléaire de Beznau est en exploitation depuis 1969, celle de Mühleberg depuis 1972. Ces deux centrales ont toujours fait preuve, tant l'une que l'autre, d'un très bon comportement, aussi bien sur le plan de la sécurité que de l'exploitation. Elles ont été régulièrement rééquipées afin d'être toujours au niveau le plus récent des techniques.

Avec ses sociétés sœurs de Axpo Holding S.A., NOK est actionnaire majoritaire tandis que la BKW-FMB, avec une participation de 9.5%, est actionnaire minoritaire de la société Kernkraftwerk Leibstadt AG [Centrale nucléaire de Leibstadt S.A]., exploitante de la centrale nucléaire de Leibstadt. Depuis 1999, la NOK est responsable de la direction de cette centrale sur mandat du Conseil d'administration.

Par ailleurs, les sociétés NOK et CKW détiennent des participations dans la centrale nucléaire de Gösgen.

De plus, les sociétés Axpo et BKW-FMB disposent de droits de prélèvement pour la fourniture d'énergie (contrats d'importation) dans des centrales nucléaires françaises.

1.5 Gestion de la qualité

Les documents préparés pour la demande d'autorisation générale (cf. chap. 1.2) ont été établis, examinés et validés pour utilisation conformément au programme de gestion de la qualité de la NOK et de Resun ainsi que selon des directives spécifiques au projet. Les processus y afférents sont résumés ci-après :

Les tâches, les responsabilités et l'échéancier pour les dossiers de l'autorisation générale sont définis dans une directive spécifique au projet (Project Master Plan). Les exigences transversales aux documents de la DAG et les exigences spécifiques aux différents rapports de la DAG sont définies dans le document « Plan de la qualité » (quality-plan). Le Plan de la qualité de la NOK était valable jusqu'au 30.09.2008. Il a ensuite été remplacé par le Plan de la qualité de la société Resun S.A. Les sociétés NOK, BKW-FMB et CKW sont désormais propriétaires de la société Resun S.A. qui est chargée d'élaborer les dossiers de demande de la DAG à compter du 01.10.2008.

Le plan de qualité définit les processus d'examen, de vérification et d'approbation (Approval) des documents. Par « examen » l'on entend les divers examens techniques menés par des spécialistes. La dernière étape a consisté en vérifications au cours desquelles l'ensemble du dossier a été examiné parallèlement par un groupe de spécialistes. Les résultats ont été documentés dans les tableaux et remaniés individuellement par les auteurs / vérificateurs jusqu'à l'obtention d'un consensus. Outre des collaborateurs de Resun, des collaborateurs expérimentés en matière de centrales nucléaires ainsi que des experts externes ont été impliqués dans ces examens et vérifications. La participation des collaborateurs des centrales nucléaires, ou des maisons-mères a porté principalement sur les domaines suivants du projet : radioprotection, gestion des déchets, personnel et organisation, caractéristiques du réseau, géologie / sismologie, hydrologie, sûreté et prévention des accidents majeurs. L'examen général des dossiers de la demande relatifs à l'énergie nucléaire a été confiés à des experts externes bénéficiant d'une longue expérience dans le domaine des études de faisabilité et de l'exploitation des centrales nucléaires.

Le processus de vérification a été soumis à une évaluation externe afin de garantir qu'il se déroule selon des critères convenant à l'assurance de la qualité et conformément aux prescriptions existantes. L'évaluation du processus de vérification a été effectuée par un auditeur expérimenté et les résultats ont été documentés.

Dans le cadre de l'élaboration de la demande de l'autorisation de construire, un programme de gestion de la qualité est préparé, fourni et mis en œuvre pour les phases d'étude et d'exécution du projet (art. 24, al. 2 let. d OENu). Les aspects de la gestion de la qualité sont également décrits au chapitre 5.

Des personnes et organisations faisant état des connaissances et de l'expérience requises ont été mandatées pour réaliser la description et l'analyse des caractéristiques du site. Cela s'applique notamment au traitement des sujets suivants : géologie / sismologie / sol de fondation, hydrologie, eaux souterraines, météorologie / climat, industrie, géographie et étude démographique. La participation des experts de la NOK a principalement concerné les domaines de l'hydrologie et des caractéristiques du réseau. Dans les domaines « Radioprotection », ou« Personnel et organisation », l'on a impliqué des collaborateurs des centrales nucléaires de Beznau et de Leibstadt. Lesdits collaborateurs bénéficient d'expérience quant à la radioprotection

opérationnelle, au calcul et à l'évaluation des rejets radioactifs ou en ce qui concerne les aspects inhérents à la sécurité de l'organisation et à la documentation de la base conceptuelle.

Les documents techniques fondamentaux ont été élaborés dans les règles de l'art afin de pouvoir servir de base aux futures étapes de l'étude (e.a. à l'élaboration du rapport sur la conformité du projet avec l'autorisation générale, conformément à l'article 24, al. 2, let. g OENu).

L'accompagnement de la demande d'autorisation générale et la préparation de la demande de l'autorisation de construire sont intégrés dans le programme de gestion de la qualité de Resun. Dans ce cadre, les dispositions juridiques (OENu, art. 25) ainsi que les bases pertinentes (p. ex. normes ISO, AIEA GS-R-3 et Manuels de sécurité importants y afférents, en particulier GS-G-3.1 et
GS-G-3.5) sont notamment prises en considération.

2 Description du projet

2.1 But du projet

Le but de l'installation est d'utiliser l'énergie nucléaire pour produire de l'électricité, tout en incluant la gestion des biens nucléaires, le conditionnement et le stockage temporaire de déchets radioactifs provenant de l'installation même et d'autres installations nucléaires en Suisse. En option, elle sert à fournir de la chaleur industrielle ou de la chauffage urbain.

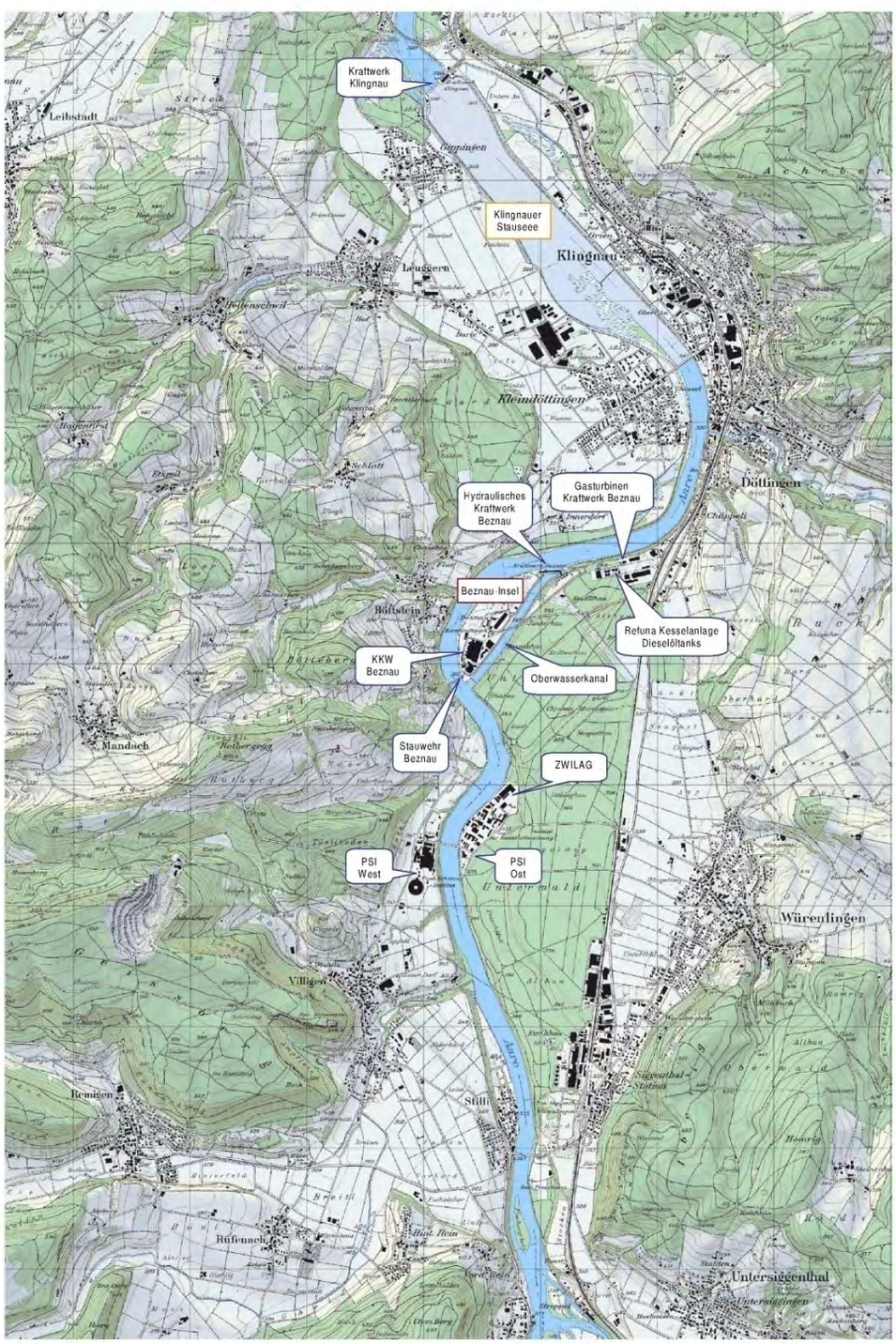
2.2 Vue d'ensemble du site

2.2.1 Description générale

L'actuelle centrale nucléaire de Beznau, comportant les installations KKB 1 et 2 ainsi que le stockage provisoire ZWIBEZ, se situe dans la vallée inférieure de l'Aar, sur l'île de Beznau. Le site appartient à la commune de Döttingen et jouxte, à l'ouest, la commune de Böttstein (Fig. 2.2-1). Les deux communes font partie du district de Zurzach dans le canton d'Argovie. Il est prévu de réaliser la future EKKB sur l'île, au nord/nord-est de l'actuelle installation nucléaire.

L'île, d'environ 1 100 m de long sur 300 m de large, se situe entre 326 m et 327 d'altitude. Elle est délimitée à l'ouest par le cours naturel de l'Aar et à l'est par le canal supérieur artificiel. La NOK est propriétaire de l'île. Certains secteurs de l'île sont actuellement accessibles au public.

Fig. 2.2-1 : Vue d'ensemble du site et des environs



Le site présente les caractéristiques suivantes :

- apport d'eau suffisant aux fins de refroidissement
- nappe phréatique abondante
- formations géologiques stables et sol de fondation de qualité
- zone à faible activité sismique sur une base de comparaison nationale
- bonne infrastructure grâce au réseau haute tension et aux réseaux routier et ferroviaire
- bonnes conditions générales en termes de sûreté de l'installation en raison de l'accès limité.

La superficie prévue pour la mise en exploitation de la nouvelle installation se situe à l'intérieur de la zone industrielle de la commune de Döttingen. La conformité du projet avec l'aménagement du territoire est exposée dans un rapport séparé.

De plus amples informations sur le site et ses caractéristiques sont détaillées au chapitre 3.

2.2.2 Installations existantes

La centrale nucléaire actuelle de Beznau se compose au total des deux centrales KKB 1 et 2 ainsi que d'un stockage provisoire pour les déchets radioactifs (ZWIBEZ), dont les Fig. 2.2-2, Fig. 2.2-3 et Fig. 2.2-4 permettent de visualiser la situation sur le terrain d'implantation du site. Il est prévu de construire l'EKKB avec les bâtiments de stockage pour les déchets radioactifs et les éléments de combustible usés au nord du bloc 2 comme le représente la Fig. 2.3-1. La situation approximative, la taille et la disposition de tous les ouvrages sont décrites au chapitre 2.3.4.

Fig. 2.2-2 : Installations existantes sur l'île de Beznau (vue du sud)



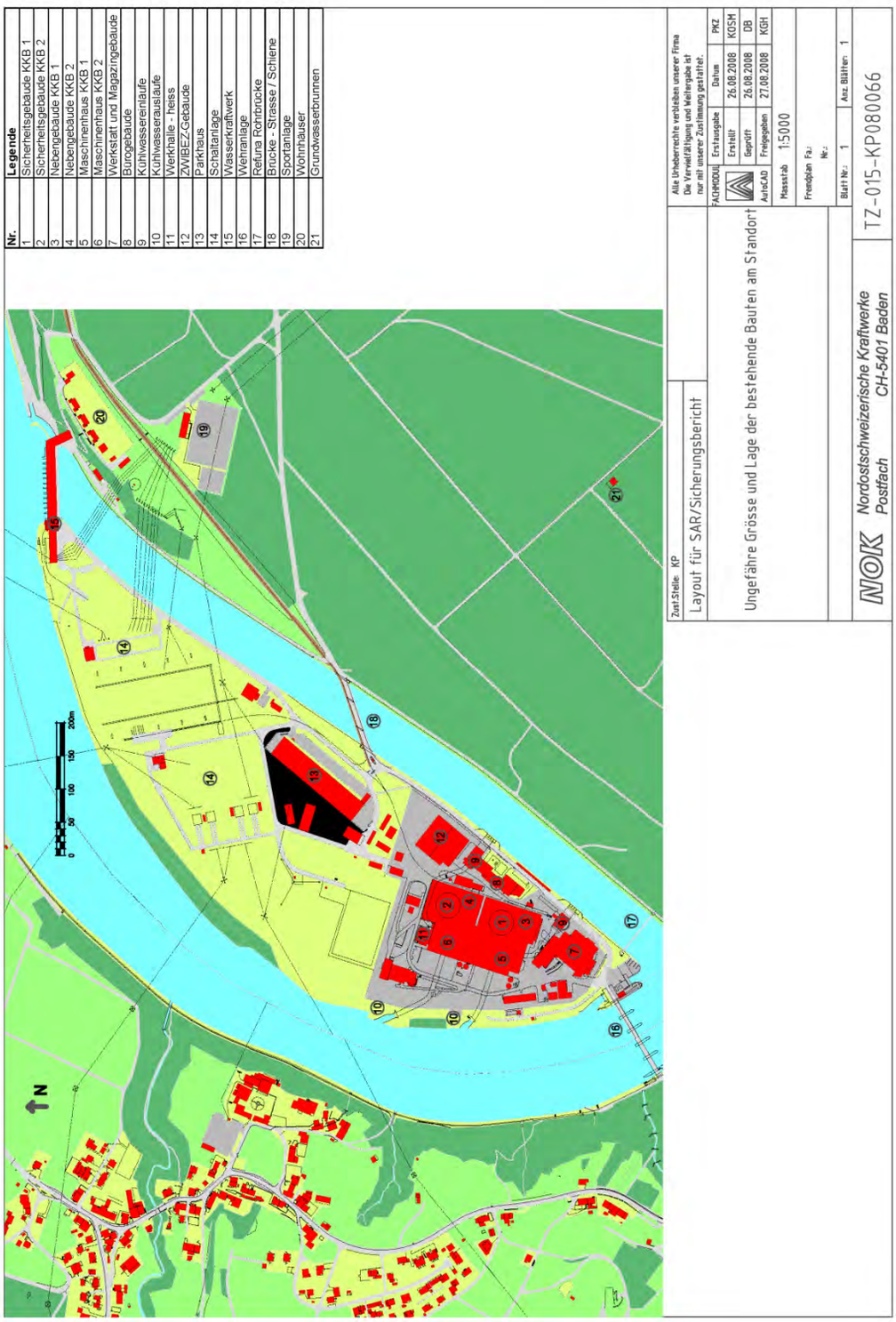
Au premier plan, le barrage de Beznau et, à droite, le pont pour conduites de la REFUNA. À l'arrière-plan, la centrale hydraulique à l'extrémité du canal supérieur. KKB 1 et 2 se trouvent au centre. Le ZWIBEZ, reconnaissable par sa façade verte, se situe légèrement au sud du pont routier.

Fig. 2.2-3 : Installations existantes sur l'île de Beznau (vue du nord)



Au premier plan, la centrale hydraulique de Breznau. Au centre, le poste de commutation du réseau suprarégional et le bâtiment de l'ancien poste de commande de réseau régional. Le poste de commutation sera déplacé vers Stüdlihau (espace vert au sud des habitations – photo au centre à gauche).

Fig. 2.2-4 : Plan des installations existantes sur l'île de Beznau



Actuellement les autres bâtiments suivants, propriétés de la NOK, se trouvent sur l'île :

- La centrale hydraulique de Beznau, à l'extrémité nord de l'île
- Le barrage de Beznau avec l'installation de dotation et la centrale à l'extrémité sud de l'île
- Les postes de commutation (380 kV et 220 kV) du réseau suprarégional (centrale inférieure)
- Le bâtiment de l'ancien poste de commande de réseau régional (RNS)
- Le parking du personnel de la KKB.

En outre, la station météorologique de MétéoSuisse et un poste de commutation de l'AEW S.A. (AEW) se trouvent sur l'île.

Les actuelles installations nucléaires (KKB 1 et 2) ainsi que le stockage provisoire ZWIBEZ ne font pas l'objet de la demande d'autorisation générale. Toutefois, des liens existent entre ces centrales nucléaires et l'EKKB, comme par ex. pour la détermination de la valeur directrice de dose liée à la source (cf. chapitre 4), le concept de sûreté (cf. rapport de sûreté) et l'organisation (cf. chapitre 5).

2.2.3 Projets envisagés

Plusieurs projets sont prévus sur l'île et ses environs avant le début de la construction de l'EKKB. En premier lieu, les centrales actuelles KKB 1 et 2 seront équipées d'une alimentation électrique de secours supplémentaire (Projet AUTANOVE), ce qui permettra à la centrale nucléaire de ne plus dépendre de la centrale hydraulique de Beznau pour son alimentation électrique de secours. Indépendamment de cette modernisation, la centrale inférieure du réseau suprarégional sera déplacée sur Stüdlihau (projet « Stüdlihau ») car il convient de rénover d'importantes parties du poste de commutation et de créer ainsi la place nécessaire aux installations de l'EKKB. Le site de Stüdlihau se trouve sur la rive est du canal supérieur, au sud de la centrale hydraulique (Fig. 2.2-4).

Le plan sectoriel des lignes de transport de l'électricité (contrôle PSE) permettra d'examiner si les modifications du réseau de transport de l'électricité motivées par le déplacement de la centrale inférieure sont soumises à la procédure PSE.

Le PSE est l'instrument d'aménagement et de coordination prééminent de la Confédération pour l'extension et la construction d'un réseau à haute tension d'approvisionnement général (niveaux de tension 220 kV et 380 kV) et des lignes d'approvisionnement en courant de traction (132 kV).

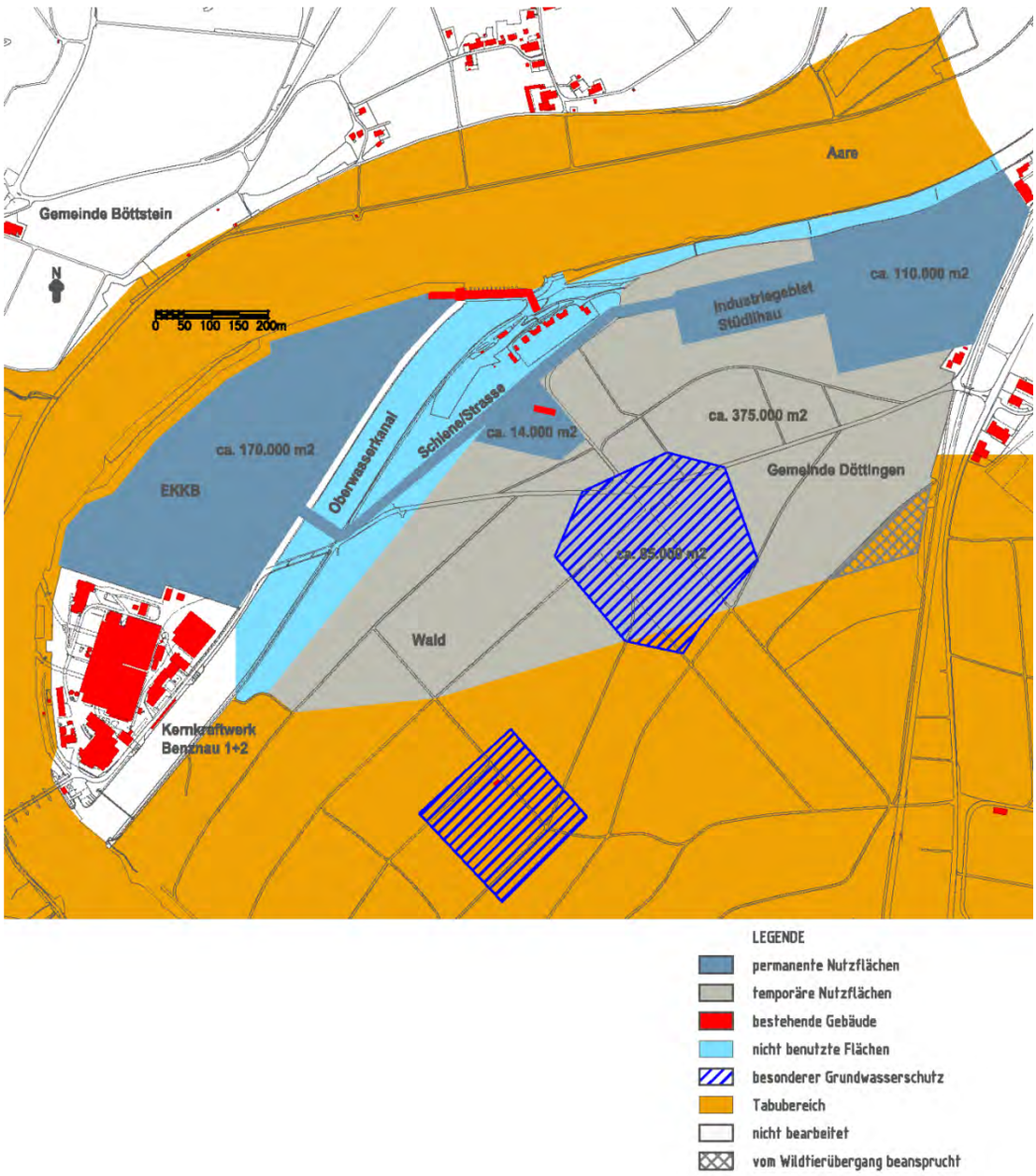
La transformation de la centrale inférieure de Beznau n'est pas soumise à l'autorisation de construire selon la LENu, mais sera effectuée d'après une procédure d'approbation des plans selon l'Inspection fédérale des installations à courant fort (ESTI).

Le déplacement du poste de commutation se déroulera de manière à n'engendrer aucun préjudice à la sécurité pour l'exploitation de la centrale nucléaire existante. L'adéquation de l'intégration au réseau à courant fort pour la future exploitation de l'EKKB sera prise en considération dans la conception du poste de commutation. L'alimentation électrique externe redondante et une exploitation stable du réseau représentent pour ce faire des exigences importantes pour la sécurité. Les caractéristiques du réseau sur le site sont décrites au chapitre 3.8.

La modernisation de la centrale hydraulique peut engendrer des modifications dans les conditions hydrologiques locales (p.ex. cote des crues). Si tel devait être le cas, il conviendrait d'en apprécier les conséquences sur les analyses hydrologiques réalisées pour l'EKKB et, si besoin, d'adapter les analyses (cf. à ce sujet le chapitre 3.5.6).

Avant d'entamer la construction de l'EKKB, il conviendra de préparer des aires temporaires pour les plates-formes de stockage et de montage, les ateliers, les parkings et autres infrastructures nécessaires à la construction de l'EKKB. La plupart de ces aires se situeront essentiellement sur la rive est du canal supérieur, dans la zone industrielle et dans l'Unterwald au sud de la route d'accès depuis Döttingen (cf. Fig. 2.2-5).

Fig. 2.2-5 : Plan avec aires de construction



2.2.4 Desserte de l'île

L'île de Beznau est desservie d'une part par une voie ferroviaire industrielle vers Döttingen et d'autre part par une route cantonale depuis Döttingen et une route d'accès depuis Böttstein qui mènent vers l'île en passant par le barrage de Beznau. La desserte par la route et la voie ferroviaire depuis Döttingen est conçue pour les convois exceptionnels. À l'extrémité sud de l'île, le pont pour conduites de la REFUNA relie l'île à la rive est.

Les travaux de construction de l'EKKB prévoient la réalisation d'un nouveau pont destiné aux convois exceptionnels et au trafic de chantier. L'actuelle ligne ferroviaire depuis Döttingen doit être transformée pour une double utilisation rail-route afin de maîtriser aussi bien les convois exceptionnels que le transport ferroviaire sur cet axe.

Les routes de transport utilisées par les convois exceptionnels doivent être évaluées au regard des limites de poids et d'encombrement. L'on prévoit la nécessité d'assembler sur place certains composants de grande taille tels la cuve du réacteur ou les générateurs de vapeur. Les expériences y afférentes qui existent dans la construction de centrales nucléaires en Suisse seront prises en considération. Par principe, la faisabilité existe et les détails correspondants ainsi que d'éventuelles modifications des voies d'accès seront déterminés dans le cadre de la demande de l'autorisation de construire.

2.3 Grandes lignes du projet

2.3.1 Introduction

Les grandes lignes du projet (art. 14, al. 2 LENu) se définissent par l'indication approximative de la dimension et de l'emplacement des principaux ouvrages, et en particulier :

a pour un réacteur nucléaire : son système, sa classe de puissance, son système primaire de refroidissement ;

b pour un dépôt de matières nucléaires ou de déchets radioactifs : la classification des matières stockées et la capacité maximale de stockage. Par capacité maximale de stockage, l'on entend le volume maximal et le nombre maximal de fûts.

Les installations servant à stocker des matières nucléaires ou à évacuer des déchets radioactifs sont appelées installations nucléaires au sens de l'article 2 de la Loi sur l'énergie nucléaire et nécessitent ainsi une autorisation générale. La présente demande d'autorisation générale inclut l'ensemble de ces installations liées à l'EKKB.

Il est prévu de poursuivre l'exploitation des installations destinées au conditionnement et au stockage des déchets radioactifs en tant qu'installations autonomes (stockages provisoires) après la désaffectation des parties d'installation servant à la production d'électricité, ce qui requiert une désaffectation par étapes de l'EKKB qui est décrite dans le concept de désaffectation. Ce processus optimal avec poursuite de l'exploitation des stockages provisoires fait partie intégrante de la demande d'autorisation générale.

Les installations destinées au conditionnement et au stockage des déchets radioactifs peuvent également être utilisées pour le stockage provisoire des déchets issus de la désaffectation d'autres installations nucléaires de Suisse.

2.3.2 Système de réacteur et classe de puissance

Le système de réacteur se caractérise par un refroidissement et une modération à eau légère (« réacteur à eau légère »).

La classe de puissance est déterminée par la puissance injectée dans le réseau électrique (puissance électrique nette) dans les conditions ambiantes externes normées (conditions ISO pour la température de l'air : 15°C, 1013 mbar, humidité rel. de l'air 60% ; température des eaux fluviales 12°C).

La puissance électrique s'élèvera à 1 450 MWe avec une marge de tolérance d'environ plus / moins 20%.

Le type de réacteur pour l'EKKB n'a pas encore été déterminé. Les données relatives à des types de réacteurs spécifiques ont été utilisées pour certaines évaluations des caractéristiques du site ou pour déterminer les grandes lignes du projet. Ces types de réacteurs mentionnés ou décrits fournissent un échantillonnage des types de réacteurs et des installations afférentes répondant à l'état actuel des techniques. La demande d'autorisation générale doit justifier sur la base de ces données que les exigences légales en matière de sécurité et de sûreté (dans le rapport de sûreté de l'EKKB) de l'installation sont satisfaites.

La sélection ne constitue cependant pas une décision préalable quant au type de réacteur retenu ou au fournisseur. Le choix définitif du type de réacteur et du fournisseur des installations sera adopté au cours de l'élaboration de la demande de l'autorisation de construire dans le cadre des exigences légales en vigueur pour l'acquisition de centrales nucléaires et des installations y afférant.

2.3.3 Système primaire de refroidissement du réacteur

Un système de refroidissement fermé avec tour de refroidissement hybride est retenu pour le circuit primaire qui fournit l'eau destinée au refroidissement du condenseur (turbines à vapeur). La tour de refroidissement, d'une hauteur d'env. 60 m, fonctionne selon le principe du refroidissement combiné sec et humide avec un courant d'air forcé produit par des ventilateurs. Le courant d'air humide provenant de la partie humide de la tour de refroidissement est mélangé à un second courant d'air provenant de la partie sèche de la tour et est ainsi réchauffé jusqu'au point de rosée, ce qui permet d'éviter dans une large mesure les traînées de vapeur visibles.

Dans ce système de refroidissement, l'air ambiant constitue la principale source froide. L'eau réchauffée par le refroidissement du condenseur est refroidie par évaporation d'une partie de l'eau dans la tour de refroidissement. La majeure partie de l'eau est collectée dans le bassin relié à la tour de refroidissement et renvoyée au condenseur. Les pertes d'évaporation sont compensées par l'apport d'eau provenant de l'Aar. Afin d'éviter une trop forte concentration des matières dissoutes dans le circuit d'eau de refroidissement, une petite quantité de l'eau du circuit est évacuée (purgée) en permanence et remplacée par de l'eau prélevée dans l'Aar. L'eau d'appoint est ainsi la somme de l'apport d'eau destiné à compenser les pertes par évaporation et de l'eau de purge. La quantité d'eau d'appoint s'élève à environ 2-3% du débit d'eau total du circuit de refroidissement du réacteur.

Une tour de refroidissement hybride se compose d'une partie destinée à l'évaporation (partie humide) et d'une partie sèche. Dans la partie humide au bas de la tour, l'eau chaude est pulvérisée comme dans une tour de refroidissement à tirage naturel et soumise à une circulation d'air forcée au moyen de grands ventilateurs placés sur la circonférence. Le courant d'air saturé ainsi obtenu est alors mélangé à un deuxième courant d'air dans la partie sèche supérieure. Ce deuxième courant d'air est également aspiré par des ventilateurs et circule par le biais d'échangeurs thermiques recevant eux-mêmes une partie de l'eau chaude. L'humidité relative résultant du mélange de ces deux courants d'air est réglée de manière à limiter dans une large mesure la formation des traînées de vapeur rejetées dans l'environnement, caractéristiques du fonctionnement d'une tour de refroidissement classique à tirage naturel.

L'eau du circuit est collectée dans un bassin inférieur et renvoyée au condenseur. En fonction des conditions météorologiques sur le site, l'on attend que l'air vicié se maintienne la plupart du temps sous la limite de saturation d'humidité, de manière à rendre la quantité de vapeur visible négligeable. Il n'est pas à exclure que des traînées apparaissent en cas de conditions météo exceptionnellement extrêmes (p. ex. grand froid et temps humide). Toutefois, de telles conditions météorologiques apparaissent comme peu vraisemblables sur le site et s'accompagnent la plupart du temps d'une formation de brouillard, de sorte que la vapeur visible sera à peine perceptible.

De l'eau captée dans l'Aar est amenée dans la tour de refroidissement pour compenser les pertes d'évaporation. La quantité d'eau amenée est plus importante que l'eau évaporée de manière à maintenir la chimie de l'eau dans les limites souhaitées. L'eau en surplus est évacuée par la tour de refroidissement et rejetée dans l'Aar. La quantité d'eau rejetée est conditionnée par les pertes d'évaporation qui dépendent des conditions météorologiques et de la puissance. La température de l'eau rejetée variant essentiellement en fonction de la température et de l'humidité de l'air, elle est à son maximum en été. La dispersion attendue de ces valeurs représente une conséquence des différentes conceptions d'installation et des divers paramètres de dimensionnement de la tour de refroidissement ainsi que des conditions météorologiques qui varient selon les saisons. En été, une quantité d'eau de l'Aar est ajoutée et mélangée à l'eau rejetée afin de maintenir la température de l'eau de refroidissement réinjectée en dessous de 30°C. Selon la conception de l'installation, cette opération peut être effectuée par un mélange dans le recyclage d'eau brute secourue.

Le système primaire de refroidissement décrit précédemment n'est pas un système de sécurité, mais appartient à la catégorie des équipements non classés (annexe 4, OENu).

2.3.4 Dimensions et disposition des principaux bâtiments

Les Fig. 2.3-1, Fig. 2.3-2 et Fig. 2.3-3 montrent la situation, les dimensions et la disposition approximatives des principaux bâtimentsde la future EKKB. Ces représentations génériques constituent le cadre des types d'installations pouvant être envisagés pour ce projet et correspondent également aux caractéristiques énoncées au chapitre 2.3. La représentation doit être considérée comme une approche. Elle ne contient que les principales catégories de bâtiments. Les dimensions des principaux bâtiments de cette installation générique comme les représentent les illustrations susmentionnées figurent dans le Tableau 2.3-1. Les numéros des bâtiments sont indiqués sur la Fig. 2.3-1.

Tableau 2.3-1 : Dimensions des principaux bâtiments de l'installation générique

Bât. n°	Description	Longueur [m]	Largeur [m]	Hauteur [m]	Observations
110	Bâtiment du réacteur	56	56	58	
120	Bâtiment annexe au réacteur	100	100	30	
155	Cheminée d'évacuation			99	Diamètre 6 m
160	Bâtiment de conditionnement des déchets radioactifs	66	35	17	
165	Bâtiment de diesel de secours	25	21	13	En double
210	Stockage provisoire pour les éléments de combustible usés	145	42	25	
215	Stockage pour les déchets d'exploitation de faible ou de moyenne activité	121	40	20	
310	Bâtiment des machines	122	60	50	Cages d'escalier 54 m de hauteur
610	Tour de refroidissement			55	Diamètre 160 m
615	Station de pompage de l'eau de refroidissement du réacteur	34	33	10	
640	Installations d'eau de refroidissement auxiliaires	102	24	15	En double
420	Centrale inférieure / Poste de commutation	56	55	10	Bâtiment annexe 17 m, 22 m, 10 m

Les principaux bâtiments de l'installation générique sont succinctement décrits ci-après. Il convient d'observer que la désignation et l'utilisation des bâtiments pour les réacteurs à eau légère ne sont pas standardisées. Chaque fournisseur de réacteur recourt à ses propres désignations, et les fonctions des divers bâtiments oudes systèmes qu'ils abritent sont différentes. C'est pourquoi la présente description générique ne peut constituer qu'une approche et ne correspondra pas intégralement avec les descriptions des installations remises avec la demande de l'autorisation de construire.

Bâtiment du réacteur

Le bâtiment du réacteur abrite la cuve du réacteur et le circuit de refroidissement du réacteur ainsi que les systèmes de sécurité requis. Le cœur du réacteur qui produit de la chaleur par la fission nucléaire se trouve dans la cuve du réacteur. Dans un REP[2], le bâtiment du réacteur renferme en outre un pressuriseur, des pompes de refroidissement du réacteur ainsi que plusieurs générateurs de vapeur qui transforment en vapeur l'eau du circuit secondaire provenant de l'extérieur à partir de l'énergie calorifique de l'eau du circuit primaire. La vapeur engendrée sert à entraîner les turbines à vapeur. Dans un REB[3], la vapeur est produite dans le système primaire de refroidissement et directement transmise à la turbine à vapeur. Les composants susmentionnés sont enfermés dans une enceinte de confinement (containment). Le bâtiment du réacteur abrite en outre d'autres dispositifs pour la manipulation et le stockage des éléments de combustible.

Bâtiments annexes au réacteur

Les bâtiments annexes au réacteur comprennent notamment les systèmes de sécurité ainsi que les dispositifs électriques de commande et de mesure et les installations de chauffage, de ventilation et de climatisation liés à la sécurité. Pour des raisons de sécurité, ces installations sont séparées les unes des autres et conçues en redondance. Dans de nombreux types de centrales, la salle de commande principale se trouve dans le bâtiment annexe au réacteur.

Plusieurs types de réacteurs disposent d'un entrepôt pour les éléments de combustible dans le bâtiment annexe au réacteur. Cet entrepôt comporte la piscine de stockage pour les éléments de combustible usés, la zone de chargement des conteneurs de transport, des zones d'entreposage des combustibles neufs, la liaison au système de transport des éléments de combustible ainsi que des liaisons avec d'autres systèmes et dispositifs de la centrale.

Cheminée d'évacuation

L'air aspiré du bâtiment du réacteur et d'autres bâtiments nucléaires pour le maintien de la sous-pression est purifié dans le système d'évacuation de l'air vicié avant d'être rejeté dans l'atmosphère par la cheminée. De plus, les gaz non condensables aspirés du local de ventilation du condenseur sont rejetés dans l'environnement par la cheminée d'évacuation. Selon le système de réacteur et l'état de l'installation, des produits de fission, à savoir les gaz rares radioactifs de courte durée de vie tels que le xénon et le krypton peuvent être rejetés dans l'atmosphère après une forte décroissance radioactive dans une ligne d'immobilisation. L'air évacué par la cheminée est surveillé en permanence afin que les valeurs limites de radioactivité soient toujours respectées.

[2] Réacteur à eau pressurisée

[3] Réacteur à eau bouillante

Bâtiment pour le conditionnement des déchets radioactifs

Le bâtiment pour le conditionnement des déchets radioactifs abrite des réservoirs de collecte des matières issues du drainage du sol et des appareils, des séparateurs de boues, des réservoirs pour la résine épuisée, les produits de nettoyage et les produits chimiques, des réservoirs des concentrats et prélèvements d'échantillons ainsi que les pompes et systèmes mobiles y afférents.

L'exploitation d'une centrale nucléaire produit des déchets radioactifs, à l'état solide ou liquide. Il s'agit notamment de résines échangeuses d'ions, de résidus radioactifs récupérés dans les filtres des circuits d'eau et des installations de ventilation ainsi que de condensats d'évaporateur provenant du nettoyage des effluents.

D'autre part, les travaux de réparation, de maintenance, de modernisation et d'inspection engendrent d'autres déchets d'exploitation tels que les pièces, outils et équipements de protection contaminés ainsi que des parties ou composants de la centrale contaminés. Comptent également parmi les déchets d'exploitation les composants usés de la cuve du réacteur tels que les barres de commande, les tiges d'instrumentalisation du cœur et les coffrages d'éléments de combustible (cf. également chapitre 2.3.5).

Bâtiment de diesel de secours

Ce bâtiment abrite les groupes diesel de secours. En cas de panne de courant dans le réseau de transmission, ces groupes électrogènes fournissent le courant nécessaire au maintien des fonctions de sécurité. Dans ce qu'il est convenu d'appeler les types de réacteur passifs, les groupes électrogènes ne sont utilisés qu'en dernier ressort pour assurer le maintien des états opérationnels.

Stockage intermédiaire des éléments de combustible

Les éléments de combustible usés, les déchets de haute activité (HAA) issus du retraitement des éléments de combustible ainsi que d'autres déchets de haute activité (HAA) sont stockés dans l'entrepôt intermédiaire. Ce stockage peut être un dépôt sec, comme par ex. le ZWILAG ou le ZWIBEZ, ou un dépôt en piscine, comme par ex. celui de la centrale de Gösgen. Ce bâtiment doit en outre être construit en complément de l'entrepôt pour éléments de combustible qui se trouve dans le bâtiment annexe au réacteur (cf. également chapitre 2.3.5).

Stockage des déchets de faible à moyenne activité

Le bâtiment dispose d'une capacité suffisante pour le stockage des déchets conditionnés produits pendant toute la durée de vie de la centrale jusqu'à ce qu'ils puissent être amenés dans un autre stockage provisoire ou un dépôt en couches géologiques profondes, voir également chapitre 2.3.6.

Bâtiment des machines

Le bâtiment des machines abrite les composants principaux de la turbine à vapeur avec le générateur qui transforme la vapeur produite dans le système à réacteur en courant électrique. Ce bâtiment abrite en outre les systèmes de vapeur vive, du circuit d'eau d'alimentation, de condensation, le condenseur ainsi que d'autres systèmes auxiliaires et annexes.

Tour de refroidissement

La tour de refroidissement hybride se compose d'une partie sèche et d'une partie humide. Les deux parties comportent des ventilateurs. Dans la partie humide, les ventilateurs assurent un écoulement d'air continu dans la tour ce qui permet d'en réduire la hauteur. Dans la partie sèche, les ventilateurs mélangent de l'air chaud et sec à de l'air humide et saturé, ce qui permet d'éviter dans une large mesure les traînées de vapeur visibles au-dessus de la tour de refroidissement. Selon les conditions météorologiques, des nuages de vapeur à peine perceptibles peuvent toutefois se former également au-dessus de la tour de refroidissement hybride.

La hauteur d'une tour de refroidissement hybride est bien moins importante que celle d'une tour humide conventionnelle (env. 60 m de hauteur par rapport p. ex. aux 144 m de hauteur de la tour de la centrale nucléaire de Leibstadt (KKL)). La tour de refroidissement hybride consomme beaucoup d'énergie électrique (puissance des ventilateurs), ce qui réduit le rendement de toute l'installation (cf. également chapitre 2.3.3).

Station de pompage de l'eau de refroidissement du réacteur

La station de pompage de l'eau de refroidissement du réacteur abrite les pompes (y compris les armatures et systèmes auxiliaires) qui acheminent l'eau de refroidissement du réacteur du bassin relié à la tour de refroidissement jusqu'au condenseur.

Installations d'eau de refroidissement auxiliaires

Le système de refroidissement auxiliaire nucléaire est nécessaire au refroidissement des systèmes auxiliaires et annexes qui fla partie nucléaire de la centrale. En outre, le système peut être utilisé aussi bien comme source froide pour le réacteur lorsqu'il est à l'arrêt (éventuellement en conditions d'accident) que pour le refroidissement des piscines de stockage d'éléments de combustible.

Le système conventionnel d'eau de refroidissement auxiliaire refroidit les systèmes auxiliaires et annexes qui font partie de la partie conventionnelle de la centrale.

Les deux systèmes sont représentés en tant que circuits fermés avec cellules de refroidissement dans la description ou présentation générique. Il est également possible de les concevoir en tant que systèmes de refroidissement direct par l'eau de la rivière, ce qui s'avère mieux approprié pour le système de refroidissement auxiliaire conventionnel qui n'a pas d'exigences de conception contre les effets d'événements extérieurs comme les séismes.

Centrale inférieure / Poste de commutation

Le courant provenant du générateur est amené à la tension secteur dans les transformateurs de réseau que l'on prévoit de placer à côté du bâtiment des machines. La liaison de la centrale au réseau suprarégional est établie dans la centrale inférieure qui abrite également le séparateur de tranches de la centrale.

Généralités

Il convient de remarquer que la présentation générique ne peut constituer qu'une approximation puisqu'il existe une différence dans le nombre, la disposition, la taille et la fonction des bâtiments des divers types de réacteurs. Dans le Tableau 2.3-1 ainsi que sur les Fig. 2.3-1 et Fig. 2.3-2, les dimensions des divers bâtiments ont été choisies de manière à limiter leur taille à une sélection de types de réacteurs possibles. Les dimensions définitives ne seront déterminées qu'après avoir choisi le type de réacteur et le dimensionnement des bâtiments pour le site de Beznau. C'est pourquoi il faut s'attendre à de futurs écarts avec les données.

Le projet définitif comprendra la construction de tous les bâtiments nécessaires à l'exploitation d'une centrale nucléaire. Cela inclut également les installations et bâtiments situés en dehors de l'aire de la centrale tels que p. ex. les postes de commutation, les installations de prélèvement et de décharge d'eaux fluviales et souterraines, les réservoirs d'extinction d'incendie et d'eau industrielle avec les systèmes de raccordement correspondants, les mâts météorologiques et les dispositifs de surveillance ainsi que les routes d'accès et les liaisons ferroviaires. La présente énumération n'est pas exhaustive. En revanche, la demande d'autorisation générale porte sur l'ensemble des installations et bâtiments nécessaires à l'exploitation de la centrale nucléaire.

Le nombre exact, le type, la disposition et la taille des bâtiments, installations et systèmes susmentionnés seront déterminés et décrits en détail dans la demande de l'autorisation de construire. Selon les expériences réalisées dans l'exploitation des centrales nucléaires existantes, des équipement ultérieurs et extensions des bâtiments ou la construction de nouveaux bâtiments seront nécessaires également après l'obtention de l'autorisation de construire et de l'autorisation d'exploitation ainsi qu'après la mise en service de l'installation.

Toute installation standard comporte des locaux et installations pour le stockage des éléments de combustible neufs (matières nucléaires), et également des bâtiments et installations pour la manipulation, le conditionnement et le stockage des éléments de combustible irradiés et des déchets radioactifs. Le rôle joué par les bassins de stockage pour les éléments de combustible irradiés consiste à collecter les éléments de combustible déchargés du cœur du réacteur et à les stocker temporairement selon un indice de sûreté-criticité jusqu'à leur transfert ou leur réutilisation dans le réacteur. Les bassins de stockage servent aussi de lieux de stockage provisoire pour l'entreposage d'éléments de combustible neufs.

En règle générale, les locaux et dispositifs des installations standards disposent de capacités limitées. C'est pourquoi des ouvrages et installations de stockage supplémentaires sont prévus (cf. description ci-avant). Ces bâtiments sont plus précisément décrits aux chapitres 2.3.5 et 2.3.6.

Fig. 2.3-1 : Plan de l'installation générique sur le site de Beznau

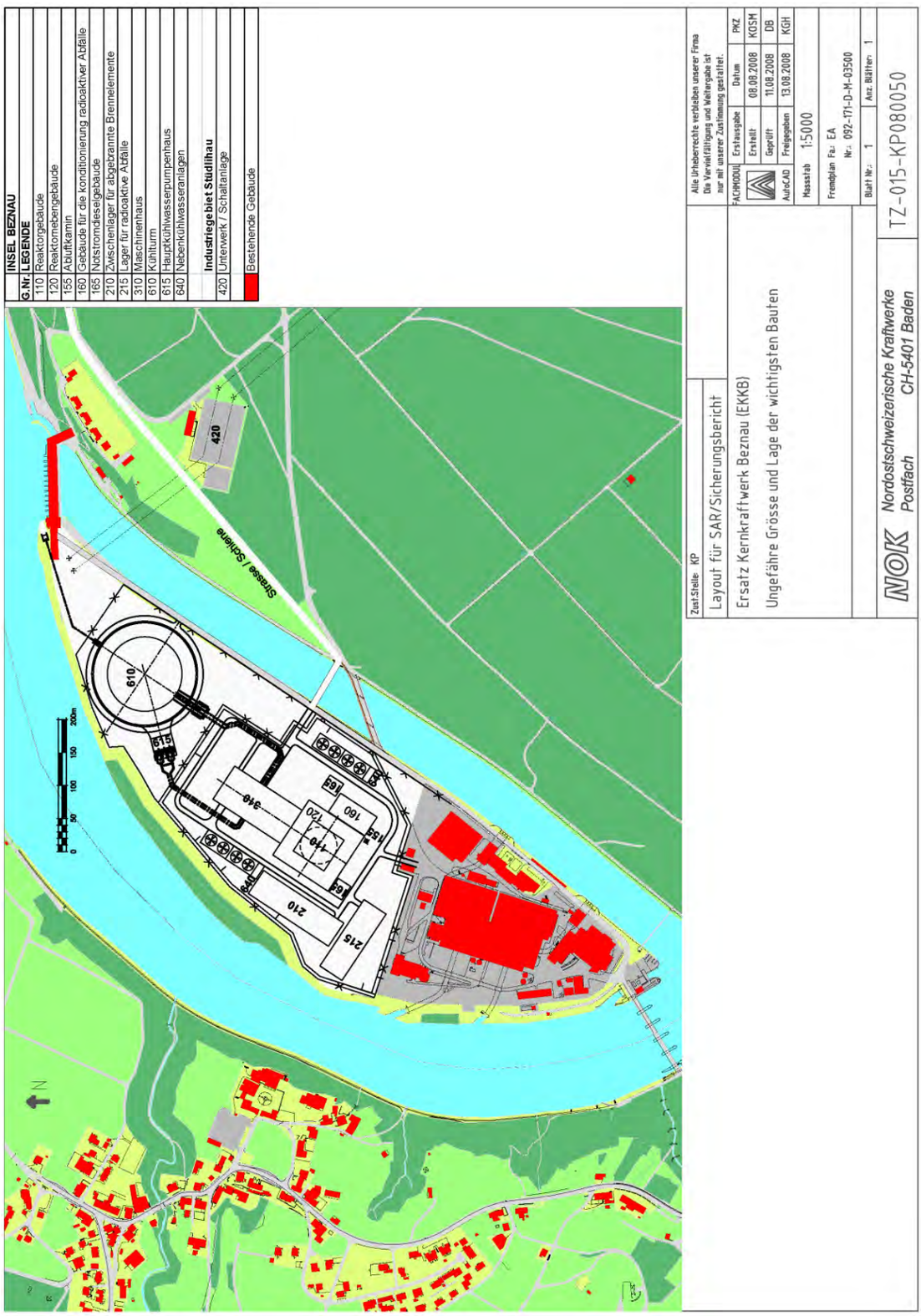


Fig. 2.3-2 : Visualisation de l'installation EKKB sur l'île de Beznau (vue de l'ouest)



À gauche, la tour de refroidissement hybride, au centre, le bâtiment des machines avec les cellules d'eau de refroidissement annexes à l'avant-plan et, à leur droite, le bâtiment du réacteur et le bâtiment annexe au réacteur (avec la cheminée d'évacuation) avec le stockage provisoire des éléments de combustible à l'avant-plan, à côté, l'entrepôt pour les déchets de faible à moyenne activité. Tout à droite, KKB 1 et 2.

Fig. 2.3-3 : Visualisation de l'installation EKKB sur l'île de Beznau (vue du nord)



La tour de refroidissement hybride avec, à sa gauche, les cellules d'eau de refroidissement annexes. À l'arrière, le ZWIBEZ et KKB 1 et 2. Tout à gauche derrière les bâtiments d'habitation, l'on aperçoit le nouveau poste de commutation du réseau suprarégional à Stüdlihau. Les mâts à haute tension sont visibles devant la tour de refroidissement et dans la forêt.

2.3.5 Stockage des éléments de combustible irradiés et d'autres déchets de haute activité (HAA)

Lors de la construction d'installations standards, l'on installe en règle générale une piscine de stockage ayant une capacité suffisante pour le stockage provisoire d'éléments de combustible irradiés issus de plusieurs cycles. Toutefois, sa capacité se limite généralement à 10-20 cycles du combustible.

Cette raison explique pourquoi l'on envisage de construire pour l'EKKB un bâtiment de stockage supplémentaire avec des installations. Il est prévu d'ériger le bâtiment sur l'aire de la centrale, mais en le séparant de son bloc. Sa capacité lui permettra d'accueillir tous les éléments de combustible irradiés, tous les autres déchets de haute activité, y compris les déchets issus du retraitement d'éléments de combustible irradiés produits pendant toute la durée de vie de l'installation. Par principe, il est également possible de stocker dans ce bâtiment des éléments de combustible irradiés ainsi que d'autres déchets de haute activité provenant d'autres centrales nucléaires suisses.

La capacité du stockage provisoire sur le site (ainsi que les capacités éventuellement disponibles dans d'autres centrales nucléaires pour les déchets de l'EKKB) est dimensionnée de manière à ce qu'il puisse recevoir l'ensemble des éléments de combustibleirradiés issus de l'exploitation et de la désaffectation de l'EKKB ainsi que d'autres déchets de haute activité qui ne peuvent pas être

directement transférés dans un dépôt en couches géologiques profondes, y compris d'éventuels déchets de retraitement et des éléments de combustible produits par KKB 1 et 2 pendant les 10 dernières années.

L'extension des capacités de stockage s'effectuera en plusieurs étapes et tiendra compte de la disponibilité des dépôts en couches géologiques profondes ainsi que d'éventuelles capacités de stockage provisoires prévues dans d'autres centrales nucléaires pour les déchets de haute activité provenant de l'EKKB.

Dans le cas a priori peu probable où aucun dépôt en couches géologiques profondes ne serait disponible pendant l'exploitation et la désaffectation de l'EKKB, il conviendra de créer au maximum la possibilité d'entreposer temporairement tous les déchets susmentionnés.

La capacité maximale du dépôt pour les éléments de combustible irradiés et autres déchets de haute activité produits par l'EKKB est quantifiée comme suit (les volumes concernent la place requise) :

- 180 conteneurs de transport et de stockage actuellement utilisés contenant des éléments de combustible usés et déchets de haute activité, dont une dizaine d'entre eux contenant des éléments de combustible provenant de KKB 1 et 2

ou, alternativement :

- un volume d'éléments de combustible de 1 500 m^3 (y compris le volume des éléments de combustible provenant de KKB 1 et 2) et, le cas échéant, un volume supplémentaire de 600 m^3 en solutions vitrifiées de produits de fission provenant du retraitement d'éléments de combustible usés

et

- 1 000 m^3 de déchets alphatoxiques (ATA).

Les données relatives à la production d'éléments de combustible usés ou de déchets de haute activité ne reposent pas seulement sur des conceptions du cœur standardisées au bas taux de combustion de décharge conservatoire mais également sur le fait que la géométrie des éléments de combustible dans certains types de réacteurs permet de réduire le volume d'utilisation des conteneurs de transport et de stockage.

Au moment de l'établissement de la demande d'autorisation générale, ces quantités ont été déterminées sans connaissance détaillée de la conception de l'installation ou de sa puissance (actuellement, seules sont fixées les grandes lignes). Pour cette raison, il convient de les considérer comme des valeurs de référence.

Ce bâtiment de stockage doit être classé comme installation nucléaire selon la LENu et l'OENu et remplira ainsi les exigences y afférentes. Eu égard au fait qu'il s'agit d'un bâtiment important, il a été pris en considération sur les Fig. 2.3-1, Fig. 2.3-2 et Fig. 2.3-3. Toutefois, il n'est pas possible actuellement de déterminer définitivement les dimensions et la forme de ce bâtiment de dépôt, raison pour laquelle les données ont seulement valeur d'approximation. Une autorisation de construire sera probablement déposé ultérieurement à celui relatif à la centrale nucléaire ou, le cas échéant, après sa mise en service.

2.3.6 Conditionnement et stockage des déchets de moyenne et de faible activité

Les installations standards comprennent également des bâtiments et dispositifs pour la manipulation, le conditionnement et le stockage des déchets radioactifs. En règle générale, ces secteurs de la centrale présentent des capacités limitées. C'est pourquoi il est prévu de doter l'EKKB de bâtiments et installations supplémentaires.

Pour cette raison, l'on prévoit de construire un bâtiment destiné au conditionnement et au stockage des déchets radioactifs sur la centrale, mais en le séparant de son bloc. Les dispositifs de conditionnement nécessaires font l'objet de la présente demande d'autorisation générale. Ils servent à préparer les déchets radioactifs en vue de leur stockage provisoire puis de leur transfert dans un dépôt en couches géologiques profondes. Ils servent notamment au broyage mécanique, à la décontamination, au compactage, à l'incinération et au placement des déchets dans des matrices de confinement ainsi qu'à l'emballage des déchets radioactifs[4].

Les installations de conditionnement se trouvent sur le site de la centrale ou, dans des cas particuliers, également dans une autre centrale. Il convient alors de régler contractuellement avec le propriétaire de l'installation de conditionnement que les exigences posées à la construction et à l'exploitation d'une telle installation sont intégralement remplies. Les installations de conditionnement sur le site de l'EKKB sont conçues, réalisées et exploitées de manière analogue et conjointe aux autres installations de l'EKKB.

La capacité du stockage provisoire sur le site (ainsi que les capacités éventuellement disponibles dans d'autres centrales nucléaires pour les déchets de l'EKKB) est mesurée de manière à ce qu'il puisse en tout temps recevoir l'ensemble des déchets de moyenne et de faible activité issus de l'exploitation et de la désaffectation de l'EKKB qui ne peuvent pas être directement transférés dans un dépôt en couches géologiques profondes ou dans un autre dépôt.

La capacité maximale de stockage pour les déchets de moyenne et de faible activité produits par l'EKKB est quantifiée comme suit :

- 20 000 m^3, dont env. 70% de déchets provenant de la désaffectation. Ces quantités concernent le volume de déchets sur le principe d'Archimède qui, en tant que caractéristique importante des déchets conditionnés, représente un paramètre de comparaison avec d'autres centrales nucléaires pour la production de déchets radioactifs.

Ces quantités ont été déterminées sans connaissance détaillée de la conception de l'installation ou de sa puissance (actuellement, seules sont fixées les grandes lignes). Pour cette raison, il convient de les considérer comme des valeurs de référence.

Ce bâtiment de stockage doit également être classé comme installation nucléaire selon la Loi et l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire et remplira ainsi les exigences y afférentes. Eu égard au fait qu'il s'agit d'un bâtiment important, il a été pris en considération sur les Fig. 2.3-1 et Fig. 2.3-2. Toutefois, il est actuellement difficile de déterminer définitivement les dimensions et la forme de ce bâtiment de stockage, raison pour laquelle les données ont seulement valeur d'approximation. Une autorisation de construire sera probablement déposé ultérieurement à celui relatif à la centrale nucléaire ou, le cas échéant, après sa mise en service.

[4] cf. art. 3, let. g LENu

L'extension des capacités du stockage s'effectuera en plusieurs étapes et tiendra compte de la disponibilité des dépôts en couches géologiques profondes ainsi que d'éventuelles capacités de stockage provisoires prévues dans d'autres centrales nucléaires pour les déchets de haute activité provenant de l'EKKB. Dans le cas a priori peu probable où aucun dépôt en couches géologiques profondes ne serait disponible pendant l'exploitation et la désaffectation de l'EKKB, il conviendra de créer au maximum la possibilité d'entreposer temporairement tous les déchets susmentionnés.

Si, au moment de la désaffectation de la centrale, il s'avérait nécessaire de poursuivre l'exploitation d'une partie de ces installations de la centrale, elles devraient être rééquipées de manière à pouvoir les exploiter en tant que centrale nucléaire intrinsèque. Un tel rééquipement concerne notamment les systèmes nécessaires à la garantie de la sécurité et de la sûreté nucléaires.

Pour autant qu'ils ne sont pas directement transférés dans un dépôt en couches géologiques profondes, les déchets provenant de la désaffectation seront stockés dans un entrepôt intermédiaire sur le site de la centrale ou dans une autre installation nucléaire. Conformément aux exigences légales (art 12, al. 2 OENu), dans les cas appropriés, l'entrepôt nécessaire sur le site devrait disposer d'une capacité suffisante pour le stockage de tous les déchets issus de la désaffectation de l'EKKB qui ne pourront pas être directement transférés dans un dépôt en couches géologiques profondes. Le bâtiment de stockage qui, le cas échéant, devrait être construit sur le site, n'est pas visible sur le plan 2D car plusieurs bâtiments de l'EKKB devront préalablement être déconstruits.

2.3.7 Systèmes d'eau de refroidissement et source froide

Le système primaire de refroidissement du réacteur a été décrit au chapitre 2.3.3. Selon l'art. 14, al. 2, let. a LENu, il s'agit d'une des grandes lignes du projet défini dans l'autorisation générale et devant donc être décrite dans la demande d'autorisation générale. Le système primaire de refroidissement refroidit le condenseur de la turbine à vapeur.

Une centrale nucléaire nécessite des systèmes de refroidissement supplémentaires ne relevant pas des grandes lignes du projet. Par conséquent, ils ne font pas l'objet d'une description détaillée dans la demande d'autorisation générale. L'ampleur et l'exécution de ces systèmes dépendent du type de réacteur choisi. Dans le présent document, ils sont décrits de manière générique et servent de base pour l'évaluation du site d'implantation quant à la disponibilité d'eau de refroidissement et de source froide. L'eau de refroidissement transporte la chaleur hors de l'installation et la rejette dans une source froide. Peuvent être considérés comme source froide les eaux de surface ou l'atmosphère (au moyen d'une tour ou de cellules de refroidissement). Les systèmes de refroidissement décrits ici sont ceux qui rejettent directement la chaleur dans une source froide. L'on ne prend pas en considération d'éventuels systèmes fermés (circuits refroidissement intermédiaires) qui transmettent la chaleur des composants de l'installation refroidis aux circuits d'eau de refroidissement.

L’installation a besoin de tels systèmes de refroidissement pour son exploitation normale (y compris lors d’incidents d’exploitation) ainsi que pour pouvoir maîtriser les accidents. Par principe, ces deux catégories disposent de circuits de refroidissement fermés avec cellules de refroidissement et évacuation de la chaleur dans l'atmosphère et de circuits de refroidissement directs avec évacuation de la chaleur dans les eaux de surface. Une autre variante consiste à recourir aux eaux souterraines dans un circuit de refroidissement direct avec restitution dans les eaux de surface. Il n’est pas possible de décharger la chaleur dans les eaux souterraines.

Pour compenser les pertes par évaporation et assurer une chimie de l’eau acceptable, les circuits de refroidissement fermés avec cellules de refroidissement nécessitent également une amenée d’eau issue d’un prélèvement des eaux de surface ou d’une source d’eaux souterraines. Un prélèvement depuis les eaux souterraines présente des avantages pour les systèmes assurant la sécurité qui garantissent la maîtrise des accidents. Il est plus simple de protéger les sources d’eaux souterraines contre des dégradations causées par des événements externes (p. ex. chute d'avion, acte de malveillance). Selon les conditions du site, une perte causée par les effets de séismes est plus probable avec les eaux de surface (rupture d’un barrage).

La quantité d’eau de refroidissement externe nécessaire dépend de la conception de l’installation et des accidents devant être maîtrisés. Lors de l’évaluation des caractéristiques du site, l’on est parti de l’hypothèse d'un débit d'eau de rivière nécessaire de 5 000 kg/s, ce qui serait le cas avec le refroidissement direct des composants ne relevant pas de la sécurité en service normal de l’installation, y compris lors de son arrêt et de son démarrage. Il convient de compter avec env. 50 kg/s pour la ré-alimentation des circuits fermés (relevant ou non de la sécurité). Pour le refroidissement direct au moyen des eaux souterraines (p. ex. pour un état d’urgence faisant suite à un acte malveillant), l’on a posé comme hypothèse la quantité de 300 kg/s. Ces valeurs n’ont pas de caractère définitif et servent à l’estimation de la faisabilité du refroidissement en fonction des caractéristiques du site. Les évaluations pour les eaux de surface figurent au chapitre 3.5.11, celles pour les eaux souterraines au chapitre 3.6.9.

Les sites de captage de l’eau de refroidissement liés à la sécurité et d’éventuelles sources de secours dépendent de la conception de l’installation et ne pourront être déterminés que lors de la remise de la demande de l'autorisation de construire.

Pour des raisons inhérentes à la protection contre les actes de malveillance, les sources de secours seront souvent protégées dans des bâtiments sécurisés. L’emplacement dépend également des conditions locales des eaux souterraines.

Les exigences importantes pour la séparation des eaux et la configuration locale des rives et du lit de la rivière sont prises en considération dans le choix de l’emplacement de la station de captage des eaux de refroidissement (eau de la rivière).

2.4 Exigences légales en matière de sécurité

2.4.1 Principes et mesures de protection

Les principes de la sécurité nucléaire sont définis par la Loi sur l'énergie nucléaire (art. 4 LENu). Les mesures de protection nécessaires pour assurer la sécurité sont par ailleurs fixées par l'art. 5 LENu. La protection des personnes et de l'environnement contre les dangers dus aux rayonnements ionisants est précisée par les exigences de la Loi sur la radioprotection (LRaP, RS 814.50) [3] ou de l'Ordonnance sur la radioprotection (ORaP, RS 814.501) [4].

Selon la LENu, il convient de prendre des mesures de protection obéissant aux principes reconnus sur le plan international. Elles comprennent en particulier l'utilisation d'éléments de construction de qualité, la mise en place de barrières de sécurité multiples, la pluralité et l'automatisation des systèmes de sécurité, la mise en place d'une organisation appropriée comprenant du personnel qualifié et l'encouragement à adopter une attitude soucieuse de la sécurité.

Des mesures de protection en cas d'urgence doivent être préparées pour limiter les dégâts en cas de rejet de quantités dangereuses de substances radioactives.

L'Ordonnance sur l'énergie nucléaire (art. 7 et 8 OENu) fixe d'autres obligations en matière de mesures de protection et exige une protection suffisante contre les défaillances ayant leur origine tant à l'extérieur qu'à l'intérieur des installations nucléaires. L'article 7 de l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire requiert la prise des mesures de protection suivantes :

- Lors de la conception, de la construction, de la mise en service et de l'exploitation de centrales nucléaires, il doit être fait appel à des procédés, à des matériaux, à des techniques et à des types d'organisation ayant donné satisfaction ou dont la qualité a été démontrée ; que ce soit pour l'élaboration du projet, la confection, la vérification, la conduite de l'exploitation, la surveillance, la maintenance, l'assurance de la qualité, les retours d'expérience, l'ergonomie, la formation et la formation continue.
- Si le fonctionnement s'écarte de la norme, l'installation doit réagir par un comportement autant que possible autorégulateur, peu sensible à l'erreur.
- À cet effet, on devra choisir autant que possible un comportement se caractérisant par la sécurité inhérente ; on entend par là un état dans lequel un système technique fonctionne de lui-même en autogestion, c'est-à-dire sans avoir besoin de systèmes auxiliaires.
- Pour pouvoir maîtriser les accidents, on devra concevoir l'installation de façon à ce qu'il n'y ait aucun rejet inadmissible de substances radioactives dans le voisinage de la centrale ;des systèmes de sécurité passifs et actifs ou une combinaison des deux devront être prévus à cet effet.
- En prévision des accidents pouvant libérer des substances radioactives en quantités dangereuses, on devra prendre en outre, sur les plans technique, organisationnel et administratif des mesures préventives et des mesures destinées à en atténuer les effets néfastes.

Dans les installations nucléaires, des mesures de protection contre les accidents ayant leur origine tant à l'intérieur qu'à l'extérieur devront être prises (art. 8 OENu). Sont réputés accidents ayant leur origine tant à l'intérieur qu'à l'extérieur en particulier les accidents pouvant être engendrés par les événements énumérés à l'article 8, al. 2 et 3 de l'OENu. Les autres exigences posées aux analyses des accidents sont décrites dans le chapitre 2.4.4.

2.4.2 Conception

Les principes suivants régissant la conception d'une centrale nucléaire sont définis à l'article 10 OENu :

- Principe de mise en place des mesures de sécurité même en cas d'erreur isolée et indépendamment de l'événement déclencheur ou du fait qu'un composant peut se trouver indisponible pour raison de maintenance.
- Principe de mise en place de mesures de sécurité redondantes et indépendantes les unes des autres.
- Principe de mise en place de plusieurs mesures de sécurité redondantes et indépendantes les unes des autres pour répondre à une fonction de sécurité.
- Principe de test de la mise en place d'une mesure générale de sécurité consistant en plusieurs mesures de sécurité redondantes destinées à répondre de manière générale ou par phases indépendantes et consécutives à une fonction de sécurité, que ce soit par commande manuelle, excitation automatique simulée ou même en conditions de régime d'alimentation électrique de secours.
- Principe de l'automatisation des fonctions de sécurité de sorte qu'en cas d'accident au sens de l'art. 8 OENu, le personnel ne soit pas obligé d'intervenir dans des conditions liées à la sécurité dans les 30 minutes qui suivent l'événement déclencheur.
- La conception et le dimensionnement des systèmes et composants doivent avoir pris en compte des marges de sécurité suffisantes.
- Autant que possible, le comportement du système doit être axé sur la sécurité dans n'importe quel cas de dysfonctionnement d'un équipement.
- Les fonctions de sécurité passive sont à préconiser avant les fonctions de sécurité active.
- On doit tenir compte des capacités humaines et de leurs limites en concevant et en aménageant de manière adéquate les postes de travail et le déroulement des opérations de conduite et de maintenance de l'installation.
- À gain égal en termes de sécurité, les mesures visées à l'art. 7, let. d OENu qui sont propres à la prévention des accidents sont à préconiser sur celles qui seraient de nature à en atténuer les conséquences.

Les mesures de protection et les principes applicables à la conception de centrales nucléaires en vertu de l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire s'appuient sur leconcept dit de défense en profondeur (Defence-in-Depth). Ce concept met en œuvre dans la conception de l''installation diverses barrières de sécurité physiques. L'intégrité de ces barrières physiques est assurée par des fonctions de sécurité passives et / ou actives.

De manière générale, les nécessités de démolir certains ouvrages et d'en reconstruire d'autres sont également prises en considération dans la conception de l'installation. Ce point fait l'objet d'une description plus détaillée dans la demande de l'autorisation de construire.

Ces principes de conception sont mis en œuvre dans d'autres réglementations (ordonnances du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC) et directives de la DNS). Les directives de la DNS et en partie l'ordonnance du DETEC sur l'énergie nucléaire faisant actuellement l'objet d'un remaniement, les dites directives et ordonnances ne sont pas citées nommément dans les dossiers annexés à la demande. En revanche, les dossiers valides pour chacune des phases d'autorisation seront pris en compte. Pour autant que cela soit nécessaire, la DNS intègre et tient compte des niveaux de référence WENRA dans ses directives.

Les objectifs de protection, principes et mesures susmentionnés sont pris en compte dans l'étude et la conception de l'installation. Les documents et justificatifs y afférents sont fournis dans les demandes de l'autorisation de construire et d'autorisation d'exploitation comme le requiert l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire dans son annexe 4. Sont également prises en considération les exigences importantes des standards de l'AIEA. En règle générale, l'on tient aussi compte des exigences fixées par les autorités du pays du constructeur du réacteur (p. ex. les exigences de l' U.S.NRC). En l'absence d'exigences suisses, les exigences internationales sont prises en compte.

L'installation correspond à l'état de la science et de la technique comme l'exige l'art. 4 de la Loi sur l'énergie nucléaire. Les mesures de protection destinées à garantir les objectifs de protection nucléaires obéissent aux principes reconnus sur le plan international (art 5 LENu).

Les données personnelles et organisationnelles importantes (art. 23, let. a, chif. 4 OENu) sont résumées au chapitre 5. La structure de l'organisation tient compte des exigences relatives à la sécurité nucléaire résumées ci-avant. À ces données s'ajoutent les principes de conception des postes de travail et du déroulement des opérations conformément à l'art. 10, al. 1, let. j OENu (cf. ci-dessus).

2.4.3 Protection contre les accidents

Les caractéristiques du site selon l'article 23 de l'OENu sont décrites dans le chapitre 3 « Caractéristiques du site » et sont également évaluées. L'adéquation du site est examinée et justifiée. À cet effet, la faisabilité des mesures de protection contre les accidents ayant leur origine à l'extérieur de l'installation est prise en considération. Les mesures contre les accidents ayant leur origine à l'intérieur de l'installation sont traitées dans le cadre de la demande de l'autorisation de construire comme le détermine l'annexe 4 de l'OENu.

L'exposition aux rayonnements prévisible aux alentours de l'installation est traitée au chapitre 4 « Radioprotection et exposition au rayonnement prévisible aux alentours de l'installation » (art. 23 OENu). En ce qui concerne les accidents, les effets sur l'installation et l'environnement sont rapportés dans le cadre de la demande de l'autorisation de construire ou de l'autorisation d'exploitation.

Concernant la discussion entre « événements » et « accidents », les termes utilisés correspondent à la description qui en est faite dans le glossaire.

La protection contre les accidents ayant leur origine à l'extérieur de l'installation est présentée au chapitre 3 en relation avec les caractéristiques du site. La faisabilité quant au respect des objectifs de protection y est évaluée. La faisabilité existe lorsque les accidents pouvant résulter sur le site d'événements définis peuvent être maîtrisés par des mesures connues, ce qui ne doit pas être attesté au moment de la DAG puisque la configuration de l'installation n'est pas encore disponible.

Des mesures de protection contre les accidents ayant leur origine à l'intérieur ou à l'extérieur de l'installation sont prises en vertu de l'art. 8 OENu. Une conception adéquate de l'installation permet notamment de répondre à ces exigences, ce qu'exposent et justifient les documents relatifs à la demande de l'autorisation de construire.

La preuve du respect des objectifs de protection ne doit (et ne peut) également pas être fournie dans le cadre de la demande d'autorisation générale.

L'identification et la description d'accidents internes dépendent de la conception et du comportement de l'installation et ne peuvent pas être exposées dans la demande d'autorisation générale. Les données et justificatifs y afférents sont fournis dans la demande de l'autorisation de construire ou la demande d'autorisation d'exploitation comme le requiert l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire.

Aux termes de l'art. 8 OENu, l'incendie peut être réputé accident ayant son origine à l'intérieur ou à l'extérieur de l'installation. Des incendies peuvent également être causés par la chute accidentelle d'avions ou par la foudre. Les exigences posées à la protection contre l'incendie et la foudre sont fixées dans le cadre de la procédure d'octroi de l'autorisation de construire et du permis d'exécution selon l'annexe 4 de l'OENu. Ces exigences tiennent compte des incendies ayant leur origine à l'intérieur et à l'extérieur de l'installation. Un concept de protection incendie est fourni conjointement aux documents accompagnant la demande de l'autorisation de construire conformément à la directive R-30 de la DSN.

En cas d'incendie, l'on peut recourir à des éléments d'appui extérieurs (services incendie voisins et / ou les bases de sapeurs-pompiers à Brugg et à Zurzach) selon l'ampleur de l'événement. Brugg et Zurzach sont éloignés de 6 à 8 km du site. Les services incendie de l'Institut Paul Scherrer (PSI) et des communes de Würenlingen, Villigen et Klingnau / Döttingen se situent tous dans un rayon de 5 km de distance du site (cf. aussi chapitre 3.2.2).

2.4.4 Analyses des accidents

2.4.4.1 Principales exigences

Selon l'article 4 de la LENu, il faut prévenir le rejet excessif de substances radioactives ainsi que l'irradiation excessive des personnes, tant en phase d'exploitation normale qu'en cas d'accident. Le rejet de substances radioactives en phase d'exploitation normale (y compris lors d'incidents d'exploitation) est traité dans le chapitre 4.

En concevant une installation nucléaire, on devra classer les accidents selon la fréquence indiquée à l'art. 94 de l'Ordonnance du 22 juin 1994 sur la radioprotection (ORaP) (art. 8, al. 4 OENu) et en déduire les limites des doses admissibles.

En vertu de l'art. 8, al. 4 OENu, il conviendra de démontrer que les limites des doses visées à l'article 94, al. 2 à 5 ORaP peuvent être respectées.

Le message relatif à la Loi sur l'énergie nucléaire [5] mentionne comme condition d'octroi de l'autorisation générale une évaluation de la sécurité quant à la possibilité d'un accident et ses conséquences.

Les objectifs de protection, hypothèses de risques (accidents), critères d'évaluation ainsi que les méthodes et hypothèses pour la fourniture des justificatifs sont définis dans les ordonnances du DETEC et les directives de la DNS.

Les exigences posées aux équipements de sécurité pour assurer les objectifs de protection sont fixées dans les directives G01 et G02 de la DNS.

Suivant la pratique actuelle, les exigences relatives à la sécurité technique du pays d'origine sont prises en considération en l'absence d'exigences DNS y afférentes. S'ajoutent à cela les exigences normées internationales des organisations exploitantes (standards EUR).

La conception de l'installation qui sera réalisée satisfait aux exigences requises dans les réglementations valables y afférentes. Les justificatifs quant au respect des objectifs de protection et des limites correspondantes figureront dans les dossiers accompagnant la demande de l'autorisation de construire ou d'autorisation d'exploitation. Ces justificatifs sont établis à l'aide des analyses déterministes des accidents et d'analyses radiologiques comme le prévoit le point « Technique des réacteurs » de l'annexe 4, OENu.

Selon l'art. 8, al. 5 de l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire, on devra démontrer par une analyse probabiliste que la fréquence moyenne des dommages au cœur en cas d'accidents (ayant leur origine tant à l'intérieur qu'à l'extérieur) au sens de l'article 8 ne dépasse pas 10^{-5} par an. Ce justificatif doit être fourni pour la demande de l'autorisation de construire. Les exigences y afférentes posées aux analyses sont fixées dans les directives de la DNS.

Au moment de la demande d'autorisation générale, seules les grandes lignes de la future installation sont fixées et sa conception détaillée n'est pas encore déterminée. La plupart des types de réacteurs entrant en considération font actuellement l'objet d'une licence aux Etats-Unis d'Amérique ou suivent un processus d'octroi de licence. D'autres remplissent les critères European Utility Requirements (EUR), mais font encore l'objet d'un processus d'octroi de licence des autorités nationales compétentes. Il faut s'attendre à ce que toutes ces installations répondent aux exigences légales principales susmentionnées avec, le cas échéant, des modifications leur permettant de répondre à certaines exigences suisses.

Conformément à l'OENu (annexe 4), les spécifications du risque, les définitions des accidents, les valeurs-limites de sécurité et les analyses provisoires des accidents de référence y compris leurs effets sur l'installation et les alentours ne doivent cependant être fournis que dans les documents accompagnant la demande de l'autorisation de construire.

C'est pourquoi la possibilité et les répercussions d'accidents ayant leur origine à l'extérieur de l'installation sont examinées dans la demande d'autorisation générale. Les événements extérieurs se rapportant au site qui peuvent entraîner un accident sont décrits et leurs effets évalués.

2.4.4.2 Accidents ayant leur origine à l'intérieur de l'installation

L'article 8 de l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire exige que soient prises notamment des mesures de protection contre les accidents ci-après engendrés par des événements intérieurs :

- Panne de réactivité
- Perte de liquide de refroidissement
- Perte de la source froide
- Incendie
- Inondation
- Effets mécaniques suite à la défaillance d'un composant
- Détérioration d'une gaine lors de la manipulation d'un élément de combustible
- Défaillance de systèmes d'exploitation
- Réaction inopportune d'un système de sécurité ou son fonctionnement incorrect
- Erreurs commises par le personnel.

La définition de ces accidents, les valeurs-limites de sécurité et les résultats des analyses de sécurité provisoires sont exposés dans les documents accompagnant la demande de l'autorisation de construire.

2.4.4.3 Accidents ayant leur origine à l'extérieur de l'installation

L'article 8 OENu demande également la prise de mesures de protection contre les accidents ayant leur origine à l'extérieur de l'installation (accidents externes), notamment les accidents pouvant résulter des événements extérieurs suivants :

- Séisme
- Inondation
- Chute accidentelle d'un aéronef civil ou militaire sur l'installation
- Vents violents
- Foudre
- Onde de choc
- Incendie
- Perte de l'alimentation externe en électricité
- Entrave ou coupure de l'alimentation externe en eau de refroidissement.

Ces événements et leurs effets sont précisés dans les ordonnances correspondantes et les directives de la DNS. Des événements extérieurs identifiés dans des réglementations et directives étrangères (U.S.NRC, p. ex. [66] ; AIEA, p.ex. [67]) ont été examinés dans le but d'établir un relevé complet de tels événements et des caractéristiques du site.

Les résultats sont répertoriés dans le Tableau 2.4-1. Les événements extérieurs sont classés par groupes qui résument les conséquences lors de l'évaluation du choix du site. Les événements extérieurs figurent dans le Tableau 2.4-1 ainsi que dans les sous-chapitres du chapitre 3 où ils sont décrits et évalués. Les conséquences pour la conception de l'installation et les analyses des accidents font l'objet d'un plus ample examen dans la demande de l'autorisation de construire et d'autorisation d'exploitation. Il s'agit des 4 groupes suivants :

a Les événements extérieurs significatifs pour la conception de l'ensemble de la centrale. Une analyse déterministe n'est pas requise pour les accidents causés par ces événements, à l'exception des séismes. Des mesures de protection contre les accidents doivent cependant être prises et il faut prouver que les limites des doses sont respectées selon l'art. 94 ORaP.

b Les événements extérieurs significatifs pour la conception des bâtiments, des systèmes et des composants assurant la sécurité (p. ex. charges de vent et de neige, température de l'air). Toutefois, ces événements n'occasionnent aucun accident. Ici, les paramètres de conception sont pris en compte sur la base d'observations des valeurs extrêmes ainsi que sur le long terme. Les valeurs extrêmes sont déduites par le biais d'analyses des valeurs de mesures ou par le recours à des normes afférentes.

c Les événements extérieurs peu importants pour la conception que l'analyse probabiliste de sécurité (APS) doit cependant prendre en compte en tant qu'événements extérieurs déclencheurs pour autant qu'ils soient significatifs pour la fréquence des dommages au cœur (CDF).

d Les événements extérieurs peu importants pour le site.

Les événements extérieurs pouvant être largement déterminés par les caractéristiques du site sont susceptibles, dans des situations extrêmes, d'avoir des effets suffisamment importants sur l'installation pour provoquer un accident. Il peut également arriver qu'un tel événement se produise à l'intérieur des limites de l'exploitation. Toutefois, un événement extérieur n'engendre pas nécessairement un accident. Les effets des événements extérieurs ne peuvent être considérés de manière concluante qu'une fois la conception définitive arrêtée.

Tableau 2.4-1 : Récapitulatif des événements extérieurs pouvant engendrer des accidents ou des effets externes.

Chapitre	Evénement	Groupe
3.3 Industrie, transports	Explosion / Onde de choc (y c. accident de pipeline)	1
	Accidents de la circulation et de transport	1
	Accidents dans l'industrie / installations militaires	1
	Rejet de produits chimiques sur le terrain	2
	Chute d'avion	1
	Avarie de turbine	1
	Émission de matières radioactives depuis les KKB 1 et 2, ou du ZWIBEZ	1
3.4 Metéorologie et climat	Vents violents	2
	Tornade / rafales de vent	1
	Tsunami / ouragan / cyclone	4
	Foudre	1
	Grêle	2
	Températures estivales élevées (canicule)	2
	Températures hivernales très basses	2
	Charges de neige	2
	Tempête de sable	4
	Sécheresse	1
	Précipitations extrêmes	2
	Conditions hivernales exceptionnellement rudes avec neige (congères), températures très basses et givrage	3
	Conditions estivales exceptionnelles avec températures élevées, sécheresse, incendies de forêts et niveaux d'eau très bas	3
	Activité d'un glacier	4
	Brouillard[5]	4

[5] Les événements gel et brouillard peuvent se produire, mais ne doivent pas faire l'objet d'un examen plus approfondi en raison des considérations énoncées au chapitre 3.10.

Chapitre	Evénement	Groupe
	Gel[6]	4
3.5 Eaux de surface	Inondation (crue / rupture de digue)	1
	Etiages	1
	Givrage (glaces flottantes)	2
	Panne / Entrave de l'alimentation externe en eau de refroidissement	1
	Tempête / déferlantes	4
	Vagues	4
	Evénements biologiques	2
3.7 Géologie, propriétés du terrain et aléas sismiques	Séismes / tremblements de terre	1
	Déplacement du lit d'un cours d'eau	4
	Glissement de terrain	1
	Érosion	4
	Éruption volcanique	4
	Affaissement et effondrement des montagnes	4
	Seiches (mises à gué) (modification géologique du niveau des eaux)	4
3.8 Caractéristiques du réseau	Panne / Perturbation dans l'alimentation électrique externe	1
3.10 Autres événements	Incendie externe / Incendie de forêt	1
	Interférences électromagnétiques	4
	Terrorisme[7]	4
	Actes illicites (UEW)	1
	Avalanche	4
	Chute d'un météorite	4
	Chute de satellite	4

[6] Les événements gel et brouillard peuvent se produire, mais ne doivent pas faire l'objet d'un examen plus approfondi en raison des considérations énoncées au chapitre 3.10.

[7] Cet événement est traité dans le rapport de sûreté (cf. chapitre 3.9)

Des événements extérieurs peuvent être à l'origine d'événements consécutifs, ce qui doit être pris en considération dans l'évaluation de l'adéquation du site. Des mesures de protection doivent également être prises contre ces événements consécutifs qui sont identifiés dans le Tableau 2.4-2. La conception doit aussi tenir compte de conséquences non répertoriées en tant qu'événements consécutifs dans le Tableau 2.4-2 tels que, p. ex., des secousses lors d'un tremblement de terre.

Tableau 2.4-2 : Événements extérieurs et conséquences (seuls les événements avec des conséquences identifiées sont listés ci-après)

Événement	Conséquences
Explosion / Onde de choc	• Incendie extérieur / Incendie de forêt • Endommagement d'installations exposées
Accidents de la circulation et de transport	• Explosion / Onde de choc • Contamination de l'air intérieur par des gaz toxiques
Accidents dans l'industrie / des installations militaires	• Explosion / Onde de choc • Contamination de l'air intérieur par des gaz toxiques
Rejet de produits chimiques sur le terrain	• Contamination de l'air intérieur par des gaz toxiques • Explosion / Onde de choc
Chute d'avion	• Explosion / Onde de choc • Incendie du carburant • Perte de l'alimentation électrique externe • Impact lié à la dispersion des débris • Perte de l'alimentation externe en eau de refroidissement
Vents violents	• Perte de l'alimentation électrique externe • Autres effets liés à la vitesse du vent • Objets emportés par le vent (projectiles)
Tornade	• Perte de l'alimentation externe en électricité • Objets emportés par le vent (projectiles)
Foudre	• Incendie extérieur/ Incendie de forêt • Perte de l'alimentation électrique externe • Perturbation de systèmes électriques non protégés
Grêle	• Conséquences sur les installations des toitures
Conditions estivales difficiles	• Faible débit d'eau / Sécheresse

Événement	Conséquences
Conditions hivernales rudes	• Gel des eaux de surface (glaces flottantes) • Gel des composants et systèmes conducteurs d'air • Gel des câbles électriques (lignes aériennes) • Gel des écoulements d'eau de toiture • Restriction d'accès au site (personnel / produits auxiliaires)
Charges de neige	• Conséquences sur les installations des toitures
Sécheresse	• Perte de l'alimentation externe en eau de refroidissement
Précipitations extrêmes	• Inondation
Conditions hivernales exceptionnellement rudes avec neige (congères), températures très basses et givrage	• Perte de l'alimentation externe en eau de refroidissement • Gel des composants et systèmes conducteurs d'air • Gel des câbles électriques (lignes aériennes) • Gel des écoulements d'eau de toiture • Restriction d'accès au site (personnel / produits auxiliaires)
Conditions estivales exceptionnelles avec températures élevées, sécheresse, incendies de forêts et niveaux d'eau très bas	• Faible débit d'eau / Sécheresse • Aspiration des gaz de fumée
Inondation	• Inondation possible des locaux • Perte de l'alimentation externe en eau de refroidissement • Affouillement de bâtiments • Lors de scénarios dans lesquels la hauteur des eaux se situe au-dessus du niveau du terrain ou de celui des transformateurs de réseau, il faut s'attendre à une perte de l'alimentation électrique externe
Étiage	• Perte de l'alimentation externe en eau de refroidissement
Givrage	• Perte de l'alimentation externe en eau de refroidissement • Obstruction des écoulements d'eau sur le terrain
Événements biologiques	• Perte de l'alimentation en eau de refroidissement

Événement	Conséquences
Séisme	• Perte de l'alimentation électrique externe • Perte de l'alimentation externe en eau de refroidissement • Inondation • Glissement de terrain • Affaissement du sol • Liquéfaction du sol • Restriction d'accès au site (personnel / produits auxiliaires) • Incendie • Accidents dans des installations industrielles ou sur des voies de communication
Déplacement du lit d'un cours d'eau	• Perte de l'alimentation externe en eau de refroidissement
Glissement de terrain	• Inondation
Panne / Perturbation de l'alimentation électrique externe	• Perte de l'eau de refroidissement du réacteur (accident interne)
Incendie extérieur/ Incendie de forêt	• Aspiration des gaz de fumée • Restriction d'accès au site (personnel / produits auxiliaires)

Les caractéristiques du site et les événements extérieurs qui s'y rattachent influencent la possibilité et les conséquences d'accidents extérieurs. Les conséquences sont limitées par la conception de l'installation de manière à ce que toutes les exigences en matière de sécurité soient respectées. Les accidents y afférents sont abordés au chapitre 3 dans la description et l'évaluation des caractéristiques du site.

Les aspects de la « Protection contre les actes illicites (UEW) » sont traités dans le rapport de sûreté.

2.4.4.4 Justificatifs radiologiques des accidents

L'exposition prévisionnelle aux rayonnements à proximité de l'installation en exploitation normale et en cas d'incidents d'exploitation est présentée au chapitre 4 (art. 23 OENu).

Conformément à l'article 8 de l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire et à l'article 94 de l'Ordonnance sur la radioprotection, des analyses radiologiques sont effectuées pour démontrer qu'en cas d'accident toutes les limites radiologiques sont respectées. Les analyses provisoires sont menées dans le cadre de la demande de l'autorisation de construire comme le définit l'annexe 4 OENu.

Des mesures de protection passives et actives appropriées et suffisantes, correspondant à l'état de la technique doivent être prises contre les accidents ayant leur origine tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'installation afin de réduire autant que possible l'exposition radiologiquede la population en dessous des valeurs limites prévues par la loi.

Selon l'art. 94, chif. 5 OraP, l'on prévoit que les doses résultant d'accidents d'une fréquence $> 10^{-6}$ par an seront, comparativement, aussi basses que dans les centrales suisses existantes.

2.4.5 Accidents hors référence

Les accidents de référence sont définis dans les ordonnances et directives DNS correspondantes. Des justificatifs déterministes du respect des critères liés à la demande de l'autorisation de construire sont fournis pour ces accidents (OENu annexe 4). Par accidents hors référence, l'on entend les accidents occasionnés par de multiples dysfonctionnements dans les systèmes de sécurité destinés à les maîtriser ou par un événement extrêmement rare. Contrairement aux accidents de référence, aucune valeur limite de dose pour les personnes des environs n'est déterminée pour les accidents hors référence.

Leurs répercussions doivent être limitées par des mesures internes à l'installation contre les conséquences d'accidents graves. Ces mesures sont traitées dans les directives DNS (p. ex. R-103). L'évaluation de ces accidents, l'estimation de l'efficacité et de la fiabilité des mesures préventives qui ont été prises ont lieu sur la base des résultats produits par l'analyse probabiliste de sécurité spécifique à l'installation qui doit être effectuée. Conformément à l'art. 24 OENu, le respect des critères correspondants est prouvé dans la demande de l'autorisation de construire.

Selon l'art. 94 ORaP, l'autorité de surveillance exigera les mesures préventives nécessaires pour les accidents visés aux alinéas 4 et 5 ainsi que pour les accidents dont la fréquence est inférieure à 10^{-6} par an, mais dont les conséquences peuvent être graves.

Les exigences pour l'analyse déterministe pour une sélection d'accidents hors référence sont déterminées par la DNS qui tient également compte des « Safety Standards » de l'AIEA (NS-G-1.2).

Les exigences y afférentes de la DNS sont prises en considération dans la conception de l'installation et les justificatifs correspondants sont fournis avec la demande de l'autorisation de construire.

2.5 Classification des systèmes, structures et composants

Les ouvrages, les systèmes et les équipements d'une installation nucléaire sont répertoriés en catégories de structures et ouvrages, de sécurité ou à des catégories sismiques selon leur importance pour la sécurité nucléaire. Les critères de classification des systèmes, structures et composants liés à la sécurité sont définis dans l'annexe 4 à l'Ordonnance sur la sécurité nucléaire ainsi que dans les directives R-04, R-06, R35 et -R-46 de la DNS. Les critères tiennent compte de l'importance des équipements pour la maîtrise d'accidents ainsi que pour le respect des objectifs de protection et des limites de doses. Les directives actuelles de la DNS seront probablement remplacées par la nouvelle directive G01. Le respect de toutes ces exigences, y compris de la classification de tous les dispositifs liés à la sécurité est prouvé dans la demande de l'autorisation de construire.

3 Caractéristiques et adéquation du site

3.1 Introduction

En vertu de l'article 13, al. 1, let. a LENu, la garantie de la protection de l'homme et de l'environnement constitue une des conditions d'octroi de l'autorisation générale. L'adéquation du site doit être examinée dans le cadre de l'évaluation de la sécurité y afférente. S'y rattachent notamment les aspects géologiques, la faisabilité de mesures de protection en cas d'urgence et les question relatives à la sûreté. Les justificatifs correspondants doivent être exposés dans un rapport de sécurité et dans un rapport de sûreté. Ainsi, l'évaluation de la sécurité comprend des considérations fondamentales, y compris la possibilité et les conséquences d'accidents. Sont notamment réputés accidents ayant leur origine à l'extérieur de l'installation les accidents pouvant résulter des événements identifiés à l'art. 8, al. 3 OENu. La possibilité et les impacts de ces événements dépendent du site de l'installation. La protection contre les accidents est garantie lorsque le requérant d'une autorisation de construire ou d'une autorisation d'exploitation (le requérant) et le détenteur d'une autorisation d'exploitationd'une centrale nucléaire (le propriétaire de l'autorisation d'exploitation) sont en mesure de prouver le respect des objectifs de sécurité.

Les caractéristiques du site doivent également être mises en évidence dans le rapport de sécurité (OENu art. 23, let. a, chif. 1).

Le site de l'EKKB est décrit au chapitre 3 et les grandes lignes de son adéquation pour la construction au chapitre 1. Les événements découlant des caractéristiques du site sont identifiés et évalués quant à leur éventualité et leurs répercussions. L'on démontrera que les accidents ayant leur origine à l'extérieur du site ne remettent pas en question l'adéquation de ce dernier.

Les événements et impacts identifiés à l'aide des études requises ne remettent pas en cause l'adéquation du site pour autant que les avancées scientifiques et techniques actuelles permettent de les maîtriser par le biais de mesures relatives à la construction, à la conception, à l'organisation ainsi que d'autres mesures. La définition exacte de contre-mesures éventuellement nécessaires et / ou la détermination d'exigences détaillées liées à la conception en raison des dangers font partie de la procédure d'octroi de l'autorisation de construire. Les caractéristiques du site décrites dans la demande d'autorisation générale ainsi que les événements identifiés constituent une base pour les justificatifs qui doivent être fournis dans le cadre de la demande de l'autorisation de construire.

À cet effet, tous les accidents ayant leur origine à l'extérieur du site mentionnés dans l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire et dans les directives de la DNS sont pris en considération, auxquels s'ajoutent d'autres événements pris en compte dans la procédure ESP (Early Site Permits) aux États-Unis d'Amérique.

Tous les événements externes et événements consécutifs (cf. chapitre 2.4.4.3) sont inclus dans l'évaluation de l'adéquation du site. Les divers événements sont classés par thèmes relatifs au site comme dans le Tableau 2.4-1.

Selon l' annexe 4 OENu, les spécifications du risque ne doivent être établies et présentées dans le cadre du concept de l'installation complète qu'au moment de la demande de l'autorisation de construire. C'est pourquoi, pour la DAG, l'évaluation de la possibilité et des impacts d'événements extérieurs se réfère à des aspects prééminents. Le chapitre 3 est structuré comme suit :

3.2 Géographie et répartition démographique

3.3 Installations industrielles et voies de communication

3.4 Météorologie et climat

3.5 Eaux de surface

3.6 Eaux souterraines

3.7 Géologie, propriétés du terrain et aléa sismique

3.8 Caractéristiques des réseaux

3.9 Actes illicites (UEW)

3.10 Autres événements

3.11 Résumé

Le site et ses caractéristiques sont décrits dans les différents sous-chapitres. La description fournit les informations de base nécessaires à l'évaluation et à l'appréciation de l'adéquation du site. Les possibilités et incidences d'événements pouvant occasionner des accidents sont traitées en tant qu'éléments de cette évaluation. Il y a adéquation du site lorsque les accidents qui y sont liés peuvent être maîtrisés. Eu égard au fait que la conception de la centrale et les justificatifs d'accidents correspondants ne doivent être décrits et fournis que lors de la demande de l'autorisation de construire, l'évaluation pour la DAG repose sur des considérations de plausibilité. Les expériences réalisées avec des installations en exploitation et les exigences liées à la conception des installations modernes standards sont prises en considération.

Les évaluations du site comprennent également l'évaluation des caractéristiques du site qui ne peuvent pas causer d'accidents, mais présentent une certaine importance pour la conception de bâtiments et dispositifs liés à la sécurité.

3.2 Géographie et répartition démographique

3.2.1 Introduction

Le chapitre 3.2 présente la situation géographique du site ainsi que l'utilisation et l'aménagement de l'île. Cette information sert à l'orientation générale. La description concerne ensuite la répartition démographique dans les zones de protection en cas d'urgence au voisinage du site. L'observation porte aussi bien sur la population résidentielle permanente que sur la population non résidente. La population non résidente concerne les personnes qui, pour diverses raisons (p. ex. travail, séjours en hôtel, hospitalisation, etc.) séjournent temporairement dans les zones de protection en cas d'urgence. L'occupation des sols dans les environs du site fait également l'objet d'une description.

Les données relatives à la population servent à évaluer la faisabilité des mesures de protection d'urgence. Les mesures de protection en cas d'urgence sont décrites dans l'Ordonnance sur la protection d'urgence (732.33), l'Ordonnance relative à l'organisation d'intervention en cas d'augmentation de la radioactivité (OROIR) et le Concept de protection en cas d'urgence au voisinage des installations nucléaires de la Commission fédérale pour la protection ABC de janvier 2006. Les mesures afférentes sont déterminées par le Concept des mesures à prendre en fonction des seuils de doses (CMD) de l'OROIR. Elles comprennent le séjour dans la maison /dans la cave / dans l'abri, l'évacuation, l'ingestion de comprimés d'iode ainsi que des restrictions de la consommation d'aliments.

3.2.2 Situation du site

La situation géographique du site de Beznau dans la région est représentée dans Fig. 3.2-1 et Fig. 3.2-2.

Fig. 3.2-1 : Situation géographique du site de Beznau

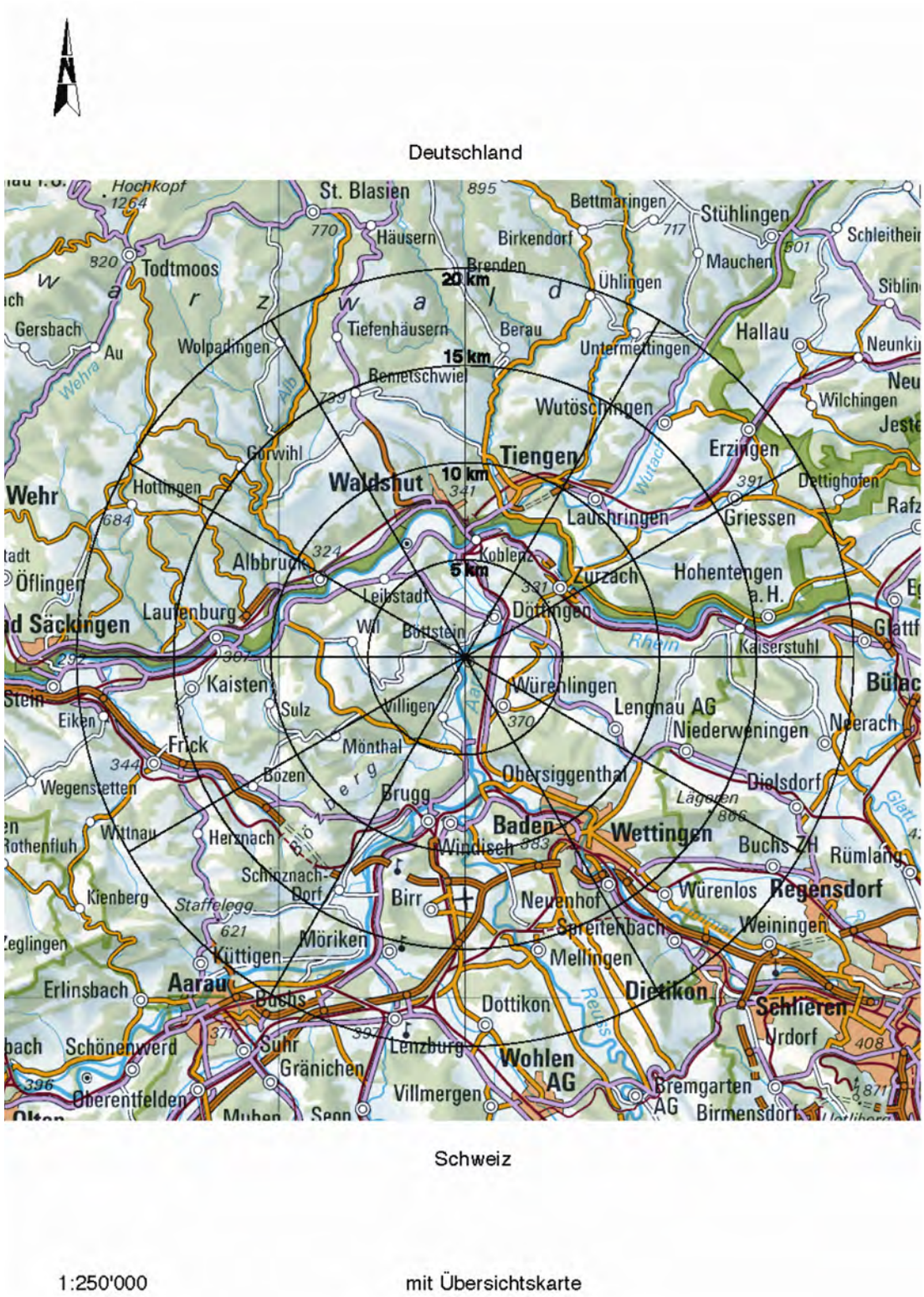
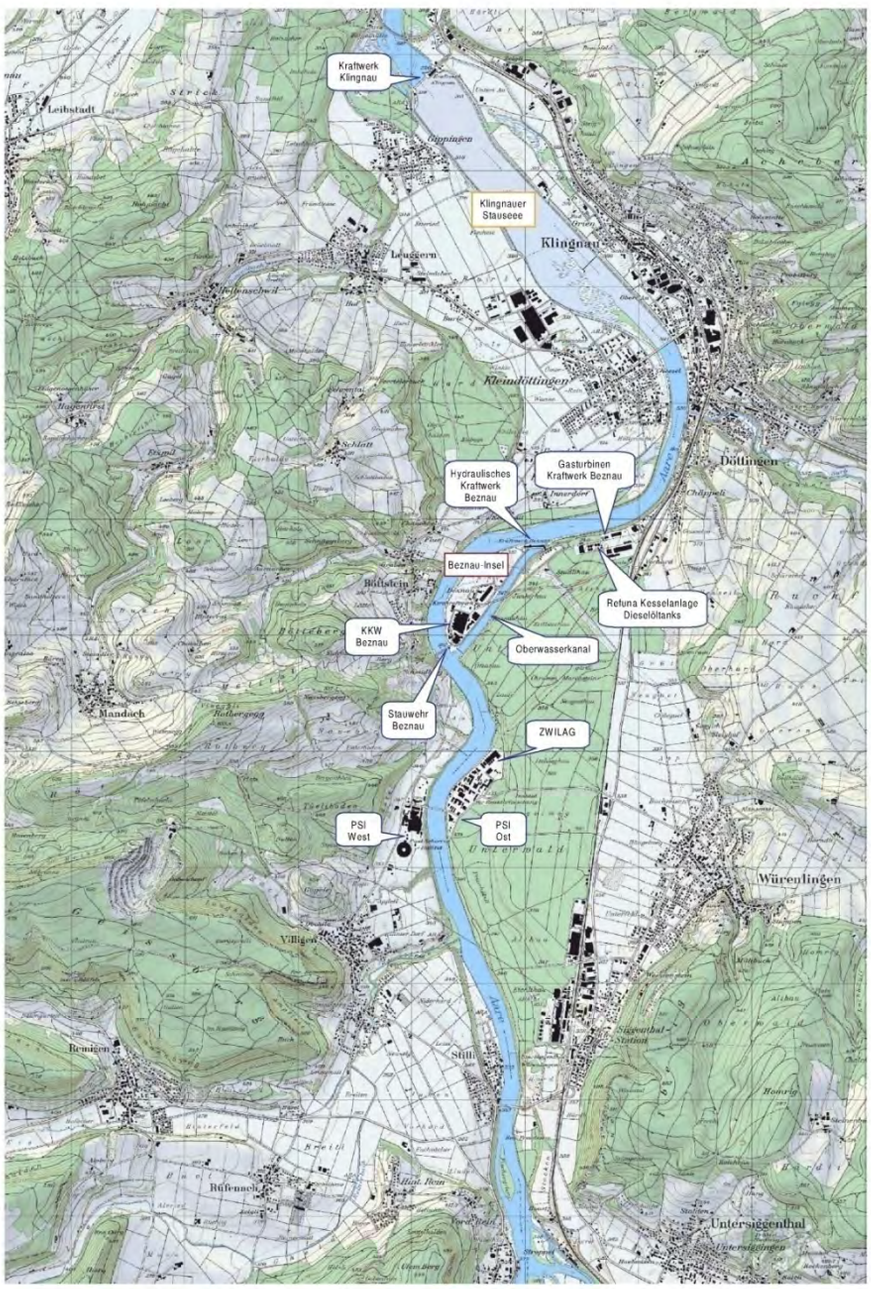


Fig. 3.2-2 : Géographie des environs immédiats du site



L'actuelle centrale nucléaire de Beznau est située sur l'île de Beznau dans la vallée inférieure de l'Aar. Les coordonnées planimétriques du site sont les suivantes : 659 450/267 100 (coordonnées nationales). L'intégralité de la parcelle de l'île n° 1210 est propriété de la société Nordostschweizerischen Kraftwerke AG (NOK), Baden, et se situe dans la zone industrielle de la commune de Döttingen.

La future centrale EKKB sera construite au nord de l'actuelle installation et présentera approximativement les coordonnées planimétriques suivantes : 659 550/267 350.

L'île de Beznau se situe à env. 2 km au sud de Döttingen et de Klingnau ou entre 6 et 7 km au nord de l'agglomération de Brugg-Siggenthal. L'île de Beznau appartient à la commune de Döttingen et jouxte au nord la commune de Böttstein. Les premières maisons d'habitation se trouvent à une distance d'env. 200-300 m. Les communes avoisinnantes sont Böttstein et Mandach à l'ouest (3 km), Leuggern au nord (4 km), Döttingen (3 km) et Klingnau au nord-est (4 km), Würenlingen au sud-est (3 km) et Villigen au sud-ouest (3 km). La distance entre l'île et les grandes villes les plus proches est de 8 km jusqu'à Brugg / Windisch et Waldshut, de 11 km jusqu'à Baden / Wettingen, 21 km jusqu'à Aarau et 30 km jusqu'à Zurich. La plus courte distance jusqu'à la frontière allemande est d'env. 6 km.

L'île a une longueur d'env. 1 100 m et une largeur allant jusqu'à 300 m. Elle se situe à une altitude de 326 à 327 m au-dessus du niveau de la mer. Le terrain est plat hormis quelques petites collines constituées de matériaux de déblaiement. L'altitude de référence / normale des bâtiments actuels de KKB 1 et 2 est de 327 m au-dessus du niveau de la mer. Elle servira probablement de référence également pour la nouvelle centrale nucléaire EKKB. L'île est délimitée à l'ouest par le cours naturel de l'Aar et à l'est par le canal supérieur artificiel qui avait été creusé au moment de la construction de la centrale hydraulique de Beznau dont la retenue d'eau, mesurée à hauteur du barrage situé à l'extrémité sud de l'île, est de 325.25 m au-dessus du niveau de la mer. Actuellement, la centrale hydraulique de Beznau sert à l'alimentation électrique de secours des centrales KKB 1 et 2. Il est prévu de remplacer cette fonction par l'installation de groupes électrogènes de secours avant d'entamer les travaux de construction de l'EKKB.

Le barrage de Beznau retient l'eau de l'Aar à cette cote constante et l'amène à la centrale hydraulique de Beznau via le canal supérieur. Le niveau des eaux à proximité des prises d'eau de refroidissement de l'actuelle centrale nucléaire varie peu au canal supérieur. Le régime des eaux est commandé par la centrale hydraulique. Il est possible d'intervenir sur le barrage au moyen d'un régulateur de secours en cas de variation du niveau de l'eau. Le barrage a été reconstruit à partir de 1976 et est conçu contre les impacts d'un séisme de sécurité.

Les rives donnant sur l'Aar et sur le canal supérieur sont recouvertes d'une végétation dense (taillis, buissons et arbres) et font partie de la zone de protection des rives. Le reste de l'île se compose de prairies et est peu arboré. La superficie est inscrite comme zone industrielle et artisanale dans le zonage du canton d'Argovie et comme zone industrielle dans le zonage de la commune de Döttingen.

Dans les environs du site, la vallée de l'Aar s'étend de manière assez rectiligne dans la direction nord-sud. En direction de l'est, le versant s'élève en pente douce tandis qu'à l'ouest, un paysage de collines fait suite à la vallée. D'importantes parties des environs proches de la centrale sont couvertes de forêts. La Reuss, la Limmat et l'Aar confluent à env. 6 km en amont de la rivière. À

quelque 3 km au nord-est du site, l'Aar se jette dans le bassin de retenue de Klingnau dont le barrage se situe à 2 km au nord. L'Aar se jette dans le Rhin à 6 km du site.

Les installations du réservoir surélevé commun de la NOK (800 m^3) et de la commune de Würenlingen (1 600 m^3) se trouvent sur le Schmidberg à l'ouest de l'île et servent de réservoirs d'extinction d'incendie pour les actuelles centrales nucléaires KKB1 et KKB2. La mise en service de l'EKKB nécessitera probablement d'augmenter les capacités de ces installations. Une extension de ce genre fait partie de cette demande d'autorisation générale.

3.2.3 Utilisation de l'île

La Fig. 2.2-4 montre les diverses installations de la NOK qui se trouvent actuellement sur l'île :

- La centrale hydraulique de Beznau est implantée à l'extrémité nord de l'île. Il est prévu de transformer cette centrale ou de la remplacer par un nouvel ouvrage. Les travaux devraient être achevés avant d'entamer la construction de l'EKKB.
- Les postes de commutation d'où les lignes à haute et moyenne tension partent dans diverses directions se trouvent au centre de l'île. Ces postes de commutation seront déplacé avant le début de la construction de la nouvelle centrale nucléaire (cf. également chapitre 2.2.3).
- KKB1 et 2 ainsi que le barrage de Beznau occupent la partie sud de l'île.
- Le ZWIBEZ, pour le stockage intermédiaire des déchets de faible et de haute activité, est intégré dans la zone de l'actuelle centrale.
- Donnant sur l'Aar, le barrage de Beznau est situé au sud de l'île. Une installation destinée à doter (réguler) les quantités d'eau en dessous du barrage a été construite à l'est en 2000. Cette installation de dotation abrite une turbine bulbe avec générateur.

L'EKKB sera érigée sur la moitié nord de l'île. La situation et la disposition approximatives des principaux bâtiments sont reproduites sur les Fig. 2.3-1 à Fig. 2.3-3. Le plan ne montre pas l'ensemble des bâtiments (cf. également chapitre 2.3.4). En outre, il s'agit d'une présentation générique des principaux bâtiments qui représente plusieurs types de réacteurs qui ne sont pas encore définis. La représentation et le dimensionnement définitifs des principaux bâtiments seront remis avec la demande de l'autorisation de construire.

3.2.4 Répartition et évolution démographiques

3.2.4.1 Introduction

La présentation et l'évaluation de la répartition de la population autour du site soutiennent en premier lieu l'évaluation de la faisabilité des mesures de protection en cas d'urgence.

3.2.4.2 Mesures de protection en cas d'urgence

À des fins de protection contre les dangers liés au rayonnement radioactif, les centrales nucléaires sont conçues sur la base d'un concept de défense en profondeur (« Defense in Depth ») qui englobe la protection contre les cas d'urgence interne à l'installation laquelle revêt une importance essentielle dans sa conception. La protection en cas d'urgence externe à l'installation forme le dernier échelon du concept de défense en profondeur (« Defense in Depth ») et sert à protéger la population. Ce concept est mis en œuvre lorsque les répercussions d'un accident ne peuvent plus être limitées à l'installation elle-même.

Conformément à la loi sur l'énergie nucléaire (LENu), les mesures de protection en cas d'urgence sont préparées pour limiter l'ampleur des dégâts en cas de rejet de substances radioactives dans des quantités présentant un danger. Les concepts de protection en cas d'urgence y afférents selon l'OENu sont décrits dans le rapport de sécurité accompagnant la demande de l'autorisation de construire. En vertu de l'OENu également, la future organisation de l'exploitation doit assurer les responsabilités de la préparation des plans d'urgence, leur mise en œuvre ainsi que leur évaluation systématique. Conformément à l'OENu, un règlement pour les cas d'urgence doit être remis ultérieurement conjointement à la demande d'autorisation d'exploitation.

Indépendamment des dispositions de l'Ordonnance sur la radioprotection, les mesures de protection à ordonner sont basées sur le Concept des mesures à prendre en fonction des doses (CMD) qui figure dans l'Ordonnance relative à l'organisation d'intervention en cas d'augmentation de la radioactivité (OROIR, [64]).

Le CMD comporte un seuil de dose inférieur et un seuil de dose supérieur pour chacune des mesures de protection (p. ex. séjour dans la maison / dans la cave / dans l'abri, évacuation, ingestion de comprimés d'iode etc.) qui doivent être prises en cas de dépassement des différentes valeurs.

En outre, l'Ordonnance sur la protection en cas d'urgence [65] fixe des exigences en matière de protection en cas d'urgence qui comprennent notamment la définition de zones. La zone 1 couvre, autour de l'installation nucléaire, la région dans le périmètre de laquelle un accident grave peut engendrer, pour la population, un danger exigeant des mesures de protection rapides. Eu égard à la proximité immédiate des sites de la centrale nucléaire existante de Beznau (KKB) et de la centrale de remplacement de la KKB, la zone 1 acceptée est celle définie pour l'actuelle KKB (zone commune avec la centrale nucléaire existante de Leibstadt). La définition exacte de la zone 1 est notamment fonction de la puissance du réacteur ainsi que de la conception de l'installation et a lieu ultérieurement dans le cadre de l'autorisation de construire conformément à l'Ordonnance sur la protection d'urgence [65].

Selon l'Ordonnance sur la protection d'urgence [65] , la zone 2, contiguë à la zone 1, couvre une aire d'un rayon d'environ 20 km, divisée en 6 secteurs de risque. Les zones seront déterminées par l'autorité de surveillance.

Le reste du territoire de la Suisse correspond à la zone 3.

Les mesures de protection en cas d'urgence lors d'accidents présentant un danger pour le voisinage de l'installation sont fixées dans les documents établis par la Commission fédérale pour la protection ABC (« Concept de protection en cas d'urgence au voisinage des installations nucléaires », [68]).

Jusqu'au choix définitif de la conception spécifique de l'installation par la requérante, le déroulement des accidents ne peut être examiné que du point de vue qualitatif. C'est pourquoi une analyse détaillée des accidents hors référence d'une probabilité extrêmement faible et de leurs effets éventuels sur l'environnement et la population résidente ne pourra être effectuée qu'ultérieurement dans le cadre de la demande de l'autorisation de construire. Si cette analyse révèle des scénarios d'accidents nécessitant des mesures de protection selon le CMD, la requérante les élaborera en concertation avec les services fédéraux, cantonaux et communaux compétents avant la mise en service de la centrale. Par leur conception d'avant-garde, les types d'installations entrant en considération pour l'EKKB présentent un concept de sécurité de très haute qualité. Ainsi, les effets d'accidents majeurs devraient également, selon la plus grande vraisemblance, se limiter à l'installation elle-même. Pour cette raison, la probabilité d'un dépassement du seuil de dose prévu par le CMD reste extrêmement faible.

En ce qui concerne la prévention quant aux mesures de protection du CMD, l'on peut retenir à ce jour ce qui suit :

I. Ordre de séjourner dans la maison : lorsque cet ordre est donné, la population concernée peut utiliser les installations existantes.

II. Ordre de séjourner dans la cave / dans l'abri : comme précédemment.

III. Ordre d'ingérer des comprimés d'iode : selon l'Ordonnance sur les comprimés d'iode [69] , des comprimés renfermant un sel d'iode sont distribués à titre préventif à la population dans les zones 1 et 2 à proximité d'une installation nucléaire. Ainsi, lorsque cet ordre est donné, l'on peut recourir aux dispositions existantes.

IV. Restrictions de la consommation d'aliments : cette mesure de protection peut être mise en œuvre sans prévention particulière après que l'ordre a été donné.

V. Évacuation préventive : les considérations suivantes peuvent être prises en compte dans un concept d'évacuation préventive (temporaire) horizontale de la population de la zone 1 de l'EKKB :

    a Dans la phase d'alerte, l'évacuation préventive est une option d'action pour les accidents qui, en raison de leur déroulement prévisible dans le temps, laissent une marge suffisamment importante pour ordonner et exécuter des mesures et qui, potentiellement, peuvent provoquer un rejet conséquent de substances radioactives contre laquelle le séjour protégé dans la maison / dans la cave / dans l'abri s'avère insuffisant. De même, l'évacuation préventive peut être envisagée lorsque le séjour protégé dans la maison / dans la cave / dans l'abri ne peut pas être prolongé ou ne peut pas être exigé des

personnes concernées. Cette mesure peut être envisagée par les autorités notamment pour la zone 1. Il n'est question en aucun cas de prendre des mesures contraignantes, étant donné que la liberté individuelle et la responsabilité propre prévalent sur l'application de mesures décidées par les organes de conduite. Il faut garantir, par le biais d'une information franche et transparente, que les personnes concernées puissent estimer à tout instant les conséquences de leur propre comportement.

b En cas d'évacuation préventive, l'on ne disposera jamais du temps nécessaire pour mettre à disposition les infrastructures de transport requises. Comme pour d'autres concepts d'évacuation (p. ex. événements majeurs chimiques), le concept d'évacuation doit s'appuyer, en premier lieu, sur les propres moyens. Il sera ainsi demandé à la population concernée d'évacuer aussi rapidement que possible la zone de danger et par ses propres moyens. Les mesures de l'organe de conduite compétent se limitent à aider les habitants et habitantes à mobilité réduite ou des groupes cibles particuliers (écoles, maisons de retraite, etc.), par exemple en organisant un bus navette devant se rendre à des points de ramassage désignés et prendre en charge toutes les personnes qui ne peuvent pas s'éloigner de la zone dangereuse par leurs propres moyens. Les principales routes d'évacuation seraient la route cantonale 5 en direction du nord (Bad Zurzach, ou Rheinfelden-Bâle) ou en direction du sud (Brugg-Baden) et la route cantonale 17, Surbtalstrasse (en direction de Baden-Zurich).

c Les mesures de l'organe de conduite cantonal se concentreraient sur une évacuation préventive, à une information transparente et régulière ainsi qu'à la gestion de la circulation. À titre d'exemple, des barrages / déviations seraient mis en place en périphérie de la zone 1, ce qui permettrait d'éviter toute gêne dans l'évacuation de la zone 1 et d'indiquer la menace de danger dans le périmètre de la centrale. Des avis d'état du trafic renseigneraient sur les embouteillages et les gênes ainsi que sur les possibilités de déviations éventuelles. Parallèlement, des centres d'hébergement de secours, préparés pour accueillir la population de la zone 1, seraint indiqués. Afin que cette dernière puisse quitter la zone 1 rapidement et sans encombre, une « gestion du trafic » efficace serait requise dans le sens d'une aide organisationnelle avec, notamment, une interdiction d'accès aux entrées d'autoroute afin de soutenir un écoulement du trafic aussi fluide que possible dans la région menacée. Des données sur d'autres voies d'évacuation (y compris d'éventuels lieux de séjour et / ou points de rassemblement) constitueraient d'autres éléments de la gestion du trafic. Il convient d'identifier des points de rassemblement comportant un nombre de places de parking suffisant ainsi que d'autres infrastructures pour le séjour temporaire de personnes cherchant une protection.

d Le soutien doit se concentrer uniquement sur les personnes qui n'ont pas une autonomie suffisante pour quitter la zone menacée. Le pourcentage des résidents et de certaines catégories de population non résidente ayant potentiellement besoin d'être évacuées par des moyens mis à disposition par le canton (notamment les personnes dans les hôpitaux, les maisons de retraite et les écoles) est sommairement évalué à 10% au maximum. La population résidentielle et les non-résidents dans la zone 1 sont récapitulés dans le Tableau 3.2-1. Dans la zone 1 autour de l'EKKB sont situés un hôpital à Leuggern, 4 maisons de retraite et établissements sociaux médicalisés ainsi que 8 écoles du cycle secondaire 1. Les moyens de transport sont constitués par les cars postaux ou le

transport ferroviaire à partir de la gare de Döttingen. La compagnie ferroviaire nationale SBB et lesentreprises de cars postaux sont représentées dans l'état-major de conduite du canton d'Argovie.

- e La mise en œuvre des mesures doit être organisée sous la responsabilité principale des autorités régionales. Il existe des listes de contrôle avec une documentation-cadre pour les hôpitaux, les maisons de retraite, les écoles et les entreprises. Seules des infrastructures existantes (comme p. ex. des salles polyvalents et des gymnases ou installations sportives) peuvent être prises en considération comme hébergement de fortune. En raison de la situation géographique de l'EKKB qui comporte des voies de communication performantes dans ses environs immédiats, il est déjà possible d'envisager de nombreuses issues d'évacuation adéquates eu égard aux différentes directions principales des vents (N, S, O, E).

Une évacuation préventive serait réalisable en tenant compte des principes mentionnés ci-avant. Le canton d'Argovie devrait élaborer un concept d'évacuation détaillé réglant point par point l'évacuation sur la base de ces principes.

La Centrale nationale d'alarme (CENAL) est compétente pour ordonner les mesures de protection dans le voisinage d'installations nucléaires, et ce, jusqu'à ce que le « Comité directeur radioactivité » (CODRA, voir [64]) ait mis en place sa capacité d'intervention opérationnelle et que le Conseil fédéral soit en mesure, en qualité d'autorité suprême, d'ordonner d'autres mesures de protection et de prendre des décisions. Des mesures à prendre au cours de ladite « phase sol » et/ou au-delà de la période de prévision ne font donc pas partie du concept de protection d'urgence prédéfini par la Confédération et les cantons, mais doivent être au contraire fixées et exécutées sur place face à la situation réelle.

Tableau 3.2-1 : Population des communes de la zone 1

Commune	Population résidente	Actifs (état : 2005)	Écoles (sec 1)[8]	Hôpitaux	Maisons de retraite[9]	Autres
Böttstein	3727	1120	229			
Döttingen	3423	1693	217		64	
Full-Reuenthal	844	249				
Klingnau	2924	876	313			
Coblence	1599	614			9	
Leibstadt	1288	922	128			
Leuggern	2083	906	168	82	29	
Mandach	319	79				
Schwaderloch	694	167				
Villigen	1883	2088				
Wil	669	189				
Würenlingen	3772	1840	143		32	
Total	23225	10743	1198	82	134	

Le chapitre 3.2.4.3 et le chapitre 3.2.4.4 fournissent des données détaillées sur les chiffres et la répartition démographique au voisinage du site.

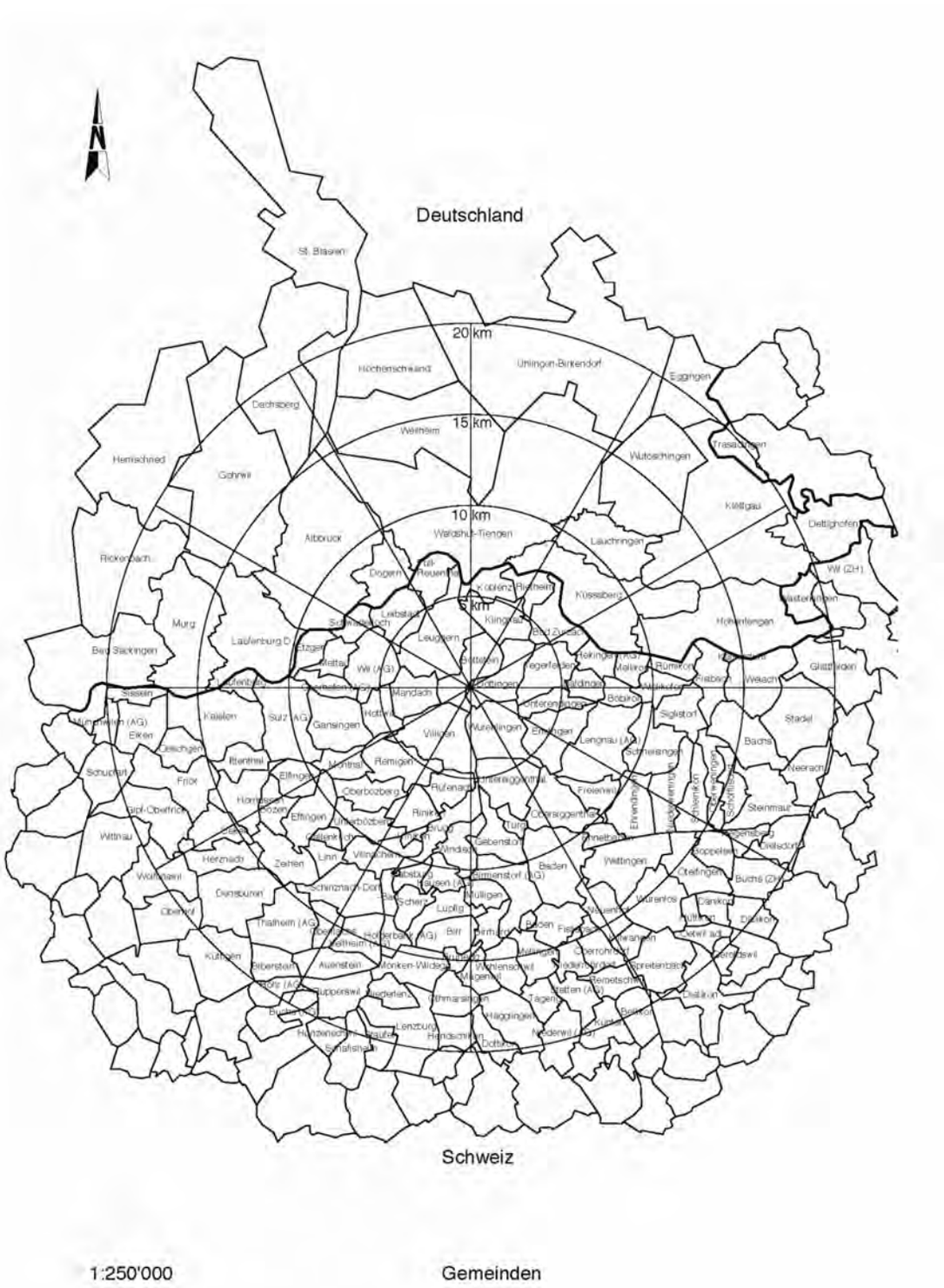
[8] Les écoles du cycle secondaire I et les écoles spécialisées ont été comptabilisées. Eu égard à la notion d'évacuation horizontale, les élèves du cycle secondaire 2 sont considérés comme autonomes.

[9] Les résidentes et résidents des maisons de retraite sont comptabilisés dans la population résidentielle

3.2.4.3 Population résidente et zones de protection en cas d'urgence

Le Tableau 3.2-8 indique la population actuelle des communes des cantons d'Argovie, de Zurich, de Schaffhouse et de l'arrondissement de Waldshut (Allemagne) dans un rayon de 20 km autour du site de la future centrale. La répartition des communes autour du site est représentée en Fig. 3.2-3. Les données figurant dans le Tableau 3.2-8 sont basées sur les chiffres de l'année 2006. Sources : www.ag.ch/staag, www.statistik.zh.ch, www.sh.ch et www.statistik-bw.de (ou Landratsamt Waldshut, Statistique 2007, population et économie dans l'arrondissement de Waldshut).

Fig. 3.2-3 : Répartition des communes autour du site



L'Ordonnance sur la protection d'urgence [65] définitdeux zones de protection en cas d'urgence. La zone 1 correspond à la zone entourant la centrale nucléaire dans laquelle le danger résultant d'un accident majeur peut exiger des mesures de protection rapides pour la population. La zone 2 est adjacente à la zone 1 et correspond à une zone d'un rayon de 20 km environ. Elle est divisée en secteurs.

En raison de la proximité des deux centrales nucléaires de Beznau et de Leibstadt, une zone commune a été établie pour ces deux sites. Les zones de danger 1 et 2 pour l'EKKB seront définies sur la base des résultats APS produits au moment de l'autorisation de construire.

Les zones existantes pour les KKB 1 et 2 ont été utilisées pour représenter la répartition démographiqueautour du site. La répartition démographique dans les différents secteurs de risques est reproduite sur Fig. 3.2-4. Selon l'ancienne pratique, cette représentation comprend des parties de territoire de la République fédérale d'Allemagne. Les secteurs des Fig. 3.2-5 à Fig. 3.2-8 correspondent à la représentation figurant dans le document de la DNS « Zonage pour la préparation des plans d'urgence » (édition de septembre 2008). La répartition en secteurs concentriques (Fig. 3.2-9 et Tableau 3.2-2) correspond à la représentation dans les actuels rapports de sécurité de la centrale nucléaire de Beznau.

Fig. 3.2-4 : Chiffres démographiques dans les secteurs à risque

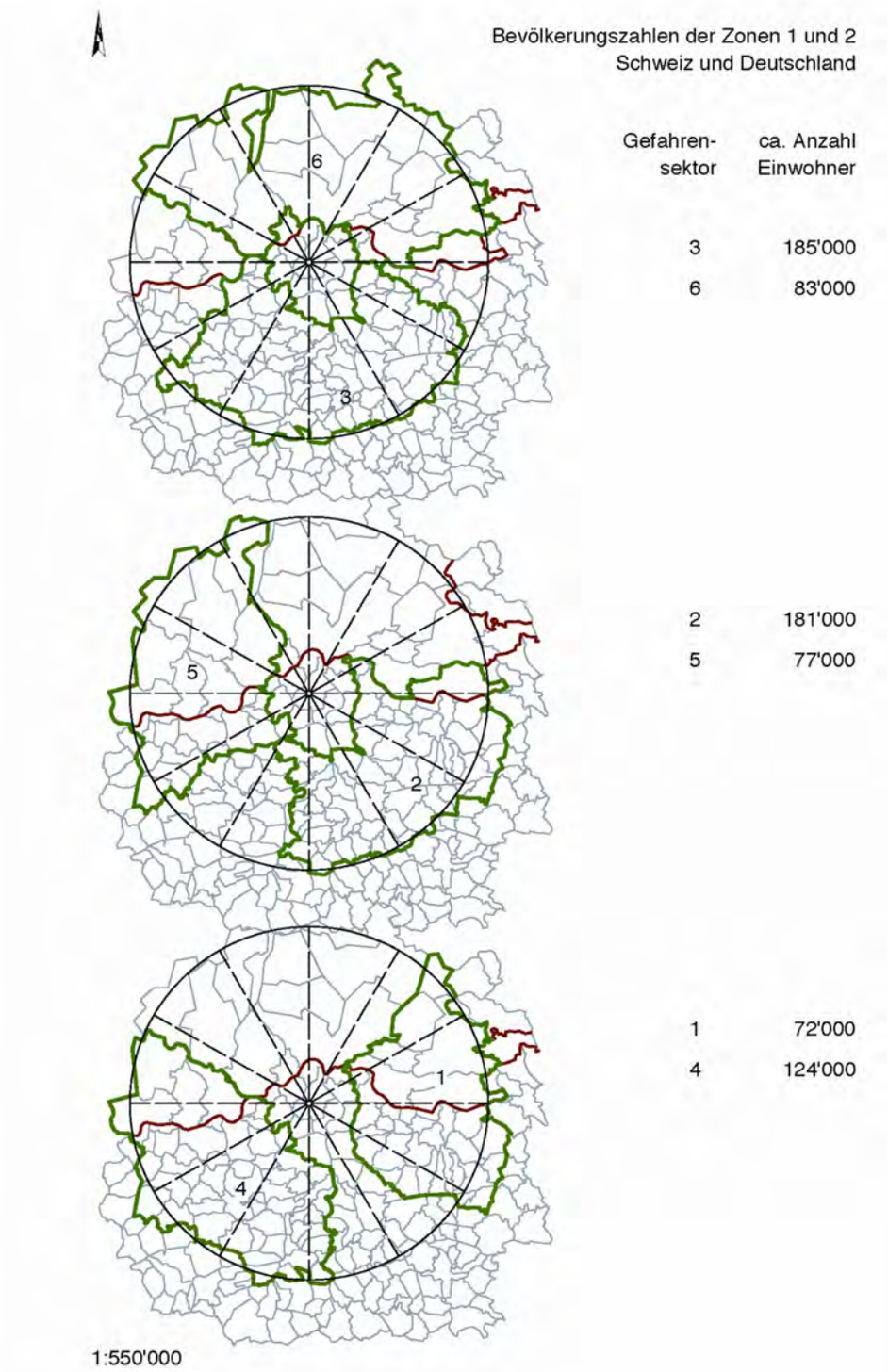


Fig. 3.2-5 : Zone de protection d'urgence 1 pour les centrales nucléaires de Beznau et de Leibstadt

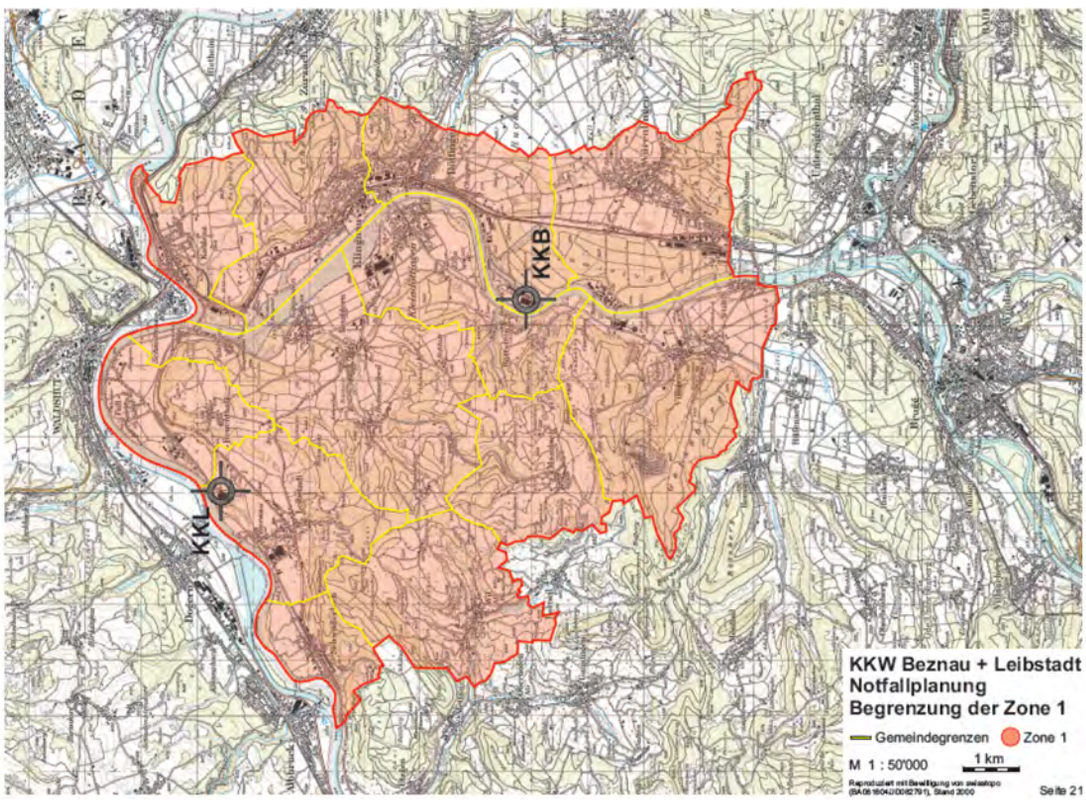


Fig. 3.2-6 : Secteurs à risque 1 et 4 de la zone de protection d'urgence 2

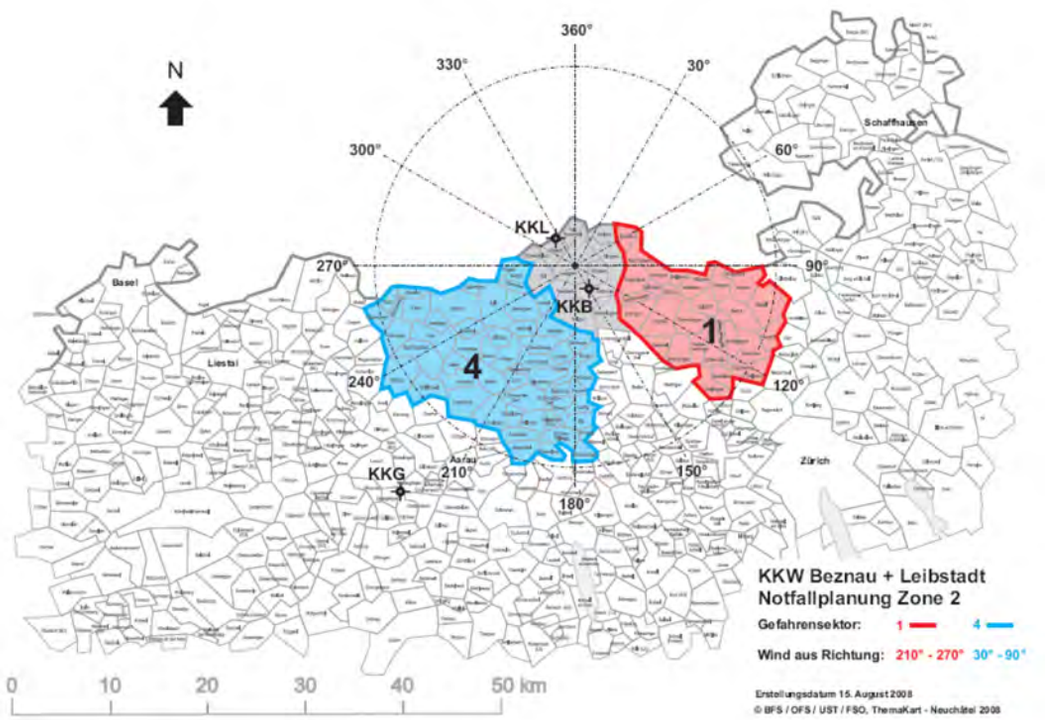


Fig. 3.2-7 : Secteurs à risque 2 et 5 de la zone de protection d'urgence 2

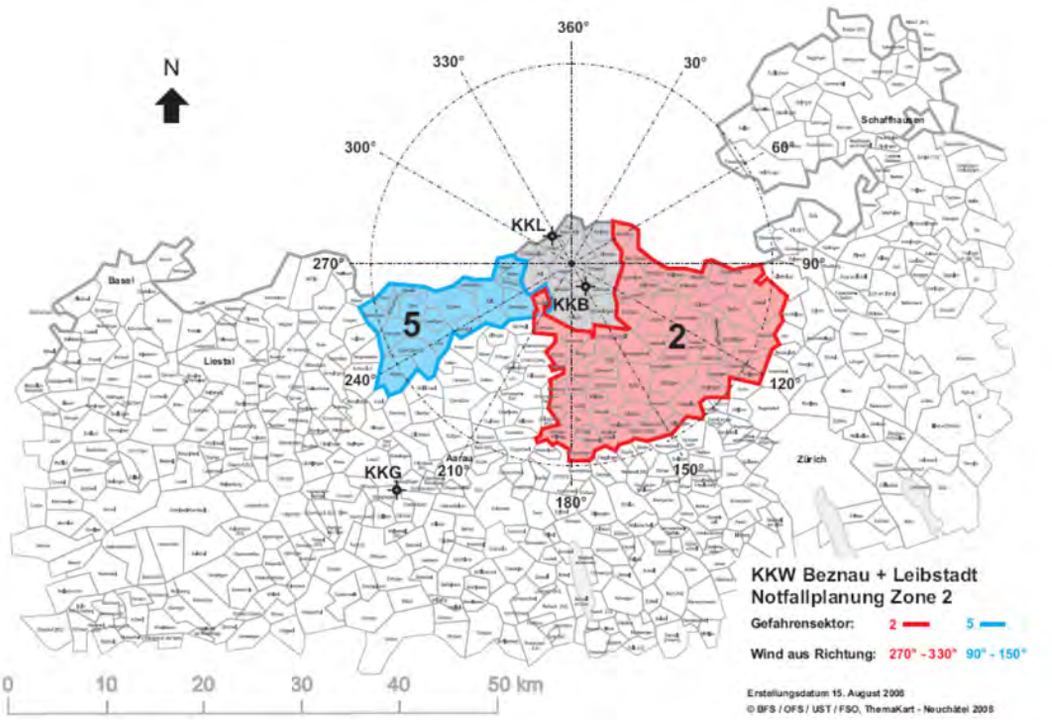


Fig. 3.2-8 : Secteur à risque 3 de la zone de protection d'urgence 2

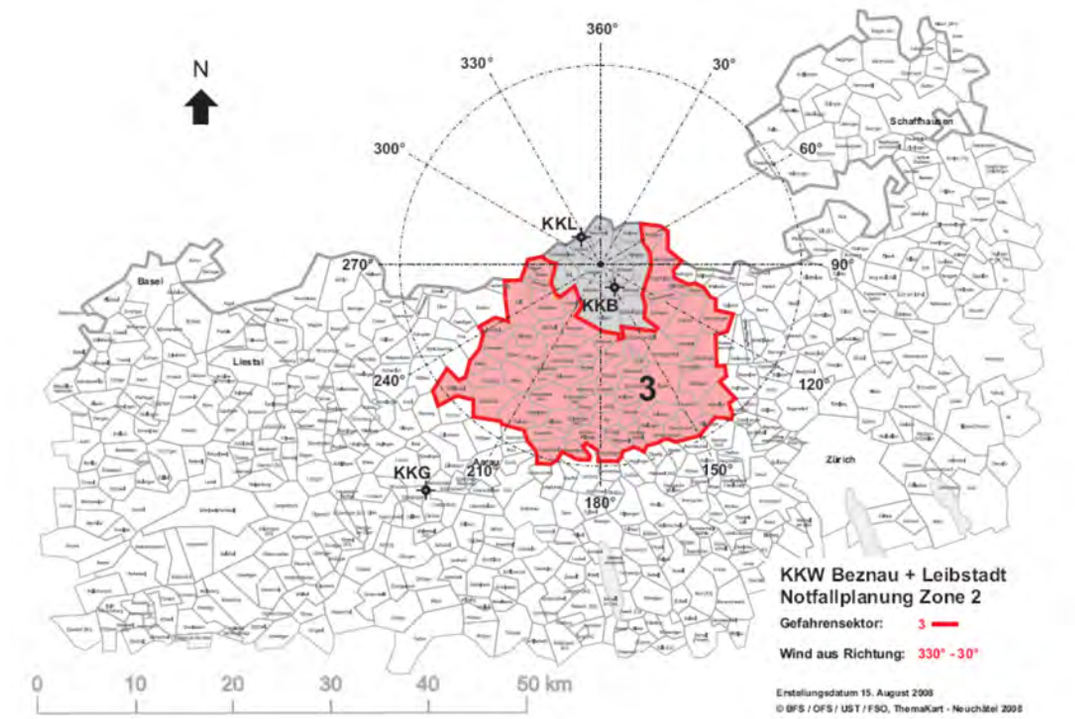


Fig. 3.2-9 : Chiffres démographiques dans les secteurs concentriques

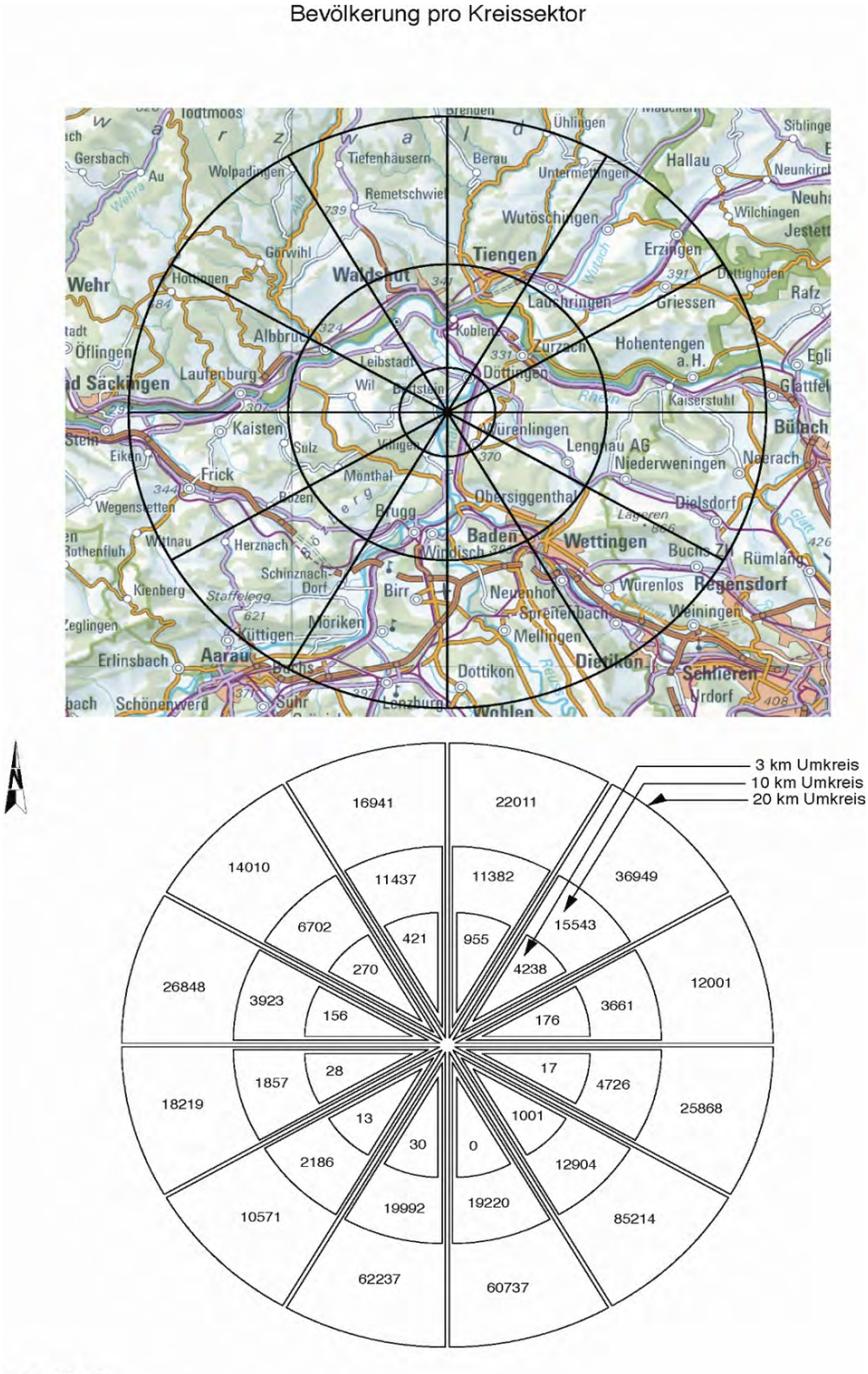


Tableau 3.2-2 : Répartition démographique dans un rayon de 20 km

Rayon km	Zones concentriques												
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	total
0-1	34	34	0	0	0	0	0	7	20	105	183	28	411
1-3	921	4204	176	17	1001	0	30	6	8	51	87	393	6894
0-3	955	4238	176	17	1001	0	30	13	28	156	270	421	7305
3-6	2061	4183	1202	2202	2024	2985	1900	989	563	483	1127	1739	21458
6-10	8366	7122	2283	2507	9879	16235	18062	1184	1266	3284	5305	9277	84770
3-10	10427	11305	3485	4709	11903	19220	19962	2173	1829	3767	6432	11016	106228
0-10	11382	15543	3661	4726	12904	19220	19992	2186	1857	3923	6702	11437	113533
10-15	6632	11478	1951	6576	40052	16031	14695	3121	4388	13185	4045	2359	124513
15-20	3997	9928	6389	14566	32258	25486	27550	5264	11974	9740	3263	3145	153560
10-20	10629	21406	8340	21142	72310	41517	42245	8385	16362	22925	7308	5504	278073
0-20/ total	22011	36949	12001	25868	85214	60737	62237	10571	18219	26848	14010	16941	391606

Les chiffres démographiques indiqués pour la répartition de la population dans les secteurs concentriques (Fig. 3.2-9) datent également de l'année 2006. Cette remarque vaut aussi pour les secteurs figurant sur Fig. 3.2-4. La base des données est fournie par les chiffres démographiques dégagés par la statistique de la superficie (ha-Raster) de l'Office fédéral de la statistique, www.bfs.admin.ch (Geodaten Pro) de l'année 2000, avec correction pour chaque commune sur l'année 2006. Les données de l'arrondissement de Waldshut ont été saisies à l'aide d'une estimation des chiffres démographiques par commune ou par localité et taux de surface bâtie correspondant à la carte topographique 1:25 000. Les chiffres de la Fig. 3.2-4 concordent avec ceux figurant dans le document de la DNS « Plans des zones pour la préparation des plans d'urgence » (édition : septembre 2008).

À la différence des secteurs de danger, les limites des zones concentriques ne suivent pas les limites communales. Les communes à la périphérie du rayon de 20 km sont séparées par un cercle, de sorte qu'une partie de la population habite en dehors du rayon. Cette raison explique pourquoi la population totale indiquée dans le Tableau 3.2-2 diffère de la somme des chiffres démographiques des communes qui figure au chapitre 3.2.9.

Les densités moyennes de la population au voisinage de Beznau (y compris sur le territoire allemand) sont les suivantes (cf. Tableau 3.2-3) :

Tableau 3.2-3 : Densité moyenne de la population au voisinage de Beznau (y compris le territoire allemand)

Distance avec l'EKKB (km)	Densité (Personnes/km^2)
0 – 3	29
0 – 10	361
0 – 20	311
Total Argovie	418
Total Suisse	184

La population totale dans un rayon de 20 km s'élève à 391 606 personnes contre 377 727 en 1998 / 1999, ce qui correspond à une hausse de 3.7% sur environ 6 années. Cette augmentation est ainsi d'environ 1% inférieure à celle de toutes les communes (y compris les habitants situés au-delà de la zone des 20 km) entre 2000 et 2006. D'une manière générale, les sommes partielles par secteur, ou selon la distance, correspondent bien aux données de 1998 / 1999. La répartition des secteurs avec une valeur 0 ou des valeurs inférieures concordent également. Il convient à chaque fois de tenir compte du fait que le point d'origine pour les calculs a été déplacé de 270 m vers le NNO. Les données des années 1998 / 1999 ont été saisies dans le cadre de l'actualisation des dossiers pour KKB 1 et 2.

La population des agglomérations dans un rayon de 20 km autour du site de Beznau est représentée dans le Tableau 3.2-4. Les données concernant la taille et la répartition des agglomérations ne revêtiraient de l'importance que pour des mesures d'évacuation selon le CMD de l'OROIR [64].

Tableau 3.2-4 : Agglomérations dans un rayon de 20 km

Localités	Habitants	Distance km
Würenlingen	3 772	3.0
Döttingen, Klingnau, Kleindöttingen	9 527	4.0
Untersiggental, Turgi	9 117	6.0
Bad Zurzach, Rheinheim (D)	5 270	6.5
Coblence, Waldshut (sans Tiengen)	11 431	7.5
Gebenstorf	4 499	8.0
Brugg, Windisch, Umiken	16 918	8.2
Obersiggenthal	7 466	8.5

Localités	Habitants	Distance km
Albbruck (D)	7 400	8.5
Tiengen, Lauchringen	15 820	10.0
Baden, Ennetbaden	19 793	10.0
Wettingen, Neuenhof	26 815	12.0
Birr, Lupfig	5 804	12.5
Laufenburg (CH, D), Murg (Niederhof, Binzgen)	17 606	13.0
Fislisbach	4 764	13.5
Schinznach-Dorf, Veltheim, Oberflachs	3 501	14.0
Erzingen (D), Trasadingen (SH)	3 907	15.0
Hohentengen (D), Kaiserstuhl (CH)	4 112	15.0
Mellingen	4 447	15.5
Würenlos	5 198	16.0
Möriken-Wildegg	3 832	16.0
Wutöschingen (D) (Wutöschingen et Degernau)	6 647	16.0
Oberrohrdorf, Niederrohrdorf	6 334	16.5
Frick, Gipf-Oberfrick	7 705	17.0
Dottikon, Hägglingen	5 213	18.0
Lenzburg, Staufen, Niederlenz	14 110	18.0
Dielsdorf (ZH)	5 010	18.5
Spreitenbach, Killwangen	11 948	18.5
Rupperswil, Hunzensschwil	6 875	19.0
Buchs (ZH)	4 988	19.0
Total, moyenne pondérée	259 829	12.2

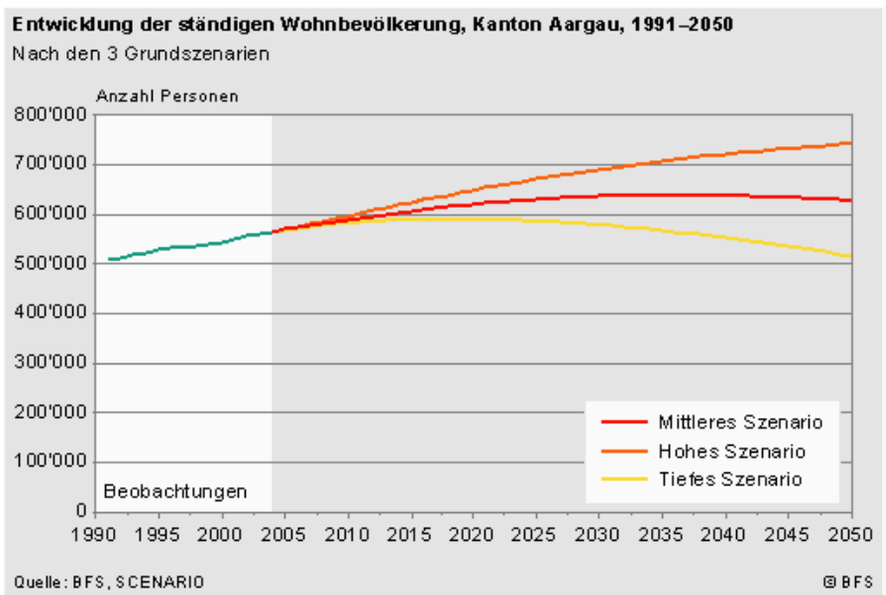
Dans une comparaison entre deux décennies, les communes placées dans un rayon de 20 km enregistraient une croissance démographique de 10.6% entre 1980 et 1990, de 11.7% entre 1990 et 2000 et de 4.9% entre 2000 et 2006 (cf. Tableau 3.2-9). Dans le canton d'Argovie qui comporte le plus fort pourcentage de population dans un rayon de 20 km, l'augmentation se situait à 0.05% en 1998. En 1999, la population de l'arrondissement de Waldshut a progressé de 0.2%. Environ 25% de la population du rayon de 20 km autour de Beznau habite dans cette zone.

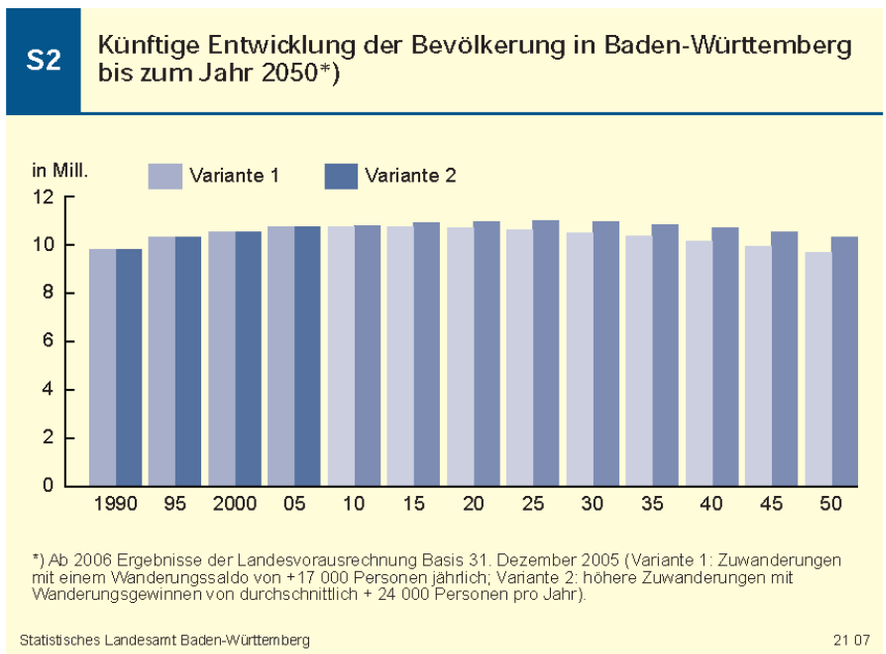
Cette comparaison montre une tendance actuellement plutôt à la baisse du taux de croissance démographique. C'est pourquoi il ne faut pas s'attendre à un taux de croissance élevée dans les années à venir.

Tant en Suisse que dans le Bade-Wurtemberg, les services responsables ainsi que l'Office fédéral de la statistique et le Statistisches Landesamt parviennent aux résultats suivants à l'appui de divers scénarios (Fig. 3.2-10) :

- Une légère progression de la population se poursuivra dans les trente années à venir. Ensuite, la population résidente enregistrera un recul progressif.
- La population active diminue.
- Il faut s'attendre à ce que la plus faible croissance démographique soit observée dans les régions rurales périphériques.

Fig. 3.2-10 : Évolution démographique dans le canton d'Argovie et dans le Bade-Wurtemberg





En 2003, l'Office de la statistique du canton d'Argovie a pronostiqué une augmentation annuelle de la population de 0.67% de 2003 à 2030 (total : 20.3%). Avec 0.5%, le district de Zurzach se situe nettement en dessous de la moyenne cantonale de 20.3%.

Döttingen a vocation de pôle de développement économique d'importance régionale (cf. également chapitre 3.2.5).

Il faut compter actuellement avec une faible croissance démographique dans le Bade-Wurtemberg qui, à l'instar de la Suisse, est la plus basse dans les zones rurales. Pour la zone située dans un rayon de 20 km autour du site, l'on attend une situation stable avec des variations de l'ordre de -1% à +1% jusqu'en 2025., suivie d'une tendance plutôt à la baisse à l'horizon 2050.

Les chiffres susmentionnés concernent la population résidente. L'on admet actuellement une augmentation de la population à proximité du site pendant les heures de travail d'env. 1 100 personnes actives au PSI ainsi qu'environ 500 personnes actives sur le site même. En cas d'exploitation parallèle[10] de KKB 1 et 2 et de l'EKKB, il conviendrait de compter avec quelque 350 personnes activessupplémentaires, ce nombre pouvant atteindre périodiquement environ 3 000 personnes sur le chantier pendant la construction de l'EKKB.

La répartition de la population résidente au voisinage du site ne présente pas de caractéristiques défavorables à l'implantation de sites de centrales nucléaires qui entraveraient les mesures de protection en cas d'urgence. Dans le futur, la situation ne devrait subir aucune modification notable.

3.2.4.4 Population transitoire

Par population transitoire, l'on entend les collaboratrices et collaborateurs en mission pour des entreprises industrielles et de services ainsi que d'autres catégories de personnes qui séjournent temporairement dans les zones de danger (clientèle des hôtels, personnes hospitalisées, élèves, etc.). Les mesures de protection en cas d'urgence (séjour dans la maison, dans la cave / dans l'abri, évacuation, ingestion de comprimés d'iode) identifiées dans le CMD de l'Ordonnance relative à l'organisation d'intervention en cas d'augmentation de la radioactivité (OROIR-RS 732.32) seraient également applicables à la population transitoire.

Le nombre de lieux de travail et de personnes employées dans un rayon de 20 km sont présentés au chapitre 3.2.11. Les données datent de l'année 2006 (sources : www.ag.ch/staag ; www.statistik.zh.ch, www.sh.ch). En Suisse, seules les entreprises situées à l'intérieur de la zone des 20 km ont été comptabilisées. La base des données pour les communes sises sur la limite des 20 km est fournie par les chiffres d'exploitation de la statistique de la superficie (ha-Raster) de l'Office fédéral de la statistique, www.bfs.admin.ch (Geodaten Pro) de l'année 2005, avec correction pour l'année 2006. Les données pour l'arrondissement de Waldshut sont issues de www.statistik-bw.de (ou du Landratsamt Waldshut, statistique 2007, population et économie dans l'arrondissement de Waldshut). Sont indiquées ici toutes les entreprises de la commune, y compris

[10] La NOK entend mettre hors service le plus rapidement possiblel'actuelle centrale nucléaire de Beznau KKB après la mise en service de la centrale de remplacement (EKKB). Cependant, l'exploitation parallèle des deux installations est, à l'heure actuelle, éventuellement nécessaire afin de continuer à garantir la sécurité d'approvisionnement de la NOK et des partenaires participant au projet de remplacement de la centrale durant la première phase suivant la mise en service de l'EKKB.

celles situées en dehors de la limite des 20 km. Dans la zone des 20 km, 159 374 personnes au total sont employées, ce qui correspond à env. 50% de la population résidente. Une partie de ce nombre recoupe les catégories résidents/actifs dans le rayon de 20 km. D'autre part, il existe des circulations avec les régions se trouvant en dehors de ce rayon.Par ailleurs, les écoles à partir du second cycle, les écoles secondaires / collèges et les instituts technologiques et hautes écoles, les hôpitaux, les maisons de retraite ainsi que le logement temporaire (hébergement et hôtels) représentent d'autres sources importantes de population transitoire. Les données sont reproduites du Tableau 3.2-4 au Tableau 3.2-6 ainsi que sur la Fig. 3.2-11. Au total, la population transitoire relevant de ces catégories devrait s'élever à quelque 26 700 personnes dans le rayon des 20 km, ce qui représente moins de 10% de la population résidente. Il en résulte une population transitoire totale de 186 074 personnes. Comparé à une population résidentielle de 391 606 personnes, ce nombre est relativement élevé. Il s'agit d'une observation prudente car le chiffre de la population non résidente représente la somme des capacités correspondantes (p. ex. d'hôtels ou d'hôpitaux) qui ne sont pas toujours entièrement utilisées. Le chiffre de la population transitoire est fluctuant. L'on constate aussi bien des déplacements (de la catégorie population résidentielle à la catégorie population transitoire) à l'intérieur du rayon qu'un échange avec les régions se trouvant à l'extérieur de celui-ci.

Tableau 3.2-5 : Population transitoire à prendre également en compte dans le rayon de 20 km en Suisse

Distance	Formation (écoles à partir du second cycle, écoles secondaires, hautes écoles)	Santé (hôpitaux, maisons de retraite)	Nuitées (hôtels)
0-3 km	446	0	28
3-10 km	6742	336	461
10-20 km	11 656	824	224
Total	18 844	1 160	713

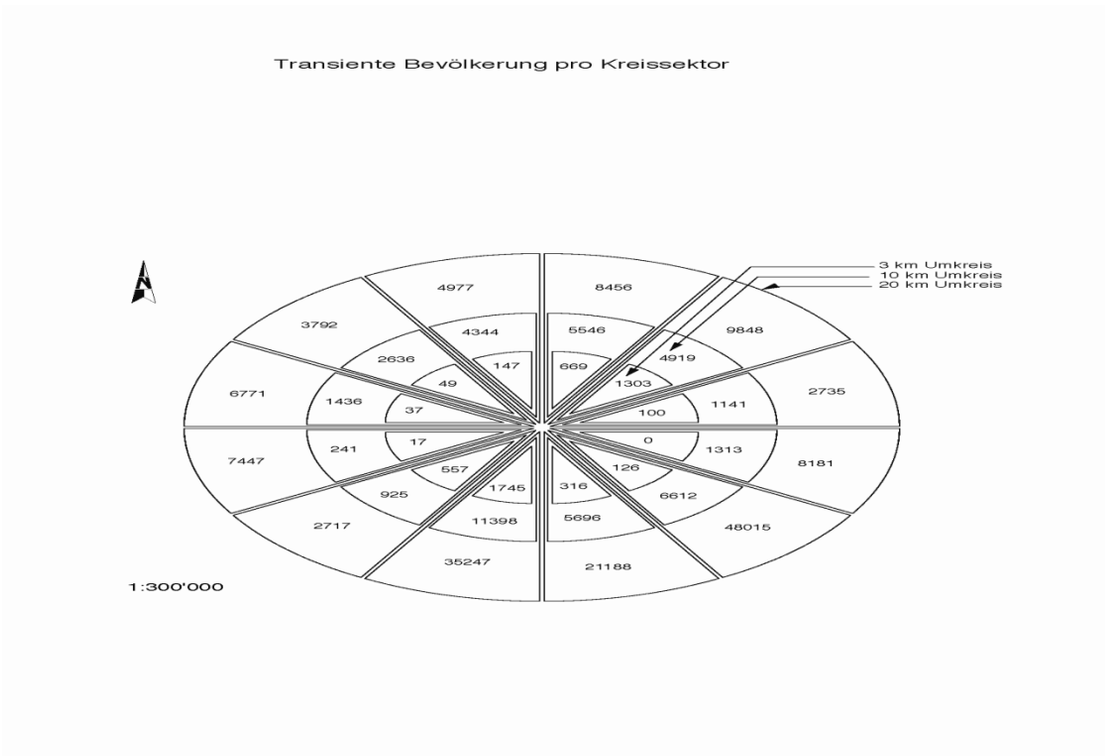
Tableau 3.2-6 : Population transitoire à prendre également en compte dans le rayon de 20 km en Allemagne

Distance	Formation (écoles à partir du second cycle, collèges)	Santé (hôpitaux, maisons de retraite)	Nuitées (hôtels)
0-3 km	0	0	0
3-10 km	2 620	270	75
10-20 km	2 496	215	299
Total	5 116	485	374

Tableau 3.2-7 : Population transitoire à prendre également en compte dans le rayon de 20 km par secteurs

Distance	Secteur												
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	total
0-3 km	0	446	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	474
3-10 km	1639	1350	48	135	469	730	3807	0	71	27	478	1750	10504
10-20 km	442	598	235	600	6194	1643	2496	558	1134	1468	276	70	15714
0-10 km	1639	1796	48	135	469	730	3807	0	71	55	478	1750	10978
0-20 km	2081	2394	283	735	6663	2373	6303	558	1205	1523	754	1820	26692

Fig. 3.2-11 : Population transitoire dans les zones concentriques



Un petit centre commercial à Würenlingen se situe à l'intérieur de la zone 1. Des magasins ou des boutiques dans les localités de Brugg, Baden, Wettingen, Buchs et Spreitenbach se trouvent au sein de la zone 2.

Les zones 1 et 2 ne comportent ni l'une ni l'autre de terrains de sport ou d'aires de loisirs importants.

Le chiffre et la répartition de la population transitoire au voisinage du site ne présentent pas de caractéristiques défavorables à l'implantation de sites de centrales nucléaires qui entraveraient les mesures de protection en cas d'urgence.

3.2.4.5 Appréciation succincte

En Suisse, les mesures de protection en cas d'urgence au niveau de l'exploitation sont généralement parfaitement établies. Elles sont basées sur des prescriptions légales et des exigences fixées par les autorités et mises en œuvre dans le cadre de concepts fiables.

La protection en cas d'urgence s'appuie, en premier lieu, sur la mise en œuvre systématique dudit « concept de défense en profondeur » (« Defense in Depth ») lors de la conception de l'installation par lequel les répercussions de défaillances, même graves, peuvent être limitées avec la plus forte probabilité à l'installation elle-même. Par conséquent, les mesures de protection en cas d'accident à l'extérieur de l'installation ne ne seraient donc à prendre que dans un cas extrêmement invraisemblable. Bien que la faisabilité d'une évacuation préventive ait été remise en question dans le cadre de l'élaboration de la révision de l'Ordonnance sur la protection d'urgence, les études y afférentes montrent toutefois qu'elle devrait pouvoir être réalisable. La mise en œuvre est établie en coopération avec les organes compétents de la Confédération, du Canton et des communes. Les modalités de l'évacuation préventive doivent notamment être harmonisées avec le futur concept d'évacuation du canton d'Argovie. L'analyse détaillée d'accidents entraînant de possibles conséquences sur les environs de la centrale nucléaire et pour la population qui y réside ainsi que la déduction d'éventuelles mesures de protection à prendre sont présentées dans les demandes de l'autorisation de construire ou d'autorisation d'exploitation comme le stipule l'article 24, ou 28, de l'OENu.

Les organisations et les états-majors d'intervention en cas d'urgence des centrales nucléaires existantes sont établis depuis longtemps et procèdent régulièrement à des exercices d'urgence au niveau local, national et internationa. Ils fournissent à la CENAL des indications importantes avec compétence et en temps utile (évaluation de la situation, évolution possible de l'accident) pour la prise de décisions relatives à d'éventuelles mesures.

La préparation des plans d'urgence pour l'EKKB sera conçue de manière similaire à celle de la KKB voisine. L'organisation d'intervention en cas d'urgence de l'EKKB est ainsi ancrée dans le réseau organisationnel en place et peut recourir à la longue expérience de l'actuelle installation de la KKB pour le développement, la conception et la mise en œuvre de la prévention des cas d'urgence. Partant de l'habitat et de la répartition et de l'évolution modérées de la population au voisinage du site, aucun effet négatif ne devrait entraver la préparation des plans d'urgence. Les mesures de protection en cas d'urgence pour l'EKKB sont ainsi réalisables.

3.2.5 Occupation des sols dans la région

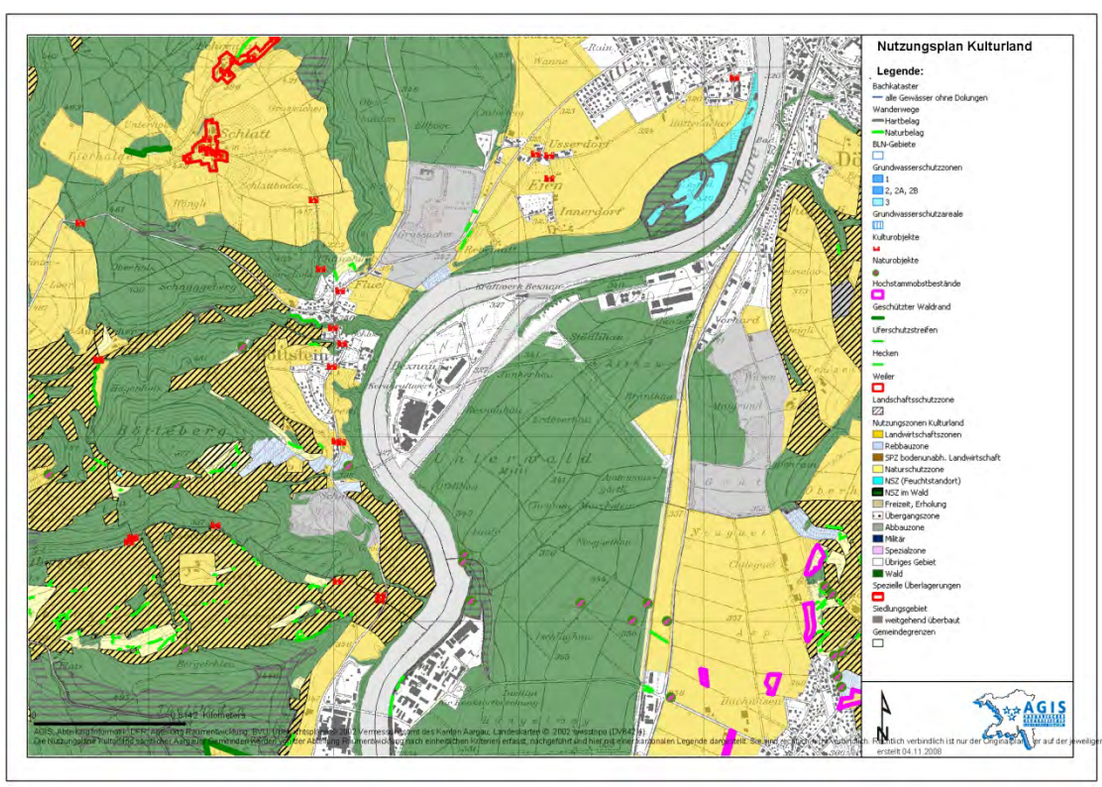
Pour calculer les valeurs limites des rejets de substances radioactives pour un poste d'émission, on utilise les facteurs de diffusion et des retombées entraînées par la pluie qui correspondent à l'endroit présentant la plus forte contribution de dose au voisinage d'une centrale nucléaire. Les distances inférieures à 200 m du lieu d'émission ne sont pas prises en compte lors de la détermination du lieu ayant la plus forte contribution de dose. En outre, les zones rurales non habitées et non utilisées pour la production de denrées alimentaires (p. ex. surfaces forestières) sont définies et séparées dans la mesure où la contribution principale de dose ne découle pas d'une exposition directe par le nuage radioactif (panache). C'est pourquoi la connaissance de l'utilisation des sols dans la région entourant le site joue un rôle important.

L'occupation des sols est issue de la statistique de la superficie (ha-Raster) de l'Office fédéral de la statistique (www.bfs.admin.ch, Geodaten Pro). L'agrégation en 4 domaines principaux a été utilisée pour l'évaluation : surfaces boisées = forêt ; surfaces agricoles = champ, prairie ; surfaces d'habitat et d'infrastructure = bâti / surface bâtie. Les surfaces improductives n'apparaissent pas dans l'évaluation. L'on a utilisé les données actuelles de 2006 provenant de l'exploitation des vues aériennes des années 1992 / 1997. Les données de l'arrondissement de Waldshut sont issues de la brochure (fichier PDF) : Landratsamt Waldshut, statistique 2007, population et économie dans l'arrondissement de Waldshut. La part des diverses communes sises dans un rayon de 10 km ou 20 km, résulte de réflexions de plausibilité, ou d'un bilan simple des surfaces (programme CAD). Ces données datent de l'année 2005.

L'occupation des sols aux environs immédiats est représentée sur les Fig. 3.2-12 à Fig. 3.2-14. La Fig. 3.2-12 montre L'occupation des sols juste à côté du site. Les Fig. 3.2-13 et Fig. 3.2-14 montrent l'occupation des sols à l'intérieur de la zone de protection en cas d'urgence 2.

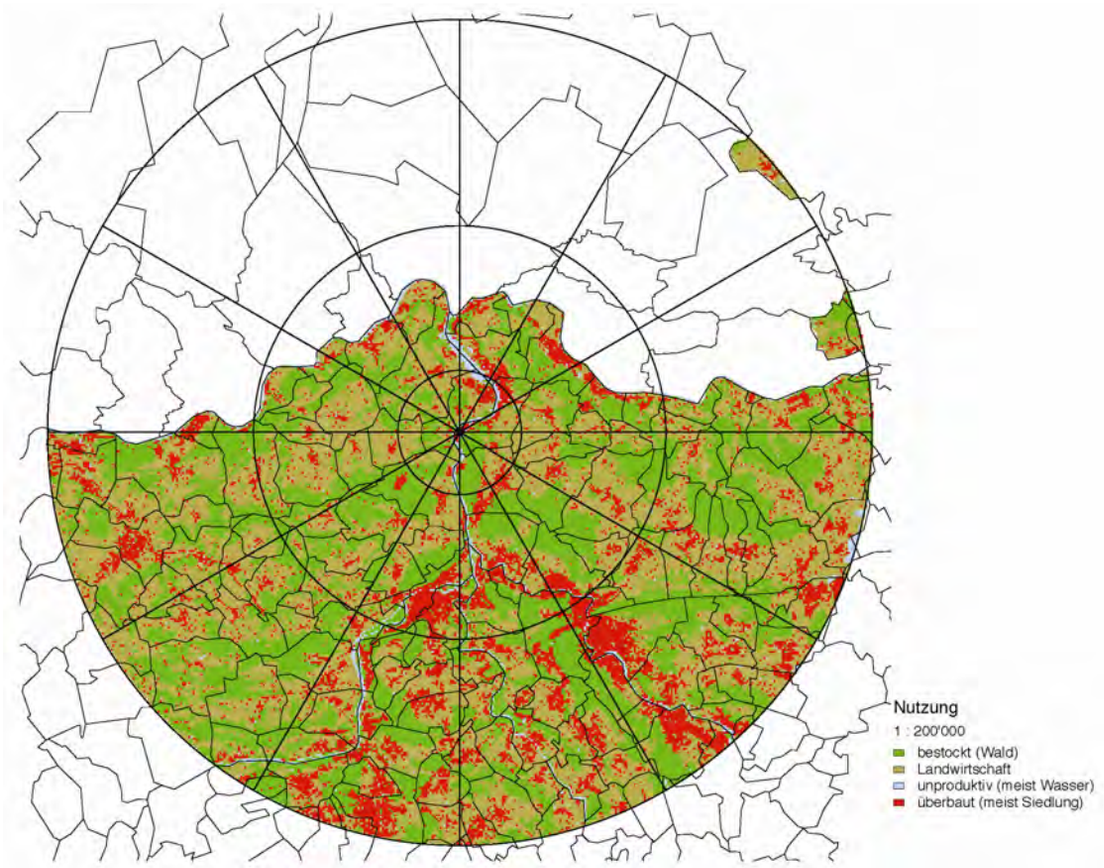
Dans le rayon de 20 km, le sol est occupé à raison de 44% par des terres agricoles. 40% de la surface au sol sont couverts de forêt et la surface bâtie en occupe 14%. Le sol restant est constitué d'eau, de friches ou sert de gravière.

Fig. 3.2-12 : Occupation des sols à proximité immédiate du site



Source : AGIS, Kt. AG

Fig. 3.2-13 : Occupation des sols à l'intérieur de la zone de protection en cas d'urgence 2 en Suisse



Source : AGIS, Kt. AG

Fig. 3.2-14 : Représentation de l'occupation des sols à l'intérieur de la zone de protection en cas d'urgence 2, y compris en République fédérale d'Allemagne



Le voisinage immédiat à l'intérieur d'un rayon de 10 km présente des chiffres similaires : utilisation à des fins agricoles : 41%, forêt : 39%, bâti : 14%.

Les chiffres relatifs à l'occupation des sols des diverses communes sont reproduits dans le Tableau 3.2-11 pour le rayon de 10 km et dans le Tableau 3.2-12 pour le rayon de 20 km. Les données pour la Suisse sont classées par canton, district et commune.

Dans le passé, l'occupation des sols est restée relativement stable dans la région. La région de Döttingen est considérée comme de pôle de développement économique d'importance régionale dans l'aménagement du territoire. Il s'agit de pôles d'activités situés à des endroits bien aménagés sur des axes de développement centraux et ruraux. Il convient de concevoir et d'améliorer les conditions nécessaires à des postes de travail compétitifs par une gestion active. Les priorités d'utilisation doivent être harmonisées avec leur situation. Il convient d'augmenter la disponibilité des terrains à bâtir.

Les pourcentages des 4 domaines principaux de l'occupation des sols ne devraient pas enregistrer de modifications significatives, exception faite tout au plus d'une augmentation constante de la « surface bâtie » au détriment des surfaces agricoles. L'ampleur de cette augmentation dépend notamment de l'impact des mesures en matière d'aménagement du territoire.

La statistique relative à l'occupation des sols n'exerce aucune influence directe sur la conception et l'exploitation d'une centrale nucléaire.

La répartition de l'occupation des sols au voisinage du site ne présente pas de caractéristiques défavorables qui entraveraient le calcul des valeurs limites des rejets de substances radioactives ou la mise en œuvre des mesures de protection en cas d'urgence.

3.2.6 Événements extérieurs

Des événements extérieurs en relation avec la situation géographique, l'occupation des sols ou la répartition de la population ne sont pas connus.

3.2.7 Évaluation de l'adéquation du site en relation avec les conditions géographiques et la répartition démographique

L'examen de la répartition démographique (population résidentielle et population non résidente) et de son évolution au voisinage de la future centrale nucléaire ne révèle aucune caractéristique défavorable à son implantation. Le site convient à la construction et à l'exploitation de la centrale nucléaire EKKB prévue. Par rapport à la période 1980-2000, le taux de croissance de la population résidente a ralenti au cours des dernières années. Dans le futur également, les chiffres de la population résidente devraient rester stables.

D'une manière générale, la densité de la population vivant à proximité des centrales nucléaires suisses est relativement élevée dans la comparaison internationale. Contrairement à ce que connaissent d'autres pays (p. ex. les États-Unis d'Amérique), aucune zone d'exclusion (Exclusion Zones) n'est définie, ce qui est pris en considération dans la fixation des exigences des autorités suisses à la sécurité nucléaire et aux émissions radiologiques.

Les conditions géographiques et l'occupation des sols ne montrent également aucune caractéristique défavorable. Le voisinage immédiat du site sert essentiellement à des fins agricoles ou est boisé, en particulier à l'est.

En outre, la géographie, la population et l'occupation des sols ne présentent aucun événement extérieur susceptible d'engendrer des accidents.

3.2.8 Application pour les mesures de protection en cas d'urgence

Est documentée et évaluée dans le cadre de la préparation de la demande de l'autorisation de construire.

L'analyse probabiliste de sécurité est également effectuée pour la demande de l'autorisation de construire. Les autorités utilisent les résultats pour déterminer les zones de danger conformément à l'Ordonnance sur la protection d'urgence [65].

Les données relatives aux chiffres de la population et à la répartition démographique peuvent être utilisées lors de la préparation des mesures de protection en cas d'urgence selon le CMD de l'Ordonnance relative à l'organisation d'intervention en cas d'augmentation de la radioactivité [64].

3.2.9 Annexe 1 : Chiffres actuels de la population des communes situées dans un rayon de 20 km

Tableau 3.2-8 : Chiffres actuels de la population des communes situées dans un rayon de 20 km

Pays	Canton / Arrondissement	Communes	Habitants 2006	Distance (km) depuis le centre du rayon jusqu'à la frontière communale
CH	AG	Ammerswil	649	19.7
CH	AG	Auenstein	1 443	15.8
CH	AG	Bad Zurzach	4 032	4.2
CH	AG	Baden	16 845	8.3
CH	AG	Baldingen	275	5.2
CH	AG	Bellikon	1 462	18.7
CH	AG	Bergdietikon	2 260	19.3
CH	AG	Biberstein	1 277	17.6
CH	AG	Birmenstorf	2 404	9.2
CH	AG	Birr	3 840	12.5
CH	AG	Birrhard	643	11.9
CH	AG	Böbikon	185	7.0
CH	AG	Böttstein (inkl. Kleindöttingen, Burlen, Eien)	3 727	0.2
CH	AG	Bözen	668	11.2
CH	AG	Brugg	9 180	5.1
CH	AG	Brunegg	489	14.0

Pays	Canton / Arrondissement	Communes	Habitants 2006	Distance (km) depuis le centre du rayon jusqu'à la frontière communale
CH	AG	Buchs	6 298	18.7
CH	AG	Densbüren	741	14.8
CH	AG	Dintikon	1 411	19.7
CH	AG	Dottikon	3 113	17.4
CH	AG	Döttingen	3 423	0.0
CH	AG	Effingen	624	9.1
CH	AG	Ehrendingen	3 829	9.6
CH	AG	Eiken	1 938	16.7
CH	AG	Elfingen	249	9.4
CH	AG	Endingen	1 880	3.3
CH	AG	Ennetbaden	2 948	9.8
CH	AG	Etzgen	438	7.6
CH	AG	Fisibach	380	12.2
CH	AG	Fislisbach	4 764	12.5
CH	AG	Freienwil	860	6.8
CH	AG	Frick	4 594	14.7
CH	AG	Full-Reuenthal	844	4.8
CH	AG	Gallenkirch	132	10.6
CH	AG	Gansingen	934	6.0
CH	AG	Gebenstorf	4 499	5.3
CH	AG	Gipf-Oberfrick	3 111	17.1
CH	AG	Habsburg	390	9.5
CH	AG	Hägglingen	2 100	16.5
CH	AG	Hausen	2 735	9.2
CH	AG	Hendschiken	931	17.8
CH	AG	Herznach	1 229	14.5
CH	AG	Holderbank	866	13.2

Pays	Canton / Arrondissement	Communes	Habitants 2006	Distance (km) depuis le centre du rayon jusqu'à la frontière communale
CH	AG	Hornussen	845	10.7
CH	AG	Hottwil	262	4.0
CH	AG	Hunzenschwil	2 798	19.4
CH	AG	Ittenthal	201	11.7
CH	AG	Kaiserstuhl	404	13.9
CH	AG	Kaisten	2 257	11.4
CH	AG	Killwangen	1 735	15.7
CH	AG	Klingnau	2 924	2.8
CH	AG	Coblence	1 599	4.7
CH	AG	Künten	1 578	18.4
CH	AG	Küttigen	5 372	18.3
CH	AG	Laufenburg	2 065	11.6
CH	AG	Leibstadt	1 288	4.2
CH	AG	Lengnau	2 426	6.2
CH	AG	Lenzburg	7 731	16.6
CH	AG	Leuggern	2 083	1.0
CH	AG	Linn	146	11.2
CH	AG	Lupfig	1 964	11.2
CH	AG	Mägenwil	1 791	14.2
CH	AG	Mandach	319	1.8
CH	AG	Mellikon	257	7.9
CH	AG	Mellingen	4 447	13.4
CH	AG	Mettau	317	6.5
CH	AG	Mönthal	410	6.5
CH	AG	Möriken-Wildegg	3 832	14.6
CH	AG	Mülligen	887	10.4
CH	AG	Münchwilen	668	19.2

Pays	Canton / Arrondissement	Communes	Habitants 2006	Distance (km) depuis le centre du rayon jusqu'à la frontière communale
CH	AG	Neuenhof	7 877	12.1
CH	AG	Niederlenz	4 038	16.3
CH	AG	Niederrohrdorf	2 817	14.4
CH	AG	Niederwil	2 311	17.9
CH	AG	Oberbözberg	509	6.2
CH	AG	Oberflachs	475	14.2
CH	AG	Oberhof	564	18.9
CH	AG	Oberhofen	291	6.2
CH	AG	Oberrohrdorf	3 517	14.0
CH	AG	Obersiggenthal	8 078	5.9
CH	AG	Oeschgen	867	15.0
CH	AG	Othmarsingen	2 233	15.6
CH	AG	Rekingen	959	5.9
CH	AG	Remetschwil	1 937	17.0
CH	AG	Remigen	1 018	4.3
CH	AG	Rietheim	670	4.7
CH	AG	Riniken	1 364	5.9
CH	AG	Rohr	2 887	18.4
CH	AG	Rüfenach	804	4.7
CH	AG	Rümikon	200	9.8
CH	AG	Rupperswil	4 077	16.4
CH	AG	Schafisheim	2 658	18.7
CH	AG	Scherz	577	11.2
CH	AG	Schinznach-Bad	1 250	10.5
CH	AG	Schinznach-Dorf	1 660	11.4
CH	AG	Schneisingen	1 208	8.9
CH	AG	Schupfart	743	18.9

Pays	Canton / Arrondissement	Communes	Habitants 2006	Distance (km) depuis le centre du rayon jusqu'à la frontière communale
CH	AG	Schwaderloch	694	6.3
CH	AG	Siglistorf	570	10.1
CH	AG	Sisseln	1 325	16.7
CH	AG	Spreitenbach	10 213	16.6
CH	AG	Staufen	2 341	18.5
CH	AG	Stein	2 656	20.0
CH	AG	Stetten	1 509	16.2
CH	AG	Suhr	9 274	19.1
CH	AG	Sulz	1 155	8.5
CH	AG	Tägerig	1 323	16.4
CH	AG	Tegerfelden	995	5.0
CH	AG	Thalheim	757	14.3
CH	AG	Turgi	2 763	6.7
CH	AG	Ueken	826	14.5
CH	AG	Umiken	1 066	7.9
CH	AG	Unterbözberg	703	8.1
CH	AG	Unterendingen	353	2.8
CH	AG	Untersiggenthal	6 354	4.0
CH	AG	Veltheim	1 366	13.3
CH	AG	Villigen	1 883	1.3
CH	AG	Villmergen	5 363	19.4
CH	AG	Villnachern	1 410	8.9
CH	AG	Wettingen	18 938	10.9
CH	AG	Wil	669	4.0
CH	AG	Windisch	6 672	6.9
CH	AG	Wislikofen	331	8.7
CH	AG	Wittnau	1 127	19.1

Pays	Canton / Arrondissement	Communes	Habitants 2006	Distance (km) depuis le centre du rayon jusqu'à la frontière communale
CH	AG	Wohlenschwil	1 315	13.8
CH	AG	Wölflinswil	851	18.2
CH	AG	Würenlingen	3 772	1.0
CH	AG	Würenlos	5 198	13.8
CH	AG	Zeihen	909	12.7
CH	SH	Trasadingen	570	18.5
CH	ZH	Bachs	553	13.2
CH	ZH	Boppelsen	1 223	14.7
CH	ZH	Buchs	4 988	17.2
CH	ZH	Dällikon	3 446	18.4
CH	ZH	Dänikon	1 774	16.7
CH	ZH	Dielsdorf	5 010	17.5
CH	ZH	Dietikon	22 281	18.4
CH	ZH	Eglisau	3 437	19.0
CH	ZH	Geroldswil	4 422	19.4
CH	ZH	Glattfelden	3 926	17.0
CH	ZH	Hochfelden	1 777	19.8
CH	ZH	Höri	2 423	19.6
CH	ZH	Hüntwangen	920	19.4
CH	ZH	Hüttikon	560	16.4
CH	ZH	Neerach	2 703	17.6
CH	ZH	Niederglatt	4 231	19.8
CH	ZH	Niederhasli	7 768	19.8
CH	ZH	Niederweningen	2 450	11.0
CH	ZH	Oberweningen	1 504	12.7
CH	ZH	Oetwil an der Limmat	2 215	17.4
CH	ZH	Otelfingen	2 263	13.5

Pays	Canton / Arrondissement	Communes	Habitants 2006	Distance (km) depuis le centre du rayon jusqu'à la frontière communale
CH	ZH	Regensberg	455	15.5
CH	ZH	Regensdorf	15 673	19.8
CH	ZH	Schleinikon	703	12.6
CH	ZH	Schöfflisdorf	1 158	13.8
CH	ZH	Stadel	1 866	15.9
CH	ZH	Steinmaur	2 960	15.1
CH	ZH	Wasterkingen	555	17.8
CH	ZH	Weiach	964	13.9
CH	ZH	Weiningen	4 038	19.5
CH	ZH	Wil	1 262	19.6
D	WT	Albbruck	7 323	7.5
D	WT	Bad Säckingen	16 813	17.5
D	WT	Dachsberg	1 411	15.2
D	WT	Dettighofen	1 123	18.5
D	WT	Dogern	2 319	6.7
D	WT	Eggingen	1 711	18.0
D	WT	Görwihl	4 477	12.5
D	WT	Herrischried	2 776	17.5
D	WT	Höchenschwand	2 549	16.2
D	WT	Hohentengen a.H.	3 651	15.0
D	WT	Klettgau	7 440	11.5
D	WT	Küssaberg	5 505	6.7
D	WT	Lauchringen	7 402	9.5
D	WT	Laufenburg	8 571	9.5
D	WT	Murg	6 963	13.5
D	WT	Rickenbach	3 860	17.2
D	WT	St. Blasien	4 021	15.5

Pays	Canton / Arrondissement	Communes	Habitants 2006	Distance (km) depuis le centre du rayon jusqu'à la frontière communale
D	WT	Ühlingen-Birkendorf	5 175	14.5
D	WT	Waldshut-Tiengen	22 586	6.0
D	WT	Weilheim	3 141	10.2
D	WT	Wutöschingen	6 626	12.2
		Total	541 037	

3.2.10 Annexe 2 : Évolution de la population des communes dans un rayon de 20 km

Tableau 3.2-9 : Évolution de la population des communes dans un rayon de 20 km

Commune	1980	1990	2000	2006
Ammerswil	325	414	613	649
Auenstein	1198	1195	1385	1443
Bad Zurzach	3141	3641	3905	4032
Baden	13519	15132	16104	16845
Baldingen	151	216	252	275
Bellikon	914	1045	1314	1462
Bergdietikon	1735	2200	2268	2260
Biberstein	829	1040	1080	1277
Birmenstorf (AG)	1433	1922	2303	2404
Birr	2838	3324	3514	3840
Birrhard	453	553	662	643
Böbikon	136	166	181	185
Böttstein	2918	3451	3652	3727
Bözen	370	523	657	668
Brugg	8840	9357	9201	9180
Brunegg	306	354	467	489
Buchs (AG)	5935	5710	6176	6298
Densbüren	619	713	735	741
Dintikon	857	1075	1319	1411

Commune	1980	1990	2000	2006
Dottikon	2663	2965	2989	3113
Döttingen	3284	3221	3199	3423
Effingen	395	569	600	624
Ehrendingen (Ober- et Unter-)	2536	2975	3299	3829
Eiken	1160	1446	1753	1938
Elfingen	170	224	240	249
Endingen	1519	1597	1822	1880
Ennetbaden	2534	2915	2977	2948
Etzgen	336	363	358	438
Fisibach	320	372	368	380
Fislisbach	3882	4438	4955	4764
Freienwil	508	647	762	860
Frick	3063	3574	3974	4594
Full-Reuenthal	679	735	838	844
Gallenkirch	71	100	130	132
Gansingen	779	899	935	934
Gebenstorf	3573	4084	4168	4499
Gipf-Oberfrick	1523	2093	2876	3111
Habsburg	254	327	368	390
Hägglingen	1677	1852	2005	2100
Hausen (AG)	1618	1900	2557	2735
Hendschiken	707	742	899	931
Herznach	804	1017	1068	1229
Holderbank (AG)	777	802	802	866
Hornussen	628	678	823	845
Hottwil	179	224	247	262
Hunzenschwil	2231	2378	2623	2798
Ittenthal	209	221	225	201
Kaiserstuhl	372	426	440	404
Kaisten	1681	1742	2100	2257

Commune	1980	1990	2000	2006
Killwangen	1044	1310	1397	1735
Klingnau	2451	2597	2768	2924
Coblence	1456	1550	1582	1599
Künten	1154	1357	1511	1578
Küttigen	4392	4705	4963	5372
Laufenburg	1834	1870	1998	2065
Leibstadt	1150	1225	1309	1288
Lengnau (AG)	1935	2040	2274	2426
Lenzburg	7478	7316	7478	7731
Leuggern	1672	1981	2154	2083
Linn	90	103	109	146
Lupfig	963	1355	1808	1964
Mägenwil	946	1294	1562	1791
Mandach	283	316	314	319
Mellikon	197	240	263	257
Mellingen	3280	3779	4221	4447
Mettau	244	273	295	317
Mönthal	295	399	441	410
Möriken-Wildegg	2888	3419	3464	3832
Mülligen	489	652	791	887
Münchwilen (AG)	621	627	590	668
Neuenhof	7150	7684	7626	7877
Niederlenz	3411	3535	3809	4038
Niederrohrdorf	2437	2562	2464	2817
Niederwil (AG)	1386	1877	2211	2311
Oberbözberg	301	383	551	509
Oberflachs	444	438	435	475
Oberhof	430	479	520	564
Oberhofen (AG)	266	309	312	291
Oberrohrdorf	2888	3345	3421	3517

Commune	1980	1990	2000	2006
Obersiggenthal	7422	7401	7508	8078
Oeschgen	653	731	802	867
Othmarsingen	1730	1879	2178	2233
Rekingen (AG)	808	877	1016	959
Remetschwil	799	1166	1760	1937
Remigen	643	1000	1071	1018
Rietheim	425	426	618	670
Riniken	1273	1418	1383	1364
Rohr (AG)	2153	2369	2748	2887
Rüfenach	497	620	720	804
Rümikon	166	201	225	200
Rupperswil	2712	3252	3725	4077
Schafisheim	1697	2040	2644	2658
Scherz	441	514	576	577
Schinznach-Bad	962	1202	1248	1250
Schinznach-village	1238	1419	1630	1660
Schneisingen	1037	1141	1248	1208
Schupfart	536	558	685	743
Schwaderloch	464	522	670	694
Siglistorf	355	536	537	570
Sisseln	745	1182	1282	1325
Spreitenbach	7112	8218	9133	10213
Staufen	2095	2196	2188	2341
Stein (AG)	1781	1926	2375	2656
Stetten (AG)	972	1407	1587	1509
Suhr	7096	7751	8259	9274
Sulz (AG)	972	998	1156	1155
Tägerig	866	1056	1203	1323
Tegerfelden	678	827	970	995
Thalheim (AG)	565	645	758	757

Commune	1980	1990	2000	2006
Turgi	2638	2616	2446	2763
Ueken	366	476	693	826
Umiken	900	862	1069	1066
Unterbözberg	608	674	754	703
Unterendingen	195	329	375	353
Untersiggenthal	4588	5338	6092	6354
Veltheim (AG)	1014	1219	1379	1366
Villigen (inkl. Stilli)	1378	1687	1781	1883
Villmergen	4079	4641	5078	5363
Villnachern	1062	1317	1224	1410
Wettingen	18129	17582	17833	18938
Wil (AG)	548	578	678	669
Windisch	6969	6643	6505	6672
Wislikofen	290	386	346	331
Wittnau	790	928	1139	1127
Wohlenschwil	841	1094	1268	1315
Wölflinswil	753	739	810	851
Würenlingen	2784	3082	3644	3772
Würenlos	3250	4151	4806	5198
Zeihen	726	722	865	909
Trasadingen	484	552	530	570
Bachs	428	591	577	553
Boppelsen	705	829	1018	1223
Buchs (ZH)	1838	3516	4182	4988
Dällikon	2426	2551	3261	3446
Dänikon	985	1182	1749	1774
Dielsdorf	3767	4616	4882	5010
Dietikon	21765	21152	21353	22281
Eglisau	2462	2659	2893	3437
Geroldswil	3925	4534	4540	4422

Commune	1980	1990	2000	2006
Glattfelden	2753	3294	3544	3926
Hochfelden	928	1103	1579	1777
Höri	1759	1864	2300	2423
Hüntwangen	645	687	782	920
Hüttikon	356	410	533	560
Neerach	1165	1731	2366	2703
Niederglatt	2939	3362	3737	4231
Niederhasli	5057	5834	7589	7768
Niederweningen	1269	1588	2220	2450
Oberweningen	693	1149	1290	1504
Oetwil an der Limmat	1399	2058	2120	2215
Otelfingen	1243	1580	1852	2263
Regensberg	639	581	487	455
Regensdorf	12300	13673	15098	15673
Schleinikon	451	542	637	703
Schöfflisdorf	696	1064	1133	1158
Stadel	1299	1421	1739	1866
Steinmaur	2109	2552	2742	2960
Wasterkingen	320	481	560	555
Weiach	692	719	994	964
Weiningen (ZH)	3054	3500	3791	4038
Wil (ZH)	899	1119	1317	1262
Albbruck	5736	6804	7255	7323
Bad Säckingen	13795	15144	16400	16813
Dachsberg	1271	1336	1398	1411
Dettighofen	1098	999	1038	1123
Dogern	2016	2324	2308	2319
Eggingen	1420	1489	1760	1711
Görwihl	3915	4433	4532	4477
Herrischried	2052	2333	2701	2776

Commune	1980	1990	2000	2006
Höchenschwand	1944	2099	2374	2549
Hohentengen a.H.	2838	3018	3299	3651
Klettgau	6339	6854	7358	7440
Küssaberg	4429	4992	5496	5505
Lauchringen	6389	6717	7178	7402
Laufenburg	7061	7771	8358	8571
Murg	6303	6664	6876	6963
Rickenbach	3398	3783	3856	3860
St. Blasien	4170	4614	4032	4021
Ühlingen-Birkendorf	4346	4457	5006	5175
Waldshut-Tiengen	21410	21913	22139	22586
Weilheim	2315	2642	3139	3141
Wutöschingen	5275	5752	6468	6626
Total	429 995	475 751	515 883	541 037

3.2.11 Annexe 3 : Lieux de travail et personnes actives dans un rayon de 20 km

Tableau 3.2-10 : Lieux de travail et personnes actives dans un rayon de 20 km

Commune	Lieux de travail	Personnes actives
Auenstein	45	176
Bad Zurzach	243	2 271
Baden	1 515	21 678
Baldingen	12	27
Bellikon	2	11
Biberstein	30	171
Birmenstorf (AG)	94	658
Birr	83	2 122
Birrhard	23	145
Böbikon	10	36
Böttstein	127	1 177
Bözen	26	128

Commune	Lieux de travail	Personnes actives
Brugg	643	7 134
Brunegg	21	396
Densbüren	30	186
Dintikon	11	311
Dottikon	122	1 058
Döttingen	160	1 645
Effingen	25	112
Ehrendingen	122	530
Eiken	59	799
Elfingen	13	37
Endingen	71	447
Ennetbaden	98	560
Etzgen	31	240
Fisibach	19	119
Fislisbach	159	1 017
Freienwil	30	69
Frick	251	3 001
Full-Reuenthal	21	107
Gallenkirch	5	28
Gansingen	30	97
Gebenstorf	164	840
Gipf-Oberfrick	92	482
Habsburg	12	48
Hägglingen	73	605
Hausen (AG)	105	1 051
Hendschiken	49	264
Herznach	37	247
Holderbank (AG)	40	674
Hornussen	29	129
Hottwil	11	48

Commune	Lieux de travail	Personnes actives
Hunzenschwil	31	390
Ittenthal	5	35
Kaiserstuhl	29	120
Kaisten	64	692
Killwangen	69	391
Klingnau	116	826
Coblence	70	597
Künten	49	207
Küttigen	10	87
Laufenburg	121	1 707
Leibstadt	54	848
Lengnau (AG)	100	746
Lenzburg	547	6091
Leuggern	102	742
Linn	7	17
Lupfig	123	1 807
Mägenwil	115	1 482
Mandach	10	36
Mellikon	16	139
Mellingen	234	1 453
Mettau	15	57
Mönthal	14	45
Möriken-Wildegg	159	1 082
Mülligen	25	78
Münchwilen (AG)	22	330
Neuenhof	245	1 707
Niederlenz	144	1 014
Niederrohrdorf	113	673
Niederwil (AG)	38	577
Oberbözberg	13	46

Commune	Lieux de travail	Personnes actives
Oberflachs	14	96
Oberhofen (AG)	9	19
Oberrohrdorf	107	457
Obersiggenthal	245	1 458
Oeschgen	41	158
Othmarsingen	88	716
Rekingen (AG)	27	241
Remetschwil	78	356
Remigen	42	219
Rietheim	14	46
Riniken	33	160
Rohr (AG)	30	295
Rüfenach	20	108
Rümikon	11	56
Rupperswil	185	1 779
Schafisheim	30	1490
Scherz	23	74
Schinznach-Bad	59	1 096
Schinznach-Dorf	71	638
Schneisingen	55	293
Schwaderloch	21	152
Siglistorf	34	99
Sisseln	57	908
Spreitenbach	487	7 132
Staufen	47	298
Stetten (AG)	82	673
Sulz (AG)	37	170
Tägerig	44	167
Tegerfelden	37	227
Thalheim (AG)	28	145

Commune	Lieux de travail	Personnes actives
Turgi	105	1 647
Ueken	21	53
Umiken	26	91
Unterbözberg	25	69
Unterendingen	16	43
Untersiggenthal	143	1 147
Veltheim (AG)	41	518
Villigen	48	1 965
Villmergen	22	76
Villnachern	46	152
Wettingen	848	7 013
Wil (AG)	31	105
Windisch	241	2 661
Wislikofen	16	91
Wittnau	4	37
Wohlenschwil	48	195
Würenlingen	150	1 772
Würenlos	248	1 767
Zeihen	38	138
Trasadingen	63	185
Bachs	22	207
Boppelsen	39	103
Buchs (ZH)	142	1404
Dällikon	100	1 839
Dänikon	61	356
Dielsdorf	284	3 365
Dietikon	211	4 962
Geroldswil	77	379
Glattfelden	54	239
Hüntwangen	2	7

Commune	Lieux de travail	Personnes actives
Hüttikon	24	315
Neerach	141	421
Niederhasli	2	6
Niederweningen	79	686
Oberweningen	41	164
Oetwil an der Limmat	79	251
Otelfingen	147	2 058
Regensberg	19	135
Schleinikon	19	58
Schöfflisdorf	61	254
Stadel	68	333
Steinmaur	120	572
Wasterkingen	10	25
Weiach	43	216
Albbruck	201	1 866
Bad Säckingen	427	7 230
Dachsberg	129	162
Dettighofen	43	121
Dogern	49	805
Eggingen	51	201
Görwihl	216	916
Herrischried	155	366
Höchenschwand	126	477
Hohentengen a. H.	112	566
Klettgau	219	1 505
Küssaberg	122	1 105
Lauchringen	140	1 635
Laufenburg	221	2 095
Murg	158	1 268
Rickenbach	187	628

Commune	Lieux de travail	Personnes actives
St. Blasien	184	1 599
Ühlingen-Birkendorf	224	511
Waldshut-Tiengen	702	9 931
Weilheim	132	323
Wutöschingen	131	1 680
Total	17 413	167 699

3.2.12 Annexe 4 : Occupation des sols dans un rayon de 10 km (ha)

Tableau 3.2-11 : Occupation des sols dans un rayon de 10 km (ha)

Commune	Total	Champ, Prairie	Forêt	Bâti
Canton d'Argovie				
District de Baden				
Baden	350	24	232	84
Birmenstorf (AG)	120	65	38	15
Ennetbaden	2	0	1	1
Freienwil	387	203	148	36
Gebenstorf	561	162	233	138
Obersiggenthal	823	292	357	164
Turgi	153	27	55	65
Untersiggenthal	826	274	366	155
Würenlingen	938	274	463	180
Ehrendingen	42	29	12	1
Total	4 202	1 350	1 905	839
District de Brugg				
Brugg	513	70	152	253
Effingen	122	51	64	7
Elfingen	49	0	49	0
Habsburg	18	0	18	0
Hausen (AG)	70	11	37	22
Hottwil	415	232	165	18

Commune	Total	Champ, Prairie	Forêt	Bâti
Mandach	560	377	151	32
Mönthal	392	182	178	32
Oberbözberg	546	274	243	29
Remigen	789	288	440	58
Riniken	475	148	273	54
Rüfenach	418	207	172	38
Umiken	77	22	18	32
Unterbözberg	450	251	155	44
Villigen	1123	391	582	119
Villnachern	167	62	75	14
Windisch	457	117	97	208
Total	6 641	2 683	2 869	960
District de Laufenburg				
Etzgen	329	98	167	37
Gansingen	874	483	327	61
Mettau	330	137	178	15
Oberhofen (AG)	315	147	144	24
Schwaderloch	278	98	120	32
Sulz (AG)	450	219	199	31
Wil (AG)	774	495	237	41
Total	3 350	1 677	1 372	241
District de Zurzach				
Baldingen	281	163	90	28
Böbikon	261	144	97	20
Böttstein	740	260	268	137
Döttingen	693	218	253	174
Endingen	846	383	391	69
Full-Reuenthal	485	264	109	60
Klingnau	672	246	241	130
Coblence	404	171	123	77

Commune	Total	Champ, Prairie	Forêt	Bâti
Leibstadt	633	277	222	109
Lengnau (AG)	1 267	681	484	101
Leuggern	1377	651	522	116
Mellikon	273	74	143	45
Rekingen (AG)	310	43	173	82
Rietheim	396	184	158	30
Rümikon	9	3	4	2
Schneisingen	278	94	178	6
Tegerfelden	705	377	267	59
Unterendingen	348	196	126	26
Wislikofen	137	67	59	11
Bad Zurzach	653	165	284	171
Total	10 768	4 661	4 192	1 453
Arrondissement de Waldshut				
Albbruck	1 041	420	400	210
Dogern	745	233	272	123
Hohentengen	89	0	89	0
Küssaberg	1 987	970	470	515
Lauchringen	240	75	150	15
Laufenburg	57	38	3	16
Waldshut-Tiengen	2 306	910	670	16
Total	6 465	2 646	2 054	895
TOTAL dans un rayon de 10 km	31 426	13 017	12 392	4 388

3.2.13 Annexe 5 : Occupation des sols dans un rayon de 20 km (ha)

Tableau 3.2-12 : Occupation des sols dans un rayon de 20 km (ha)

Commune	Total	Champ, Prairie	Forêt	Bâti
Canton d'Argovie				
District d'Argovie				
Biberstein	411	143	208	41
Buchs (AG)	146	0	142	4
Densbüren	1 259	494	701	61
Küttigen	387	134	238	14
Rohr (AG)	185	63	81	24
Suhr	42	0	42	0
Total	2 430	834	1 412	144
District de Baden				
Baden	1 321	131	752	417
Bellikon	220	147	64	9
Bergdietikon	23	2	16	0
Birmenstorf (AG)	771	339	284	122
Ennetbaden	211	44	90	71
Fislisbach	510	242	156	112
Freienwil	403	212	155	36
Gebenstorf	565	164	235	138
Killwangen	243	67	123	47
Künten	213	113	66	31
Mägenwil	350	160	106	84
Mellingen	484	175	157	129
Neuenhof	543	96	277	142
Niederrohrdorf	331	149	98	81
Oberrohrdorf	430	171	170	89
Obersiggenthal	840	299	365	165
Remetschwil	385	228	93	63

Commune	Total	Champ, Prairie	Forêt	Bâti
Spreitenbach	849	235	299	303
Stetten (AG)	444	223	123	74
Turgi	153	27	55	65
Untersiggenthal	826	274	366	155
Wettingen	1 062	229	415	399
Wohlenschwil	442	211	155	65
Würenlingen	938	274	463	180
Würenlos	897	387	306	185
Ehrendingen	727	424	207	95
Total	14 181	5 023	5 596	3 257
District de Bremgarten				
Dottikon	298	140	65	92
Hägglingen	739	425	234	80
Niederwil (AG)	339	195	85	46
Tägerig	329	141	129	51
Villmergen	18	11	1	6
Total	1 723	912	514	275
District de Brugg				
Auenstein	567	176	263	100
Birr	502	212	166	124
Birrhard	305	158	97	42
Bözen	389	254	92	42
Brugg	553	72	171	268
Effingen	691	298	323	70
Elfingen	423	202	207	13
Gallenkirch	139	101	28	10
Habsburg	224	72	134	18
Hausen (AG)	318	86	153	77
Hottwil	415	232	165	18
Linn	255	129	114	12

Commune	Total	Champ, Prairie	Forêt	Bâti
Lupfig	513	265	125	122
Mandach	560	377	151	32
Mönthal	392	182	178	32
Mülligen	312	124	107	71
Oberbözberg	546	274	243	29
Oberflachs	338	186	126	26
Remigen	789	288	440	58
Riniken	475	148	273	54
Rüfenach	418	207	172	38
Scherz	332	184	110	36
Schinznach-Bad	192	14	77	79
Schinznach-Dorf	883	334	403	114
Thalheim (AG)	988	493	438	56
Umiken	77	22	18	32
Unterbözberg	617	326	233	58
Veltheim (AG)	528	252	175	77
Villigen	1123	391	582	119
Villnachern	571	175	287	67
Windisch	492	125	121	209
Total	14 927	6 359	6 172	2 103
District de Laufenburg				
Eiken	703	327	221	148
Etzgen	329	98	167	37
Frick	994	478	299	213
Gansingen	874	483	327	61
Gipf-Oberfrick	858	484	287	85
Herznach	629	408	158	61
Hornussen	728	358	295	72
Ittenthal	391	208	169	14
Kaisten	1 417	612	638	138

Commune	Total	Champ, Prairie	Forêt	Bâti
Laufenburg	223	49	83	74
Mettau	330	137	178	15
Münchwilen (AG)	116	55	25	36
Oberhof	160	105	44	11
Oberhofen (AG)	315	147	144	24
Oeschgen	439	296	82	59
Schwaderloch	278	98	120	32
Sisseln	256	92	46	80
Sulz (AG)	1 227	514	600	94
Ueken	511	269	202	40
Wil (AG)	774	495	237	41
Wittnau	95	78	6	10
Wölflinswil	485	321	144	20
Zeihen	688	365	269	52
Total	12 820	6 477	4' 741	1 417
District de Lenzburg				
Ammerswil	30	24	6	0
Brunegg	152	79	39	34
Dintikon	13	6	0	7
Hendschiken	349	206	85	57
Holderbank (AG)	230	52	83	78
Hunzenschwil	52	21	1	30
Lenzburg	848	198	360	287
Möriken-Wildegg	660	267	240	143
Niederlenz	331	108	94	126
Othmarsingen	472	170	193	107
Rupperswil	618	195	236	168
Schafisheim	118	44	18	56
Staufen	151	48	35	68
Total	4 024	1 418	1 390	1 161

Commune	Total	Champ, Prairie	Forêt	Bâti
District de Rheinfelden				
Schupfart	157	79	70	8
Stein (AG)	1	0	0	0
Total	158	79	70	8
District de Zurzach				
Baldingen	281	163	90	28
Böbikon	261	144	97	20
Böttstein	740	260	268	137
Döttingen	693	218	253	174
Endingen	846	383	391	69
Fisibach	580	246	270	50
Full-Reuenthal	485	264	109	60
Kaiserstuhl	31	12	4	12
Klingnau	672	246	241	130
Coblence	404	171	123	77
Leibstadt	633	277	222	109
Lengnau (AG)	1 267	681	484	101
Leuggern	1 377	651	522	116
Mellikon	275	74	143	45
Rekingen (AG)	310	43	173	82
Rietheim	396	184	158	30
Rümikon	286	117	134	20
Schneisingen	827	406	345	76
Siglistorf	553	231	284	37
Tegerfelden	705	377	267	59
Unterendingen	348	196	126	26
Wislikofen	371	200	137	34
Bad Zurzach	653	165	284	171
Total	12 994	5' 709	5 125	1 663

Commune	Total	Champ, Prairie	Forêt	Bâti
Canton de Schaffhouse				
Trasadingen	329	256	34	37
Canton de Zurich				
District de Bülach				
Eglisau	25	0	20	1
Glattfelden	552	216	219	94
Hochfelden	6	0	6	0
Höri	11	0	0	0
Hüntwangen	91	40	44	7
Wasterkingen	394	183	171	40
Wil (ZH)	22	6	12	4
Total	1 101	445	472	146
District de Dielsdorf				
Bachs	914	448	403	62
Boppelsen	392	167	186	38
Buchs (ZH)	544	263	152	123
Dällikon	255	140	64	49
Dänikon	280	150	89	38
Dielsdorf	559	210	158	180
Hüttikon	161	84	58	19
Neerach	562	372	25	103
Niederglatt	8	5	1	1
Niederhasli	10	8	0	0
Niederweningen	687	331	263	90
Oberweningen	488	171	273	42
Otelfingen	722	340	268	107
Regensberg	238	82	135	21
Regensdorf	10	6	1	1
Schleinikon	565	282	244	38
Schöfflisdorf	398	172	180	45

Commune	Total	Champ, Prairie	Forêt	Bâti
Stadel	1 262	736	387	132
Steinmaur	948	541	280	122
Weiach	951	351	471	111
Total	9 954	4 859	3 638	1 322
District de Dietikon				
Dietikon	185	58	29	79
Geroldswil	65	15	17	32
Oetwil an der Limmat	277	101	108	57
Weiningen (ZH)	24	3	21	0
Total	551	177	175	168
Arrondissement de Waldshut				
Albbruck	3 969	1 853	1 476	480
Bad Säckingen	1 042	230	520	290
Dachsberg	1 363	520	765	70
Dettighofen	187	120	48	19
Dogern	745	233	272	123
Eggingen	486	260	190	35
Göhrwil	3974	1510	1990	380
Herrischried	443	205	185	50
Höchenschwand	1 992	900	935	125
Hohentengen	2 756	1 435	945	250
Klettgau	4 463	2 279	1 608	475
Küssaberg	2 616	1226	965	287
Lauchringen	1 276	551	348	306
Laufenburg	2 358	964	900	393
Murg	2 090	698	1 011	317
Rickenbach	1 201	480	550	125
St. Blasien	601	100	452	45
Ühlingen-Birkendorf	4 667	2 195	2 145	305
Waldshut-Tiengen	7 798	3 454	3 056	1 060

Commune	Total	Champ, Prairie	Forêt	Bâti
Weilheim	3 564	1 728	1 514	277
Wutöschingen	2 647	1 447	802	341
Total	50 238	22 388	20 677	5 '753
TOTAL dans un rayon de 20-km-	125 430	54 936	50 016	17 454

3.3 Installations industrielles et voies de communication

3.3.1 Introduction

Dans ce chapitre, les caractéristiques du site sont décrites et évaluées eu égard aux installations industrielles et aux voies de communication.

Les types de risques ont été pris en compte, d'une part en fonction de leur source et, d'autre part, selon la nature du risque encouru. Les risques suivants ont été évalués pour l'installation :

- gaz toxiques
- gaz inflammables
- chaleur
- ondes de choc résultant d'explosions
- dommage sur une turbine
- chute d'avion.

Il s'agit en premier lieu de décrire et d'estimer les risques potentiels pouvant résulter d'installations industrielles et de voies de transport ainsi que d'évaluer le choix du site dans cette perspective. Les risques potentiels peuvent provenir de :

- installations industrielles (cf. chapitre 3.3.2)
- installations militaires (cf. chapitre 3.3.3)
- installations de gaz à haute pression (cf. chapitre 3.3.4)
- transports de propane par la route ou le rail (cf. chapitre 3.3.5.2)
- transports d'essence par la route ou le rail (cf. chapitre 3.3.5.3)
- transports de chlore par la route ou le rail (cf. chapitre 3.3.5.4)
- trafic aérien (cf. chapitre 3.3.7).

D'autres marchandises dangereuses connues figurant dans la littérature spécialisée ne revêtent actuellement et ne revêtiront vraisemblablement pas d'importance ici ou dans toute la Suisse, p. ex. transports de gaz naturel liquide (Liquefied Natural Gas - LNG) ou de propane liquide dans des conduites.

3.3.2 Installations industrielles

3.3.2.1 Vue d'ensemble

Les Tableau 3.3-1 à Tableau 3.3-3 listent des installations industrielles relevant de l'Ordonnance sur les accidents majeurs [70] ainsi que leur potentiel de risque dans un rayon de 8 km. La situation des entreprises industrielles au voisinage du site est représentée sur le plan d'ensemble « Risques industriels » (Fig. 3.3-1). Source de ces données : Cadastre des risques chimiques du canton d'Argovie, état : 2007.

Parmi ces entreprises, une seule se situe à moins d'1 kilomètre du site de l'EKKB : il s'agit de l'actuelle centrale nucléaire de Beznau. La centrale thermique de Beznau, le ZWILAG (stockage provisoire pour déchets radioactifs) ainsi que l'Institut Paul Scherrer (PSI) sont relativement

proches du site de Beznau (moins de 2 km). La centrale hydraulique de Beznau se trouve également à proximité du site (n'est pas soumise à l'Ordonnance sur les accidents majeurs).

Les seules entreprises présentant des risques potentiels pour le site de l'EKKB sont plus éloignées. Il s'agit de la société d'explosifs SW Blasting S.A. à Rekingen (distance d'env. 6.7 km) et de la société Riag-Sombo S.A. (commerce de petits et grands feux d'artifice). La société Riag-Sombo S.A. possède un entrepôt pour ses articles de pyrotechnie à Kleindöttingen (commune de Böttstein) à une distance d'env. 2.5 km du site de l'EKKB.

Sont examinés ci-après de manière plus détaillée (cf. chapitre 3.3.2.2) :

a La Centrale à turbines à gaz de Beznau avec chaudière REFUNA (toutes deux avec combustible diesel)

b L'Institut de recherche Paul Scherrer

c Stockage provisoire de Würenlingen

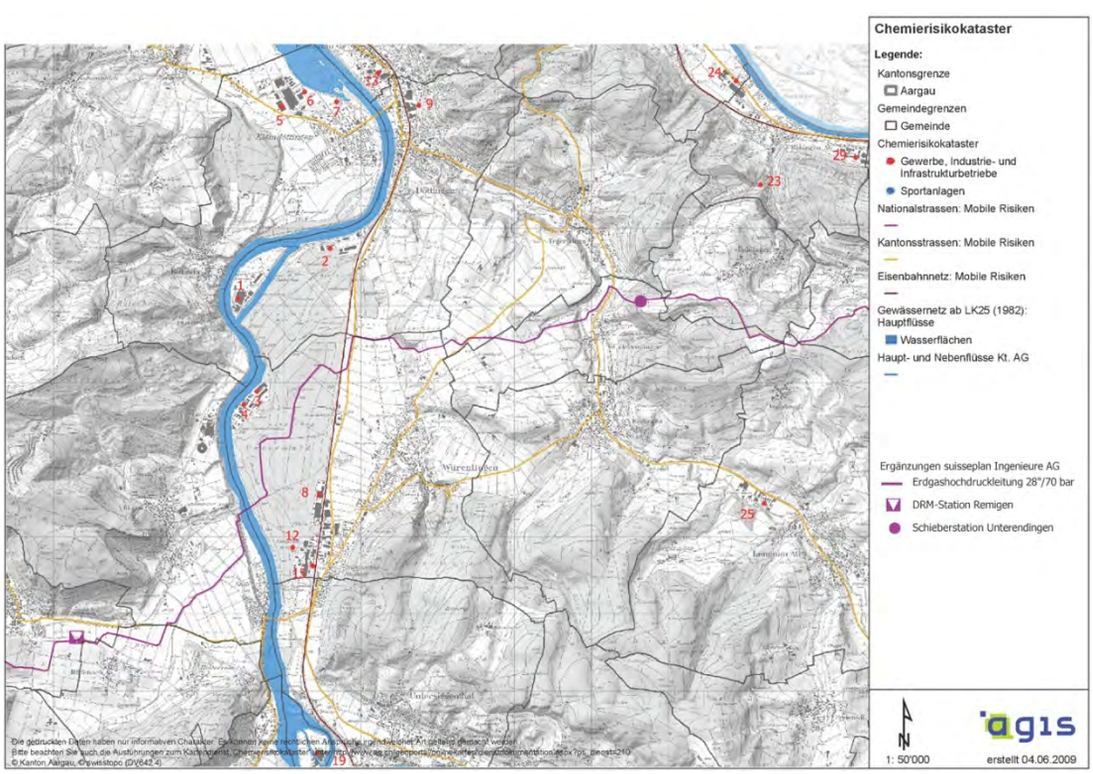
d KKB 1 et 2 avec ZWIBEZ

e La fabrique d'explosifs SW Blasting S.A

f La société Riag-Sombo S.A

En raison de leur distanceou des quantités de produits chimiques, les autres entreprises ne représentent aucun danger conséquent pour le site de l'EKKB.

Fig. 3.3-1 : Plan d'ensemble des risques industriels



Source : AGIS, Kt. AG

Tableau 3.3-1 : Entreprises industrielles situées dans un rayon de 2 km et potentiellement dangereuses pour le site de l'EKKB qui sont soumises à l'Ordonnance sur les accidents majeurs. La numérotation se réfère au plan d'ensemble « Risques industriels », Fig. 3.3-1.

N°.	Entreprise	Activité	Commune	Distance avec EKKB (m)	Scénarios de dangers importants / Évaluation des dangers pour le site de l'EKKB
1	Forces motrices du Nord-Est de la Suisse S.A. [NOK AG]	Centrale nucléaire de Beznau	Döttingen	343	Voir chapitre 3.3.2.2.2
2	Forces motrices du Nord-Est de la Suisse S.A. [NOK AG]	Centrale thermique de Beznau	Döttingen	1086	Voir chapitre 3.3.2.2.1
3	ZWILAG	Stockage provisoire pour déchets radioactifs	Würenlingen	1492	Aucun danger en raison de la conception de l'EKKB et du ZWILAG contre un rejet de substances radioactives (chapitre 3.3.2.2.1).
4	Institut Paul Scherrer PSI	Recherche	Würenlingen	1672	Aucun danger en raison de l'éloignement (chapitre 3.3.2.2.1).

Tableau 3.3-2 : Entreprises industrielles situées dans un rayon de 2 à 8 km et potentiellement dangereuses pour le site de l'EKKB qui sont soumises à l'Ordonnance sur les accidents majeurs. La numérotation se réfère au plan d'ensemble « Risques industriels », Fig. 3.3-1.

N°.	Entreprise	Activité	Commune	Distance avec l'EKKB (m)	Scénarios de dangers importants / Evaluation des dangers pour le site de l'EKKB
6	Riag Sombo	Articles pyrotechniques, feux d'artifice / Articles de fêtes / Entrepôt	Böttstein	2486	Scénarios : Incendie / Explosion de l'entrepôt de feux d'artifice Le site de l'EKKB se trouve à 2.5 km de distance, c.-à-d. en dehors de la zone de danger de 200 m au maximum (cf. chapitre 3.3.2.2.4).
23	SW Blasting S.A.	Explosifs	Rekingen	6704	Scénarios : Explosion d'un dépôt avec 50 t d'explosifs, danger lors du transport Le site de l'EKKB se trouve en dehors de la zone de danger (cf. chapitre 3.3.2.2.3). Aucun danger décelable dans le transport d'explosifs (cf. chapitre 3.3.2.2.3).

Tableau 3.3-3 : Entreprises industrielles non dangereuses situées dans un rayon de 2 à 8 km qui sont soumises à l'Ordonnance sur les accidents majeurs. La numérotation se réfère au plan d'ensemble « Risques industriels », Fig. 3.3-1.

N°.	Entreprise	Activité	Commune	Distance avec l'EKKB (m)	Scénarios de dangers importants / Évaluation des dangers pour le site de l'EKKB
5	Brugg Rohrsystem S.A., Böttstein	Systèmes de conduites pour le chauffage urbain	Böttstein	2229	Aucun danger
7	STEP [ARA]	Station d'épuration des eaux	Böttstein	2520	Aucun danger
8	Rotho Kunststoff S.A.	Articles en matière plastique	Würenlingen	2963	Aucun danger
9	Gerhard Keller	Transports & Travail des métaux	Döttingen	3104	Aucun danger
10	STEP [ARA]	Station d'épuration des eaux	Klingnau	3106	Aucun danger
11	Iepco S.A.	Technique surface	Leuggern	3489	Aucun danger
12	STEP [ARA]	Station d'épuration des eaux	Würenlingen	3549	Aucun danger
13	Thales Components S.A.	Production de tubes électroniques	Klingnau	3593	Aucun danger
14	Faude & Huguenin S.A.	Médailles & Plaquettes	Leuggern	3785	Aucun danger
15	Holcim (Suisse) S.A.	Cimenterie	Würenlingen	3831	Aucun danger
16	Stoll Giroflex S.A.	Fabrication de sièges	Coblence	5259	Aucun danger
17	Swisscom (Suisse) S.A.	Centrale téléphonique	Bad Zurzach	6107	Aucun danger
18	Mineralquelle Zurzach S.A.	Boissons non alcoolisées	Bad Zurzach	6122	Aucun danger
19	Hasler S.A.	Transformation de l'aluminium	Gebenstorf	6231	Aucun danger
20	Centrale nucléaire de Leibstadt S.A.	Centrale nucléaire de	Leibstadt	6267	Aucun danger
21	Piscine régionale de Bad Zurzach	Piscine	Bad Zurzach	6555	Aucun danger
22	Chiresa S.A.	Élimination des	Full-Reuenthal	6637	Aucun danger

		déchets			
24	Solvay (Suisse) S.A.	Société pharmaceutique	Bad Zurzach	6779	Aucun danger
25	Huber Kunststoffwerk S.A.	Fabrication d'articles en matière plastique	Lengnau	7278	Aucun danger
26	STEP [ARA]	Station d'épuration des eaux	Windisch	7312	Aucun danger
27	Piscine de plein air Full-Reuenthal	Piscine	Full-Reuenthal	7434	Aucun danger
28	Piscine couverte et Bain public	Piscine	Obersiggenthal	7982	Aucun danger
29	Tessenderlo Suisse S.A.	Produits chimiques	Rekingen	7987	Aucun danger

3.3.2.2 Entreprises examinées de manière plus détaillée

3.3.2.2.1 Centrales à turbines à gaz, PSI et stockage provisoire à Würenlingen, ZWIBEZ

Un accident dans la centrale à turbines à gaz de Beznau, au PSI ou au ZWILAG ne représenterait aucun danger pour l'EKKB en raison de la distance les séparant des bâtiments assurant la sécurité sur l'île de Beznau, ou de la conception de l'EKKB contre un rejet de substances radioactives. Le risque découlant des KKB 1 et 2 est traité au chapitre 3.3.2.2.2. Eu égard à sa conception contre un rejet de substances radioactives, le ZWIBEZ ne présente aucun danger pour l'EKKB.

À l'exception des KKB 1 et 2, la plus proche installation est la centrale hydraulique de Beznau qui assure momentanément une partie de l'alimentation électrique de secours de l'actuelle centrale nucléaire. Cette installation ne présente aucun risque actif pour l'EKKB et sera probablement rénovée avant le début de la construction de la nouvelle centrale nucléaire (cf. également chapitres 2.2.3 et 3.5.6).

3.3.2.2.2 Interaction entre KKB 1 et 2 et l'EKKB

Les éventuels effets réciproques entre les KKB 1 et 2 et l'EKKB ont été analysés dans le cadre de l'autorisation générale.

Il s'agit p. ex. :

- des émissions chimiques
- des émissions radioactives
- d'une chute de charge pendant la construction de l'EKKB ou de la désaffectation, en particulier la déconstruction des KKB 1 et / ou 2
- du blocage des routes d'accès pendant l'exploitation ou d'une situation d'urgence résultant de la construction de l'EKKB
- d'une entrave des entrées de l'eau de refroidissement par la chute de matériaux ou d'objets inhabituels dans le canal supérieur (pendant la construction de l'EKKB ou la désaffectation, en particulier la déconstruction des KKB 1 et / ou 2).

Les risques pour les KKB 1 et 2 que pourrait engendrer la construction de l'EKKB doivent être pris en compte dans la planification de la phase de construction ou couverts par la conception des KKB 1 et 2. Il convient notamment de garantir qu'aucune grue ou charge ne puisse tomber sur des bâtiments assurant la sécurité de la KKB 2 et que des dépôts pour les matières inflammables et explosives se trouvent dans des endroits appropriés sur le chantier. La KKB doit évaluer ces risques et, si nécessaire, prendre les mesures qui s'imposent.

Le dommage sur une turbine constitue l'événement déterminant pendant l'exploitation parallèle[11] des KKB 1 et / ou 2 et de l'EKKB. En cas de dommage d'une turbine dans la KKB il faut considérer que les aubes de l'étage final de turbine peuvent atteindre les bâtiments de l'EKKB, ce qui doit être pris en considération dans la conception de l'installation. La conception de l'EKKB couvrira d'autres événements possibles tels, par exemple, une émission de radioactivité pendant un accident dans les KKB 1 ou 2.

La désaffectation des KKB 1 et 2 n'engendre aucun autre risque pour l'EKKB qui ne soit pas déjà pris en compte pour un autre événement ou peut être exclu dans la planification de la désaffectation. Les vibrations qui pourraient être occasionnées lors de la démolition des KKB 1 et / ou 2 sont couvertes par les secousses résultant d'un séisme.

Aucune interaction entre les KKB 1 et 2 et l'EKKB ne peut remettre en question l'adéquation du site.

3.3.2.2.3 Usine d'explosifs SW Blasting S.A.

L'usine d'explosifs SW Blasting S.A. produit des bouillies dans la carrière remise en culture « Musital » à Rekingen (explosifs sans nitroglycérine). L'atelier situé à l'entrée de la carrière abrite la production. Trois entrepôts en sous-sol, d'une capacité de 50 t de bouillie chacun, se trouvent à env. 300 m de distance. Les détonateurs sont entreposés dans une partie séparée du dépôt n°1.

L'entreprise est soumise à l'Ordonnance sur les accidents majeurs car le seuil en bouillies, nitrate d'ammoniaque 34%, nitrate de sodium et de calcium est dépassé.

Les rapports correspondants se trouvent à l'Amt für Verbraucherschutz (AVS), Chemiesicherheit, Departement Gesundheit und Soziales des Kantons Aargau [Office de la protection des consommateurs, sécurité chimique, Département de la santé publique et des affaires sociales du canton d'Argovie]. Conformément à l'exécution de l'Ordonnance sur les accidents majeurs, examen du risque et caractère acceptable ou non du risque généré par l'entreprise, l'explosion d'un entrepôt abritant 50 t d'explosifs constitue l'événement majeur de risque encouru par la population. Les personnes les plus touchées seraient celles se trouvant dans la zone de la réserve naturelle (facteur létal : jusqu'à 100%). Les habitants de Rekingen vivant à une distance minimale de 650 m seraient essentiellement mis en danger par des projectiles provenant de la destruction d'un mur. Hors du périmètre de l'entreprise, les environs ne subiraient aucune répercussion importante du fait d'un accident.

---

[11] La NOK entend mettre le plus rapidement possible hors service l'actuelle centrale nucléaire de Beznau KKB après la mise en service de la centrale de remplacement (EKKB). Cependant, l'exploitation parallèle des deux installations est, à l'heure actuelle, éventuellement nécessaire afin de continuer à garantir la sécurité d'approvisionnement de la NOK et des partenaires participant au projet de remplacement de la centrale durant la première phase suivant la mise en service de l'EKKB.

Transports d'explosifs

Divers nitrates techniques (certains sans caractère dangereux, d'autres relevant de la classe de danger 5.1) sont livrés, en tant que matières premières, par camion. Aucun danger ne résulte du transport des nitrates en tant que matières premières. Même en cas d'accident, les nitrates transportés ne représentent aucun danger.

Les transports d'explosifs ont lieu quotidiennement en petites quantités (de 100 kg à 4 t). Des véhicules spéciaux (construction et électronique) assurent les transports depuis l'usine. Lors du transport des matières explosives, aucun danger ne résulte des marchandises elles-mêmes qui ne peuvent pas exploser sans détonateur externe. Les explosifs ne représentent aucun danger même en cas d'accident car les effets mécaniques ne provoquent aucune détonation.

Évaluation pour le site de l'EKKB

Avec une distance de 6.7 km entre l'usine d'explosifs et le site de l'EKKB, celui-ci se trouve nettement en dehors de la zone à risque. Le transport d'explosifs ne représente aucun danger pour le site de l'EKKB.

3.3.2.2.4 Riag-Sombo S.A.

La société Riag-Sombo S.A. vend des articles pyrotechniques et pour la Fête nationale suisse du 1er août. Le bâtiment d'exploitation se trouve à Rupperswil. Depuis environ 4 ans, la société Riag-Sombo S.A. possède un entrepôt pour le stockage des articles pyrotechniques (produits finis, pas de production) qui est situé à Kleindöttingen, à une distance d'env. 2.5 km du site de l'EKKB.

Selon une information téléphonique de la société Riag-Sombo S.A., l'incendie et / ou l'explosion de tout l'entrepôt constituent les scénarios des pires risques. Les distances de danger maximales seraient alors d'environ 200 m.

Evaluation pour le site de l'EKKB

Avec une distance d'env. 2.5 km entre l'entrepôt d'articles pyrotechniques de la société Riag-Sombo S.A. et le site de l'EKKB, celui-ci se trouve nettement en dehors de la zone à risque.

3.3.3 Installations militaires

Selon l'information téléphonique du PIO/ÉTAT-MAJOR CHEF DE L'ARMÉE (protection des informations et des objets, Secrétariat général DDPS), aucun grand entrepôt militaire de munitions ou de carburants (seuil quantitatif selon l'OPAN : TNT 2 000 kg, essence 200 000 kg, diesel 500 000 kg) ne se trouve dans un rayon de 8 km autour du site de l'EKKB.

3.3.4 Effets d'accidents majeurs sur des installations de gaz naturel sous haute pression

3.3.4.1 Bases méthodiques

L'Europe dispose d'un degré de connaissances élevé en matière de gazoducs grâce à l'existence de plusieurs millions de kilomètres de gazoducs ajoutée aux années d'expérience. Les exploitants et les autorités de surveillance échangent ces connaissances parmi lesquelles toutes les informations liées à la sécurité (pipeline integrity) revêtent notamment une grande importance puisqu'elles forment la base des analyses de sécurité dont résultent des méthodes de calcul standardisées pour les études de risque. En Suisse, le rapport-cadre « Sécurité des installations de gaz naturel sous haute pression » [71] constitue l'ouvrage de référence pour l'évaluation des risques présentés par des installations de gaz naturel sous haute pression. Pour l'essentiel, le présent chapitre s'appuie sur ce rapport-cadre qui fait actuellement l'objet d'un remaniement par un groupe de travail placé sous la conduite de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) qui sera d'une certaine importance notamment pour les situations à risque le long des zones bâties.

3.3.4.2 Propriétés du gaz naturel

Le gaz naturel distribué par le réseau suisse de gaz naturel se compose pour plus de 90% de méthane (CH_4), de divers hydrocarbures gazeux ainsi que d'azote et de gaz carbonique dans de faibles proportions. Sur la base de cette composition, ses propriétés physiques et chimiques sont très similaires à celles du méthane.

Dans des conditions normales, le méthane et donc le gaz naturel sont plus légers que l'air et montent donc rapidement dans l'atmosphère en cas de rejet [71].

Tableau 3.3-4 : Densité relative, densité et température d'inflammation du gaz naturel, du propane et de l'air dans des conditions normales

	Densité relative	Densité (kg/m3)	Température d'inflammation
Gaz naturel (high), > 90% méthane (CH_4)	0.56 - 0.64	0.7 - 0.8	env. 600 °C
Propane (C_3H_8)	1.52	2.01	460 °C
Air	1.00	1.30	--

3.3.4.3 Conduites de gaz naturel sous haute presssion

La conduite de gaz naturel de 28"/70 bars Zuzgen–Winterthour / Ohringen de la société Erdgas Ostschweiz S.A. est située à une distance minimale de 1.4 km du site de l'EKKB.

3.3.4.3.1 Scénarios d'accidents majeurs

En cas d'accident majeur, divers scénarios d'incendie et d'explosion sont envisageables selon la cause, la nature de la fuite, le débit et la direction du rejet ainsi que les sources d'inflammation et les conditions atmosphériques en présence.

En ce qui concerne les conduites de gaz naturel sous haute pression, le risque le plus important pour les personnes est une rupture totale de tuyauterie (full bore rupture : FBR) où la fuite a la dimension du double de la section du tuyau [71]. Le gaz naturel se libère alors des deux moitiés de tuyau et s'échappe, tout d'abord, à une vitesse élevée. Au niveau du point de fuite, la terre environnante est catapultée sous l'action conjuguée de la pression élevée et de la vitesse du gaz Il faut alors presque toujours s'attendre à un embrasement spontané, notamment lorsque le diamètre de la conduite est important (> 10"). Le premier potentiel de risque dans ce cas est un effet de chaleur.

Il s'ensuit une inflammation du gaz, suivie d'un feu de torche ou, en cas de rupture totale, d'une boule de feu (événement maximum). La boule de feu dure quelques secondes puis retombe en feu de torche. Ces incendies engendrent un rayonnement de chaleur dont l'intensité dépend de la vitesse de combustion et de la distance de la personne ou de l'objet concerné.

3.3.4.3.2 Effets

Rupture totale avec embrasement immédiat

a) Boule de feu

En cas d'embrasement immédiat ou légèrement différé, une masse sphérique de gaz incandescents peut se former dans la phase initiale, puis se transformer après quelques secondes en une flamme ressemblant à une torche. Avec une conduite de 28"/70 bars, le diamètre maximal de la boule de feu atteint 210 m. Cette boule de feu émet brièvement un rayonnement de chaleur très intense qui dépasse celui d'un feu de torche stationnaire [71].

b) Feu de torche

Après un accident sur une conduite de gaz naturel sous haute pression qui est suivi d'un embrasement, le gaz qui s'échappe brûle généralement comme un feu de torche. La hauteur des flammes dépend de l'importance de la fuite et de la pression. Pour une conduite de 28"/70 bars, il faut compter avec une torche d'un diamètre maximal de 65 m et d'une hauteur d'env. 250 m.

Le principal effet d'un feu de torche [71] est son rayonnement thermique qui peut atteindre env. 210 kW m^{-2} à la surface de la flamme.

Rupture totale sans embrasement ou avec embrasement à retardement

a) Nuage de gaz

S'il ne se produit pas d'embrasement immédiat au moment d'une rupture totale, ce qui est très improbable étant donné les sections de tuyaux de plus en plus larges, le gaz qui s'échappe subit un refroidissement important (détente adiabatique). Il peut rester un moment sur place au niveau du sol, puis il s'élève et se volatilise dans l'atmosphère. Toutefois, le refroidissement ne suffit pas à la formation d'un nuage de gaz lourd avec propagation au niveau du sol (drifting cloud) comme on peut l'observer avec le propane liquide (GPL). En s'élevant, le gaz se mélange de plus en plus à l'air et traverse les limites d'inflammabilité en fonction de la température (de 3 à 17%-vol.), créant ainsi une situation latente pour un embrasement à retardement [71].

b) Explosion

Eu égard au fait que le gaz naturel ne peut s'enflammer que lorsqu'il se présente sous forme de mélange gaz-air, le gaz naturel sous pression ne peut pas s'enflammer. Par conséquent, une explosion est conditionnée par des situations de confinement (dans des galeries par ex.) et un mélange inflammable [71].

c) Taux de défaillance

L'on établit une distinction entre les probabilités (par km et année) d'une fuite, quelles qu'en soient les dimensions, et celles d'une rupture totale. La première est appelée « taux de défaillance de base » ou « taux de défaillance totale ». Les données correspondantes reposent sur les données sources expliquées dans le rapport-cadre [71].

Tableau 3.3-5 : Taux de défaillance d'une conduite de 28"/70 bars ayant une épaisseur de paroi de 5.6 mm

	1 m de recouvrement	2 m de recouvrement
Taux de de base	9.99×10^{-4} $km^{-1}y^{-1}$	4.89×10^{-4} $km^{-1}y^{-1}$
Probabilité d'une défaillance totale	1.56×10^{-4} $km^{-1}y^{-1}$	7.66×10^{-5} $km^{-1}y^{-1}$

3.3.4.3.3 Conséquences pour la population et l'environnement

Le site de l'EKKB est éloigné d'14 km au minimum de la conduite de gaz naturel sous haute pression de 28"/70 bars. Eu égard au tracé usuel des conduites en espace non confiné, les rayons de risque suite à un rayonnement thermique revêtent de l'importance.

Létalité

La dose de rayonnement thermique reçue est déterminante pour évaluer l'impact d'un scénario d'incendie sur l'homme. Pour déterminer le nombre de personnes concernées, les rayons de létalité R_1, R_{50} et R_{99} sont calculés selon [71].

Les rayons de létalité d'une boule de feu dépendent de son diamètre et donnent la distance horizontale depuis l'endroit de la fuite. La dimension d'une boule de feu correspond à 10 fois le taux d'écoulement initial. Cette hypothèse fournit une estimation prudente des répercussions maximales.

Pour un feu de torche, les rayons de létalité se calculent à partir de la hauteur et du diamètre de la flamme. Selon le rapport-cadre, ces deux valeurs dépendent du diamètre de la fuite et de la pression du gaz dans la conduite. Ici également, les rayons de létalité marquent la distance horizontale depuis la fuite.

Le plus grand rayon de létalité R_1 boule de feu pour les personnes à l'air libre est d'env. 240 m [71].

Incendie de forêt

Un incendie de forêt local suit un feu de torche dans les zones boisées. Pour évaluer d'éventuels incendies de forêt, la distance déterminante est celle dans laquelle un embrasement spontané du bois peut se produire. La limite du rayonnement thermique pour un embrasement spontané du bois est d'environ 36 kW/m^2. Lors d'un feu de torche sur une conduite de gaz naturel sous haute pression de28"/70 bars, le bois peut s'enflammer spontanément jusqu'à une distance de quelque 82 m.

Le danger de propagation d'un incendie de forêt est conditionné par le type de forêt concerné (essences, hauteur et densité des arbres), les conditions météorologiques, la saison et la gestion des forêts. Si l'on tient compte de l'accessibilité pour les services d'intervention et de lutte contre les incendies, l'on peut pratiquement exclure la propagation incontrôlée d'un incendie de forêt dans le canton de l'Unterwald.

3.3.4.4 Postes de détente comptage gaz

Le plus proche poste de détente comptage gaz se situe à Remigen (coordonnées : 657 300 / 262 650) qui est distante d'env. 5 km au sud / sud-ouest de l'EKKB. La capacité gazométrique est de 480 m^3, avec une surface de 18 x 7 m sur une hauteur de 3.8 m.

La station des vannes d'Unterendingen (coordonnées : 664 650/267 060) est située à env. 4.7 km à l'est de l'EKKB. Cette station n'ayant pas de local de gaz, les scénarios et l'ampleur la concernant sont les mêmes que ceux relatifs à la conduite de gaz naturel à haute pression.

3.3.4.4.1 Scénarios d'accidents majeurs et leurs conséquences

Selon les considérations figurant dans [71], les deux scénarios d'accident de rupture totale de la conduite d'amenée avec incendie et explosion peuvent se produire dans un poste de détente comptage gaz. Les distances de l'effet « explosion » sont toutefois plus courtes que dans les scénarios d'incendie, raison pour laquelle seuls ces derniers sont pertinents.

Incendie

La rupture totale de la conduite de 28"/70 bars représente le pire accident envisageable. Les scénarios d'incendie en résultant (boule de feu et feu de torche) ainsi que leurs conséquences (rayons de létalité) sont identiques à ceux que l'on observe sur la conduite de gaz (cf. chap. 3.3.4.3).

Explosion

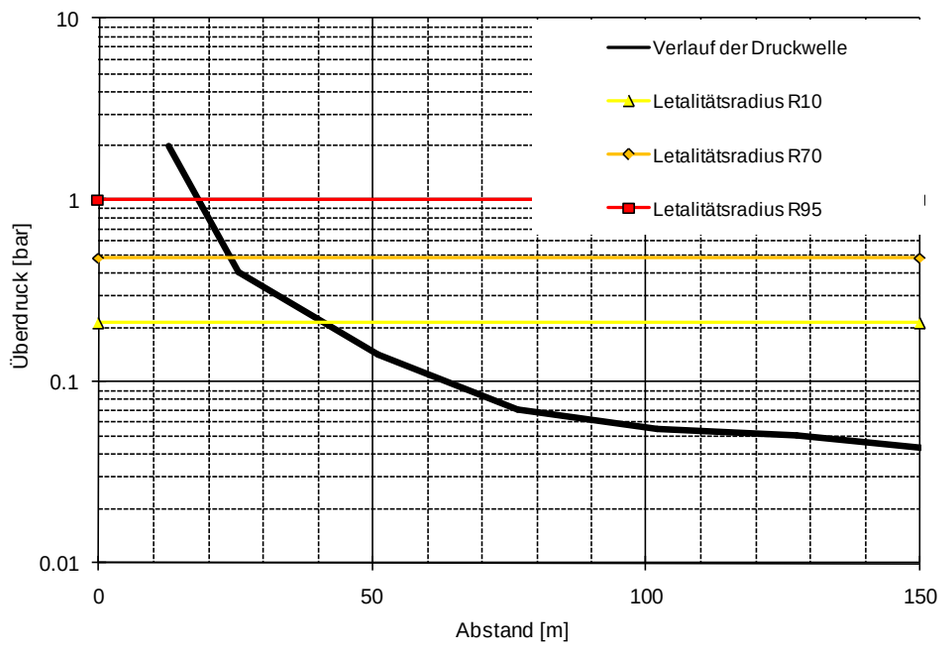
Une explosion après inflammation d'un mélange stœchiométrique peut se produire dans le local de gaz de la station, en plus d'un scénario d'incendie. Les personnes et objets sont alors mis en danger en raison de l'onde de choc qui est déclenchée.

Pour estimer l'effet maximal possible d'une explosion, l'on part de l'hypothèse selon laquelle, après la fuite de gaz, tout le local du poste détente comptage gaz est rempli d'un mélange stœchiométrique gaz-air (part de gaz d'env. 10%). Dans un local d'env. 480 m^3, l'on serait en présence d'env. 48 Nm^3, soit env. 36 kg de gaz naturel (densité : 0.75 kg/m^3).

Dans un environnement très confiné, l'on doit supposer, selon [71] , une surpression initiale maximale de 7 bars qui décroît rapidement avec la distance (cf. Fig. 3.3-2). Les rayons d'action d'une surpression sont déterminés par analogie à ceux d'une boule de feu ou d'un feu de torche. La plus importante distance d'effet R_{10} calculée sur la Fig. 3.3-2 est d'env. 42 m.

Selon [71] , en cas de surpression de 0.06 bar, c.-à-d. ici sur une distance de 90 m, il faut s'attendre à 1% de dommages aux bâtiments.

Fig. 3.3-2 : Surpression hors du poste détente comptage gaz après explosion d'un mélange stœchiométrique gaz-air dans le local de gaz (480 m^3) de la station



3.3.4.5 Evaluation pour le site de l'EKKB

Conduite de gaz sous haute pression

Les personnes se trouvant dans un rayon R_1 (240 m) peuvent subir un préjudice corporel dû au rayonnement thermique. Situé à 1.4 km au minimum de la conduite, le site de l'EKKB est nettement en dehors de cette zone d'influence (cf. Fig. 3.3-4).

Les bâtiments et installations ne sont pas dans la zone de risques potentiels. De même, les unités nucléaires de l'installation ne sont exposées à aucun danger en cas d'accident sur la conduite de gaz naturel à haute pression de 28"/70 bars.

Poste de détente comptage gaz

Le plus proche poste de détente comptage gazest éloignée d'env. 5 km. La zone d'influence du scénario « explosion » s'étend à env. 90 m (dommages sur les bâtiments : 1%). Une rupture totale de la conduite d'amenée avec incendie produit les mêmes effets qu'une rupture totale de la conduite de gaz naturel sous haute pression. La zone de risque (R_1) pour les personnes à l'air libre s'étend à 240 m au maximum.

Les bâtiments et installations de la future EKKB se trouvent largement en dehors de la zone d'influence du poste de détente comptage gaz le plus proche.

3.3.5 Voies de communication et de transport au sol

3.3.5.1 Situation

La route cantonale et la ligne ferroviaire Siggenthal-Döttingen-Coblence se trouvent à env. 1.5 km de distance à l'est du site. L'éloignement entre ces voies de communication et le site est suffisamment important pour exclure un risque dû à l'incendie ou à l'explosion de poids lourds ou de wagons transportant des matières inflammables.

La route reliant Villigen, Böttstein et Döttingen et située à 500 m à l'ouest du site est très peu fréquentée, à l'instar de la route d'accès au site.

Aucun transport de marchandises sur l'Aar n'ayant lieu aux environs du site, sa mise en danger par la circulation fluviale n'est pas prise en considération.

Les environs de l'EKKB comptent peu de voies de communication de grandes capacités et rien de tel n'est prévu dans le futur. L'on peut également poser l'hypothèse d'une stabilité élevée en matière d'aménagement du territoire quant à la situation.

Les transports de matières radioactives vers le ZWILAG ne représentent aucun danger. Les transports et les conteneurs sont soumis à de strictes prescriptions de sécurité.

Eu égard à cette situation initiale, il existe peu de sources de risques potentiels qui, en outre, se trouvent à distance respectable.

3.3.5.2 Conséquences d'accidents dans le transport de gaz propane liquide par rail et par route

3.3.5.2.1 Propriétés du propane

Dans la pression atmosphérique, le propane (C_3H_8) se présente sous forme gazeuse, mais peut se liquéfier à température ambiante sous une faible surpression.

En raison de son poids moléculaire plus important que celui de l'air (propane = 44, air =29 g/mol), le gaz propane liquide fait partie des gaz lourds. Après un dégagement, il a tendance à rester au niveau du sol. Les limites d'inflammabilité du propane se situent à 2.1 et 9.5% vol. c.-à-d. que le mélange gaz/air ne peut s'enflammer que dans ces limites [72].

3.3.5.2.2 Scénarios d'accidents majeurs

Les impacts d'accidents sur des installations de stockage de gaz liquide (citernes) sont décrits dans [72]. À des fins de simplification, les transports de propane sur rail et par route peuvent être considérés comme des citernes mobiles non enterrées. Les wagons-citernes ont une capacité de 46 t de gaz propane liquide et les camions-citernes de 20 t.

En cas d'accident, divers scénarios d'incendie et d'explosion sont envisageables selon la cause, la nature de la fuite, le taux et la direction du dégagement ainsi que les sources d'inflammation et les conditions atmosphériques existantes.

En règle générale, le pire dommage pour les citernes non enterrées est causé par une explosion dite « BLEVE » (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion). Dans des cas exceptionnels, il faut prendre un compte un nuage gazeux qui évolue lentement dans l'air et s'enflamme à retardement [72].

Scénario d'une erreur d'aiguillage

La ligne ferroviaire Döttingen–Brugg se trouve à une distance minimale d'env. 1.2 km du site de l'EKKB. Actuellement, une voie industrielle part de cette ligne pour mener à l'île de Beznau. La voie industrielle ne disposant pas de ligne caténaire, le transport doit s'effectuer au moyen de rattachements à une locomotive diesel.

En raison de la configuration de cette voie industrielle, il est impossible qu'une erreur d'aiguillage amène un train de la ligne Döttingen–Brugg à s'engager sur le périmètre de l'EKKB. En revanche, un mauvais aiguillage intentionnel (sabotage), qui ne fait pas l'objet du présent rapport, peut être envisagé. Les actes illicites (UEW) sont traités dans le rapport de sûreté séparé (cf. chapitre 3.9).

Ce scénario doit être pris en considération lors d'une future transformation de la voie industrielle menant à l'île de Beznau.

3.3.5.2.3 Conséquences

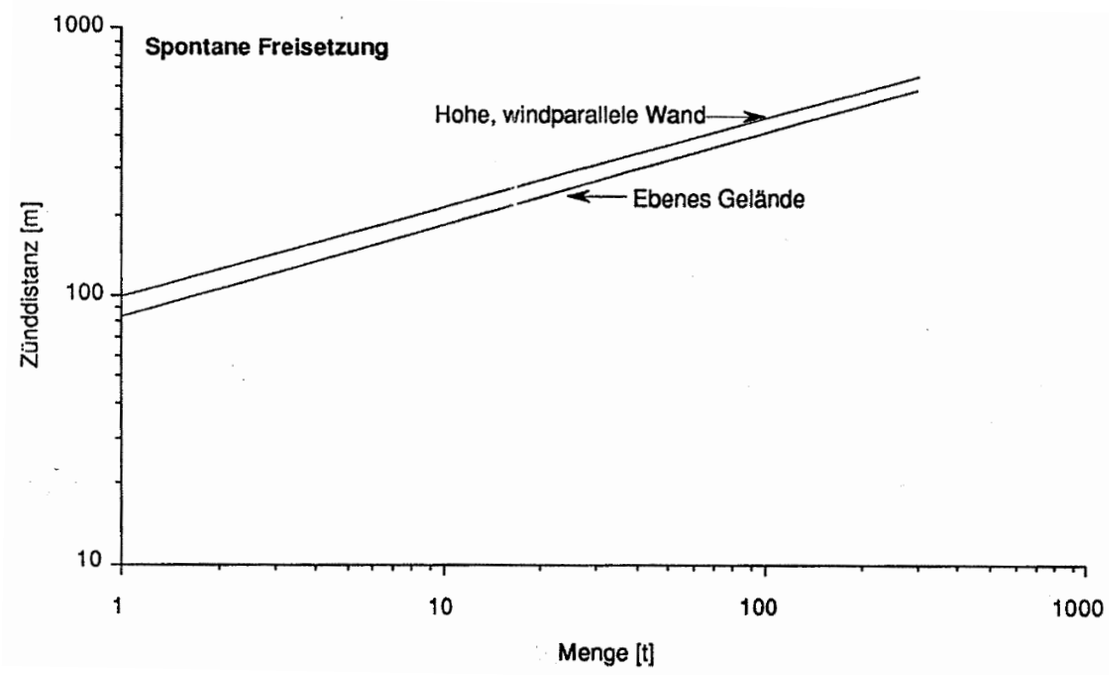
Propagation

En cas de dégagement rapide de grandes quantités (en tonnes) de gaz liquide inflammable, un nuage de gaz se forme qui présente, dans un confinement, une concentration des substances inflammables qui dépasse la limite supérieure d'explosibilité. À l'air libre, la pression maximale qui se forme est de 0.05 bar.

En cas d'un dégagement spontané de 46 t de propane, il faut compter, sur terrain plat, avec une distance d'un peu plus de 300 m quant à la limite inférieure d'explosibilité (distance d'embrasement) comme le montre la Fig. 3.3-3. Pour 20 t de propane, cette distance est de quelque 250 m (cf. Fig. 3.3-3).

Un programme [73], développé par le VDI et reposant sur des calculs en soufflerie, a été utilisé pour élaborer le diagramme (Fig. 3.3-3). Les essais en soufflerie ont été réalisés avec un dégagement sans pression. Le diagramme n'est donc utilisable que pour des dégagements de cette nature.

Fig. 3.3-3 : Distance de la limite inférieure d'explosibilité en fonction de la quantité dégagée spontanément ([72])



Sur terrain plat, la propagation a lieu dans la direction du vent, et sur terrain incliné (inclinaison de pente > 10%) en aval.

En cas d'accident, le propane transporté par rail (46 t) entre Döttingen et Brugg se propagerait dans la direction du vent puisque le terrain est plat à cet endroit. La même remarque s'applique pour la route cantonale n°5.

Aucun transport de propane n'empruntera la route principale entre Böttstein et Villigen.

Incendie

a) Incendie des nuages gazeux (« Flash-Fire ») et boule de feu

Si le nuage s'enflamme et s'élève sous l'effet de l'ascendance thermique, une boule de feu se forme. Si la réduction est déjà bien avancée avant l'inflammation, il en résulte un incendie de grande surface.

Une explosion dite « **BLEVE »** (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) occasionne les plus graves dommages. Un éclatement des conteneurs / fûts se produit en raison d'un effet thermique et mécanique puissant. Le gaz liquide s'échappe brusquement et s'enflamme [72]. Le rayon de la boule de feu peut être calculé à partir de la formule de Marshall (1987) ($R[m] = 27.5 \cdot M^{0.333}$, où M = masse du gaz liquide dégagé en [t]) :

Tableau 3.3-6 : Rayons calculés pour la boule de feu pour 46 t et 20 t de propane liquide dégagé

Scénario d'accident majeur lors du transport de propane liquide par :	Quantité de propane liquide dégagé [t]	Rayon de la boule de feu [m]	Rayon de la boule de feu multiplié par 3 [m]
Rail	46	98	294
Route	20	75	225

b) Feux de nappe et jets de flammes

L'on peut pratiquement exclure la formation d'une nappe de propane en cas de vitesses de fuite élevées. Une nappe éventuelle résultant d'une fuite de liquide vers le bas ne représente aucun risque grave. Il n'est donc pas nécessaire d'examiner plus avant le feu de nappe.

Des flammes d'une longueur de plus de 10 m sont envisageables en cas d'inflammation d'un jet de flammes. Ces flammes portent essentiellement atteinte à leur voisinage direct [72].

Explosion d'un nuage de gaz

Le poids moléculaire du propane étant supérieur à celui de l'air, il se répand et flotte au niveau du sol comme un gaz lourd lors d'un dégagement important. Par conséquent, il s'évapore et se mélange lentement à l'air de sorte qu'il ne se produirait un mélange inflammable pendant un temps limité qu'à distance respectable du lieu de la fuite.

En l'absence d'obstacles, l'effet de la pression reste très faible. En général, l'effet de pression d'explosions de gaz non confinés ne dépasse pas 50 mbars. Il ne faut s'attendre à des déflagrations plus importantes qu'en présence de structures, comme p. ex. entre des rangées d'immeubles, qui premettent un confinement de plus grande ampleur [72].

Le danger d'un dégagement de propane réside dans la capacité de ce gaz à se répandre sur une vaste surface au niveau du sol où il risque fort de rencontrer des sources d'ignition. La petite quantité d'infiltration possible dans les canalisations ne joue qu'un rôle mineur.

3.3.5.2.4 Conséquences sur la population et l'environnement

Conséquences d'un BLEVE

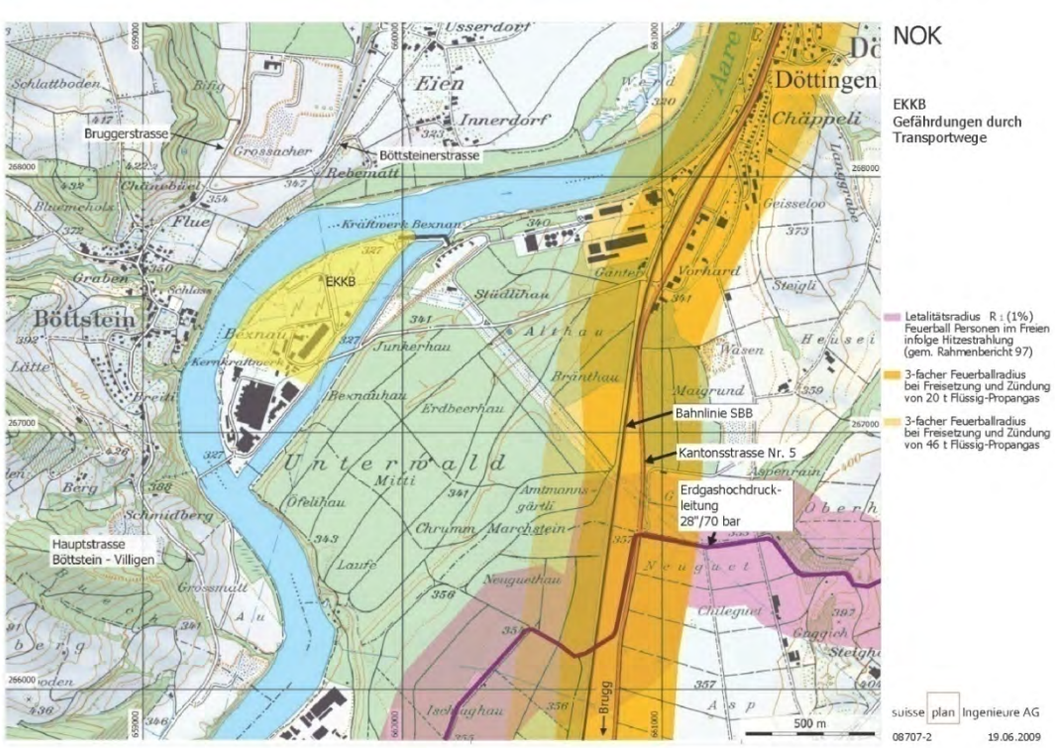
L'examen d'événements passés (notamment l'accident de San Carlos, Espagne) montre que des personnes à l'air libre se trouvant dans le triple rayon de la boule de feu sont mises en danger du fait du rayonnement thermique [72]. Lors d'un dégagement spontané et de l'inflammation de 46 t de gaz propane liquide, la longueur du triple rayon de la boule de feu ainsi que la distance de danger pour les personnes est d'environ 300 m (cf. Tableau 3.3-6). Un dégagement spontané et l'inflammation de 20 t de gaz propane liquide correspondent à une distance de danger de 225 m pour les personnes à l'air libre (cf. Tableau 3.3-6).

3.3.5.2.5 Evaluation pour le site de l'EKKB

Le site de l'EKKB est situé hors des distances de danger pour les personnes à l'air libre en cas d'un rayonnement thermique causé par un BLEVE (cf. Fig. 3.3-4).

Lorsque le projet de construction sera achevé, il conviendra de réexaminer les risques émanant de la propagation de nuages de gaz avec inflammation à retardement ainsi que des confinements potentiels engendrés par des ouvrages.

Fig. 3.3-4 : Risques présentés par les voies de transport



3.3.5.3 Transports d'essence

Les transports prévus sur le site de l'EKKB ne concernent que le diesel ; ils ne concernent pas l'essence.

3.3.5.3.1 Scénarios d'accidents majeurs

Le potentiel de danger représenté par l'essence répandue réside dans la surface des terrains imprégnés car seule la vapeur d'essence peut s'enflammer. Une règle générale prévaut : quelque 5% d'une quantité d'essence se répandant spontanément brûlent simultanément, en fonction de la nature du revêtement du sol. L'essence a besoin d'un milieu très confiné pour exploser (p. ex. canalisation). Les effets d'accidents majeurs lors de transports d'essence se limitent à la dimension de la surface recouverte d'essence et, le cas échéant, à celle des objets environnants susceptibles d'être exposés à l'incendie Le rapport-cadre sur la sécurité des installations de stockage de carburants et combustibles liquides fournit des descriptions détaillées sur les scénarios et conséquences potentiels [74].

3.3.5.3.2 Explosion dans une canalisation

Une explosion dans une canalisation peut engendrer des dommages importants sur l'environnement proche, notamment en présence d'exploitations denses ou d'infrastructures importantes.

Du fait de son point d'éclair bas et sa haute volatilité, l'essence forme un mélange explosible gaz / air principalement dans les canalisations publiques ou dans des espaces creux fermés, comme p. ex. les galeries de conduites. Lorsque ce mélange gaz / air s'enflamme, p. ex. à cause d'une étincelle électrique, une explosion dans une canalisation peut occasionner une très forte déflagration dans le voisinage. Selon l'emplacement de la canalisation touchée, notamment dans les zones très construites ou fortement exploitées, les dégâts peuvent être considérables [74].

3.3.5.3.3 Evaluation pour le site de l'EKKB

Aucun transport d'essence n'étant prévu sur le terrain, il n'en résulte aucun risque pour le site de l'EKKB.

3.3.5.4 Transports de chlore

Des transports de chlore sur la ligne ferroviaire Döttingen-Brugg ne sont pas à exclure bien qu'après la fermeture de la société Solvay il n'y aura plus de fabricant dans cette région. Selon l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), il n'y a aucun itinéraire prescrit et obligatoire pour les transports. La mesure de prise en compte des voies de transport optimisées a pour objectif la responsabilité personnelle de l'industrie qui, par la « Déclaration conjointe » s'est déclarée prête à réduire les risques lors des transports ferroviaires. Les CFF soutiennent l'industrie dans l'organisation de ces itinéraires optimisés et remet chaque semestre des rapports sur les transports et leurs itinéraires à l'Office fédéral des transports (OFT) à des fins de contrôle.

Les exigences normatives (réglementations internationales et nationales) sont adaptées pour améliorer la conception des wagons-citernes. Au cours du 3e trimestre 2007, environ la moitié des transports de chlore ont été effectués dans des wagons-citernes améliorés. Selon l'OFEV, la mesure devrait être mise en œuvre de manière globale à partir du 2e trimestre 2008.

3.3.5.4.1 Scénarios d'accidents majeurs

Le dégagement intempestif de 55 t de chlore liquéfié sous pression constituerait l'effet mécanique le plus grave. Seules une collision frontale ou une chute d'aéronef peuvent occasionner une telle avarie. Pour en arriver au point d'une énorme évoporation spontanée, il faudrait que la surface d'évaporation chaude soit très importante (par ex. en été Une dissémination dans le ballast et les talus recouverts de végétation réduit la quantité en conséquence. Le chlore diffusé peut se répandre sur plusieurs km^2. La forme et l'orientation de la propagation dépendent du vent et de la topographie des lieux.

Les vapeurs de chlore peuvent occasionner de graves brûlures des voies respiratoires, des muqueuses et des yeux.

3.3.5.4.2 Evaluation pour le site de l'EKKB

La probabilité de l'évaporation spontanée d'une importante quantité de chlore est très faible. En outre, si elle est dangereuse pour les personnes à l'air libre ou dans des locaux ventilés depuis l'extérieur (cf. également chapitre 3.3.6.2) , elle ne présente aucun risque pour les bâtiments et les installations. En raison de la distance entre la ligne ferroviaire et l'EKKB, l'on peut supposer disposer d'un certain temps d'alerte et de réaction sur le site.

Le scénario n'est pas déterminant pour le choix du site. Toutefois, il conviendrait de réexaminer l'importance des risques liés au gaz de chlore au moment des phases de construction et d'exploitation.

3.3.6 Autres événements

3.3.6.1 Pollution des eaux fluviales et des eaux souterraines

Un circuit primaire du réacteur avec tour de refroidissement hybride est prévu pour l'EKKB (cf. également chapitre 2.3.3). L'eau de refroidissement provient du cours supérieur de l'Aar. Elle est purifiée par le biais d'un traitement (décalcification) puis injectée dans le circuit primaire du réacteur. Par conséquent, une pollution potentielle de l'eau fluviale n'a aucun effet immédiat sur la puissance de refroidissement.

Dans la station d'entrée du circuit d'eau brute secourue, l'eau de l'Aar est purifiée de ses impuretés grossières, telles les matières en suspension, au moyen de grilles de filtres fins. En raison de la dilution des substances chimiques dans l'eau, du temps d'alerte ainsi que du court séjour de l'eau potentiellement polluée dans les systèmes correspondants, il ne faut pas s'attendre à des dommages spontanés sur les composants. La surveillance du vieillissementet les contrôles de routine devraient permettre de déceler des dommages possibles sur les composants dus aux effets à long terme ou des dommages qui évoluent progressivement en raison d'une modification de la chimie de l'eau fluviale, et de prendre les contre-mesures qui s'imposent.

Une obturation possible des entrées de l'eau de refroidissement ou un affaiblissement de la puissance de refroidissement par des substances chimiques sont couverts par l'événement « Entrave ou coupure de l'alimentation externe en eau de refroidissement » (cf. chapitre 3.5.10).

Lors d'une infiltration de substances chimiques dans les eaux souterraines, il faut compter avec un plus long temps d'alerte en raison de la vitesse de propagation peu élevée dans lesdites eaux souterraines. Si nécessaire, des contre-mesures appropriées peuvent être engagées pendant ce temps. Les systèmes filtrant les eaux souterraines seront adaptés aux propriétés locales des eaux souterraines (cf. chapitre 3.6) avec une certaine marge dans la conception. C'est pourquoi il ne faut pas s'attendre à la survenance de dysfonctionnements ou de corrosion spontanés qui pourraient mener à une panne du système ou à un affaiblissement de la puissance de refroidissement, même avec un temps d'alerte restreint.

L'on peut exclure les contaminations des eaux souterraines qui pourraient entraver l'alimentation externe en eau de refroidissement en raison des propriétés de filtration des couches qui transportent des eaux souterraines

Un endommagement possible des fondations ne doit pas être classé comme événement, mais sera pris en considération dans le cadre de la surveillance du vieillissement. Le concept de surveillance du vieillissement de l'installation est préparé et présenté dans le cadre de l'élaboration des dossiers de l'autorisation de construire.

3.3.6.2 Gaz toxiques

Les gaz toxiques ou corrosifs pourraient représenter un risque à condition d'être aspirés dans des concentrations suffisamment importantes par les systèmes de ventilation, p. ex. dans la salle de commande ou des bâtiments abritant des systèmes de sécurité.

Les produits chimiques nécessaires à l'exploitation de l'installation ne sont pas entreposés à proximité des orifices d'aspiration des systèmes de ventilation, ce que garantissent des dispositions de procédure y afférentes. En cas de dégagements de produits chimiques, l'on peut également partir de l'hypothèse que les substances libérées seraient diluées avant d'atteindre les orifices d'aspiration.

Aucune source plausible de gaz toxiques ne se trouve au voisinage de l'EKKB. Dans le cas de nuages de gaz externes, l'on peut également escompter une dilution des substances toxiques avant qu'elles ne parviennent aux orifices d'aspiration.

En outre, dans la nouvelle installation, l'air aspiré dans les systèmes de ventilation est tout d'abord filtré, comme il est d'usage, et ensuite purifié en passant par des filtres de charbon actif (ces filtres peuvent être activés lorsque le danger devient menaçant).

En résumé, le risque présenté par des gaz toxiques concerne en premier lieu le personnel et non la sécurité de l'installation. Les moyens à disposition sont suffisants pour écarter une mise en danger du personnel.

3.3.7 Trafic aérien

Le site se trouve à 24 km de l'aéroport international de Zurich-Kloten et à env. 56 km à l'ouest de l'aéroport de Bâle-Mulhouse. Les calculs effectués selon la méthode décrite au chapitre 3.3.11 indiquent une fréquence de chutes accidentelles d'aéronefs civils sur le site de l'EKKB d'env. $1x10^{-5}$ par an et km^2 pour l'année 2007. La projection de la fréquence de chutes accidentelles sur 2030 d'environ $2x10^{-5}$ par an et km^2 est issue de l'hypothèse émise par une étude de l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) [10] que les mouvements d'arrivée, de départ

et de transit jusqu'en 2030 accuseront une progression de 160% à 198%, par rapport aux mouvements enregistrés en 2007. La fréquence de chutes accidentelles d'aéronefs civils peut aussi être répartie entre les classes de poids de 5.7 à 20 t (part relative ~ 27%) et > à 20 t (part relative ~73%). La présence relative des avions pour la répartition en classes de poids a été déterminée au moyen des données de [7]. Le Tableau 3.3-7 présente les résultats précis des calculs pour l'année 2007 ou l'année 2030.

L'approche coudée par le nord n'influence que très faiblement la possibilité de chutes d'avion sur le site de l'EKKB (env. 1%). La raison réside dans le fait que 2% seulement des vols utiliseraient cette procédure d'approche puisque la demande de la société d'exploitation de l'aéroport de Zurich ne prévoit une approche coudée par le nord qu'aux premières heures de l'exploitation, entre 6 et 7 heures du matin, et que cette procédure requiert de très bonnes conditions de visibilité. L'influence sur le résultat global est donc faible, bien que l'approche coudée par le nord représente à chaque fois un risque accru par rapport à d'autres procédures d'approche. L'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) a rejeté la demande de mise en service d'une approche coudée par le nord le 03.07.08. On peut lire dans la prise de position de l'OFAC que, pour des questions de sécurité, l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) n'est pas prêt à donner suite à la demande d'autorisation de la procédure d'approche coudée par le nord déposée par la société d'exploitation de l'aéroport de Zurich. Le risque accru que peut représenter l'approche coudée par le nord est donc momentanément écarté. Il convient toutefois de ne pas exclure l'autorisation à une date ultérieure d'une procédure d'approche similaire basée sur un système de navigation par satellite qui présenterait les mêmes garanties de sécurité qu'une approche aux instruments. Actuellement, il est difficile d'évaluer l'influence exercée par une telle procédure d'approche sur l'augmentation de la fréquence de chute d'avions sur le site de l'EKKB. Il serait cependant possible , en tenant compte des des considérations suivantes, de faire une comparaison par rapport à la procédure d'approche coudée par le nord qui a été examinée pour la demande d'autorisation générale :

- La « nouvelle » procédure d'approche présenterait un niveau de sécurité plus élevé, ce qui réduit les risques.
- Le niveau de sécurité plus élevé offert par l'approche assistée par satellite entraînerait vraisemblablement une augmentation des capacités, d'où une augmentation du risque engendré par un trafic aérien plus intense. D'un autre côté, le ratio augmentation de la capacité / augmentation du risque ne serait pas sensiblement plus élevé qu'avec « l'ancienne » procédure qui n'a pas reçu l'agrément.

Globalement, le risque des approches coudées par le nord dans les deux cas de figure est similaire.

Le survol d'une centrale nucléaire par des avions militaires est interdit par les autorités si une distance de sécurité verticale et horizontale n'est pas respectée. De même, l'ancien couloir de vol à basse altitude pour les appareils militaires le long du Rhin est aujourd'hui fermé. Les exercices de combat aérien dans les régions de contrôle terminales des grands aéroports suisses sont interdits depuis mai 1992. Sans tenir compte du fait que la plupart des terrains d'exercice militaires se trouvent dans les zones alpines et du Jura, réduisant ainsi le risque de crash dans la vallée inférieure de l'Aar, il en résulte une fréquence de chutes accidentelles d'aéronefs militaires sur le site de l'EKKB de 8.67×10^{-6} par an. Le calcul de la fréquence de chutes accidentelles

d’avions militaires est basée sur l’approche prudente décrite au chapitre 3.3.11.5. Cette raison explique que les résultats des calculs qui livrent des informations détaillées sur le nombre de mouvements d’aéronefs militaires ayant lieu au voisinage du site peuvent s’écarter des données indiquées ici. Si nécessaire, une telle observation des mouvements d’avions militaires dans les environs du site pourrait être réalisée dans le cadre de l'autorisation de construire, pour autant que les Forces armées mettent à disposition des informations sur lesdits mouvements d’aéronefs militaires.

Un petit héliport se situe sur l’aire de la société Granella S.A. à un peu plus de 2 km au sud-est de l’EKKB. L’héliport détient une licence pour 300 mouvements aériens par an. Les trajectoires d’approche et de départ utilisées longent la ligne ferroviaire en direction du nord et du sud à une distance suffisante de l’EKKB. Selon les déclarations du chef d’aérodrome, après un départ en direction du nord, les pilotes ne volent en aucun cas en direction de l’ouest entre le ZWILAG et Beznau. Par principe, les pilotes évitent de survoler la région du PSI, du ZWILAG et des KKB 1 et 2. Un vol en direction de Tegerfelden, Zurzach ou en direction du sud est plus probable. Les décollages et atterrissages depuis l’héliport de Würenlingen ne représentent donc aucun danger pour l’EKKB et peuvent ainsi être exclus de la fréquence de chutes accidentelles sur le site de l’EKKB. Si l’on prend en considération les chutes enregistrées pendant la phase de croisière dans la période de 1998 à 2006, la fréquence de chute d’hélicoptères sur le site de l’EKKB (0.15 km^2) est calculée à $8.48x10^{-6}$ par an (cf. chapitre 3.3.11.4).

Le risque de chutes de petits avions de la classe de poids < 5.7 t est négligeable en raison de leur petite taille, de la contenance moindre de leur réservoir et du nombre peu élevé de mouvement aériens (cf. également chapitre 3.3.11.3).

À l’avenir, en partant d’un taux de chute constant, il faudra compter avec une hausse de la fréquence de chute dans l’aviation civile en raison de l’augmentation des mouvements aériens et de la densité du trafic qui en découle. Afin de satisfaire la demande du nombre croissant de passagers, il convient de partir de l’hypothèse d'un pourcentage plus important d'avions transportant plus de passagers (p. ex. Airbus A380).

Selon les connaissances actuelles, la fréquence des chutes d’aéronefs militaires, de petits avions ou d’hélicoptères ne connaîtra aucune modification notable.

Selon les déclarations de l’OFAC, la probabilité d’occurrence d'une chute d’avion sur un lieu déterminé croît, statistiquement parlant, avec la densité du trafic, mais reste toutefois très faible. Les efforts consentis avec l’amélioration des équipements techniques des avions, de nouveaux d'aide à la navigation et au décollage tendent à empêcher cette augmentation statistique, c’est-à-dire à la réduire d’un point de vue relatif. Par principe, aucune augmentation importante de la fréquence de chutes accidentelles d’aéronefs n’est à attendre sur le site de l’EKKB.

Tableau 3.3-7 : Fréquence de chute d'aéronefs civils, militaires et d'hélicoptères

Domaine	État 2007	État 2030
Avions civils à proximité (par an et km^2)	7.70E-06 (7.82E-06)	1.23E-05 (1.25E-05)
Avions civils en transit (par an et km^2)	2.40E-06	4.76E-06
Total des avions civils (par an et km^2)	1.01E-05 (1.02E-05)	1.71E-05 (1.73E-05)
Total des avions civils par catégorie de poids de 5.7 à 20 t	2.73E-06 (2.75E-06)	4.62E-06 (4.67E-06)
Total des avions civils par catégorie de poids > 20 t	7.37E-06 (7.45E-06)	1.25E-05 (1.26E-05)
Petits avions < 5.7 t (par an sur le site)	2.09E-05	
Avions militaires (par an sur le site)	8.67E-06	
Hélicoptères (par an sur le site)	8.48E-06	

Les événements du modèle avec approche coudée par le nord sont indiqués à chaque fois entre parenthèses.

3.3.8 Événements extérieurs

Conformément aux exigences de l'article 8 OENu, l'installation sera protégée contre des accidents de référence ayant leur origine à l'extérieur qui incluent tous les accidents majeurs que pourraient occasionner des chutes d'avions ou des événements dans des installations industrielles / sur des voies de communication. Les événements suivants ont été pris en considération :

- Onde de choc y compris effet d'impact
- Dommage sur une turbine
- Incendie
- Émission de vapeurs ou de gaz dangereux
- Chute accidentelle d'un aéronef civil ou militaire sur l'installation.

Des ondes de choc, des incendies ou des chutes d'avions peuvent également déclencher les événements suivants :

- Coupure ou entrave de l'alimentation en eau de refroidissement
- Perte de l'alimentation électrique externe
- Contamination de l'air intérieur par des gaz toxiques.

Les bâtiments et dispositifs techniques liés à la sécurité sont conçus de telle sorte que l'installation présente un état sûr si de tel événements et leurs incidences consécutives se produisaient (cf. Tableau 2.4-2) , tout en respectant tous les objectifs et les limites de protection. Les justificatifs correspondants sont fournis lors de la demande de l'autorisation de construire comme le requiert l'annexe 4 de l'OENu.

3.3.9 Evaluation du site quant aux dangers présentés par des installations industrielles et des voies de communication

Aucune installation industrielle pouvant représenter un danger pour l'installation ne se trouve à proximité du site. La même remarque s'applique à l'utilisation des routes ou des lignes ferroviaires. Les distances jusqu'au site sont suffisamment importantes pour que d'éventuelles explosions, émissions de gaz dangereux ou des incendies n'aient aucune conséquences sur les personnes.

La région de Döttingen est considérée comme pôle de développement économique d'importance régionale dans l'aménagement du territoire. Il s'agit de pôles d'activités situés à des endroits bien aménagés sur des axes de développement centraux et ruraux. Il convient de concevoir et d'améliorer les conditions nécessaires à des postes de travail compétitifs par une gestion active.

Les priorités d'exploitation doivent être harmonisées avec leur situation. Il convient d'étendre les zones à bâtir, ce qui ne signifie toutefois pas qu'il faille s'attendre à l'avenir à des modifications importantes de la situation quant aux risques engendrés par des installations industrielles. Si d'autres installations industrielles devaient être envisagées dans le voisinage du site, il conviendrait alors de procéder à une étude des risques avec les éventuelles contre-mesures nécessaires.

La conduite de gaz naturel sous haute pression de 28"/70 bars mentionnée au chapitre 3.3.4 se trouve à une distance minimale de 1.4 km par rapport au site. En outre, elle est enterrée. Même dans le cas improbable d'une rupture, elle ne constitue aucun risque pour l'EKKB.

Il ne faut pas s'attendre à une modification des risques provenant des voies de communication (routes, rail, navigation fluviale). Les routes sont suffisamment éloignées pour exclure les risques liés au transport de marchandises dangereuses. Le trafic de marchandises de la ligne ferroviaire est peu élevé. Il conviendrait de réévaluer le risque si ce trafic devait s'accentuer. Cette réévaluation devrait avoir lieu dans le cadre des demandes de l'autorisation de construire et d'autorisation d'exploitation, ou lors de l'évaluation périodique de la sécurité pendant l'exploitation.

Comme indiqué au chapitre 3.3.7, le site est éloigné de 24 km de l'aéroport de Zurich-Kloten et d'env. 56 km de celui de Bâle-Mulhouse. Toutefois, la distance maximale d'une zone à risque accru par rapport au seuil des pistes n'est que de 5 à 8 km. La fréquence de chute d'avions ou d'hélicoptères calculée pour la période allant de 2007 à 2030 est faible et ne remet pas en question le choix du site ni aujourd'hui ni à l'avenir.

Les risques industriels qui ont été décrits pourraient éventuellement entraver l'accès au site, mais ils ne l'interrompraient en aucun cas eu égard aux différentes possibilités d'accès et à leur configuration dans l'espace. Cela s'applique également aux autres dangers, p. ex. en cas d'incendie de forêt déclenché par un accident ou de températures estivales élevées ou de sécheresse. Les possibilités d'accès étant diverses et redondantes, elles étayent le choix approprié du site, même en cas d'urgence.

3.3.10 Mise en œuvre lors de la conception

Les données relatives à l'industrie et aux voies de communication seront actualisées lors de l'élaboration de la demande de l'autorisation de construire, puis documentées et évaluées dans le rapport de sécurité.

Les risques pouvant provenir des installations industrielles et des voies de communication sont décrits et classés (ingénierie réacteurs R1) pour la demande de l'autorisation de construire et servent à élaborer les spécifications du risque (installation complète G1) qui sont converties en paramètres de calcul (génie civil B1). Les équipements et ouvrages sont classés (ingénierie systèmes S1 ; génie civil B1). Les analyses provisoires des accidents sont effectuées (ingénierie réacteurs R2).

La détermination des méthodes de justification le génie civil a lieu dans le cadre de la première autorisation de construire (OENu, annexe 4 B2). Les spécifications / critères de conception et dimensionnement, les hypothèses de charge, la modélisation des ouvrages porteurs, le concept de fixation et les spectres de comportement par étage sont également définis dans ce contexte. Des spécifications de conception et des directives de qualification sont élaborées et présentées pour les équipements techniques et électriques (M2 ; E2). Les justificatifs de tension ou de portance et les justificatifs d'utilisabilité pour les ouvrages sont présentés pour l'autorisation de construire (B3), ce qui s'applique également aux justificatifs correspondants pour les équipements en perspective relatifs à une autorisation avant la mise en service.

Les répercussions d'une chute d'avion sur les bâtiments pourront être examinées dès que la conceptualisation aura été établie. La définition exacte des exigences liées à la conception aux fins de protéger l'EKKB contre une chute d'avion et en tenant compte des réglementations actuelles fait partie de l'autorisation de construire et de l'autorisation d'exploitation. Dans les conditions du site susmentionnées, l'on peut partir du principe qu'une installation, aujourd'hui, sur le site de l'EKKB peut être suffisamment protégée contre l'impact et les conséquences d'une chute d'avion (embrasement du carburant, dispersion des débris, explosion) par les mesures prises conformément à l'état actuel des sciences et des techniques au moment de la conception.

3.3.11 Annexe 6 : Méthode de calcul de la fréquence de chute d'aéronefs civils et militaires et d'hélicoptères

Les fréquences de chute sur le site au cours des différentes phases de vol sont calculées de manière distincte. Seules sont examinées les phases de vol pouvant présenter un risque potentiel pour le site.

3.3.11.1 Transit

L'approche suivante est choisie pour déterminer la fréquence de chute du fait des mouvements de transit par an et km² :

$$F_T = \sum_i \frac{N_i \cdot d_i \cdot C}{A_i}; \quad mit\ d_i = \sqrt{g^2 h^2 - b_i^2} - \frac{b_i}{\tan \vartheta}$$

Où : $A_i = \pi g^2 h^2 2\vartheta / 360°$

Signification des paramètres :

F_T : Fréquence de chute par an et km² dans la phase de vol de transit

i : Indice du couloir aérien

N_i : Nombre de mouvements aériens par an et couloir

d_i : Route dans le couloir à partir de laquelle l'EKKB peut être atteinte [km]

C_T : Taux de chute par km de route dans la phase de vol de transit : $C_T = 7.20 \cdot 10^{-10}$ km^{-1}

A_i : Surface possible de chute (surface de la zone dans laquelle la chute pourrait se produire : surface d'un segment de cercle où $\vartheta = 45°$ et le rayon r = g*h

g : Finesse max.
(g = 17)

h : Hauteur de vol moyenne
(h = 8 km)

b_i Composants horizontaux de la distance minimale entre le couloir aérien et l'EKKB

ϑ : Angle qui, depuis le lieu d'accident dans le couloir, déploie la surface de chute possible de part et d'autre de la direction initiale (angle de dispersion)

La statistique des accidents de l'US National Transportation Safety Board (NTSB, [75]) a été utilisée pour déterminer les taux de chute C_T par km de route pour la phase de vol de transit en posant l'hypothèse qu'~20% des accidents se produisent durant la phase de vol de transit [76]. Il en résulte un taux d'accident par km de vol de transit de $C_T = 7.20 \times 10^{-10}$ km^1.

Généralement, les couloirs aériens ont une largeur d'env. 15 km. D'après des clarifications avec Skyguide, il ressort que les couloirs suivants (cf. Tableau 3.3-8) amènent les avions à une proximité de survol de l'EKKB qui ne la mettent pas hors de portée en cas de chute.

Tableau 3.3-8 : Couloirs aériens examinés et nombre de vols

Couloir aérien	Nombre de vols en couloirs aériens par an[12]
HOC-TRA (b = 8 km)	2.83E+04
HOC-WIL (b = 42 km au sud)	2.03E+02
WIL-TRA (4 km)	4.47E+03
TRA-ROTOS (b = 1 km)	7.61E+02
TRA-OLBEN (b = 4 km)	5.81E+04
TRA-RIPUS (40 km)	7.53E+04
TRA-ZUE (b = env. 15 km)	4.06E+02
HOC-ELMUR (b = env. 20 km)	4.98E+04
SUREP-DITON (b = env. 20 km)	6.56E+04
HOC-DITON (b = env. 15 km)	6.09E+02
SUREP-KUDES (b = env. 20 km)	1.47E+03

L'on admet un angle de dispersion modéré de 45° et une hauteur moyenne de vol de 8 000 m. En supposant une finesse maximale de 17 (avancée de 17 m par perte de hauteur de 1 m), un avion en détresse peut tout au plus atteindre un point distant de 136 km (g*h).

L'on peut en outre partir du fait que 37% des vols de et vers Bâle ou Zurich (cf. Tableau 3.3-9) survolent le site à une distance horizontale moyenne de 10 km à une hauteur de vol de 8 km. Toutefois, leur influence sur la fréquence totale des chutes est faible.

Les mouvements en vol de transit calculés en collaboration avec Skyguide et représentatifs de l'année 2007 (cf. Tableau 3.3-8 et Tableau 3.3-9) correspondent à une fréquence de chute de $F_T = 2.40 \cdot 10^{-6}$ par an et km^2 pour le trafic de transit.

[12] Les nombres de vols dans les différents couloirs ont été calculés en collaboration avec Skyguide et sont représentatifs pour l'année 2007.

3.3.11.2 Fréquence des chutes à proximité des aéroports

Par « proximité », l'on entend les phases de vol : Initial Climb, Climb, Descent, Initial Approach et Final Approach.

Par principe, tous les mouvements aériens à proximité (env. 10 à 50 km) des aéroports de Zurich-Kloten et de Bâle-Mulhouse sont pris en considération. L'on part du principe qu'un avion se trouve à une hauteur moyenne de 3 000 m en procédure d'approche (décollage et atterrissage) et peut donc en cas détresse atteindre un point éloigné au maximum de 51 km (glide reach distance, chapitre 3.3.11.1 Transit).

Aéroport de Bâle-Mulhouse : l'EKKB est située à env. 56 km à l'est de l'aéroport international de Bâle-Mulhouse.

- Les phases de vol Descent et Climb vers et depuis l'aéroport de Bâle-Mulhouse sont prises en considération. Nombre de ces mouvements ayant lieu en dehors de la distance maxi. de 51 km, il s'agit ainsi d'une hypothèse prudente.
- Étant donné la distance importante entre l'aéroport et le site, la phase de vol Final Approach à Bâle-Mulhouse ne représente aucun danger pour l'EKKB.

Aéroport de Zurich-Kloten : l'EKKB se trouve à env. 26 km au nord-ouest de l'aéroport international de Zurich-Kloten.

- Pour les phases de vol Descent, Initial Climb et Climb, aucun angle de dispersion n'est pris en compte.
- La phase de vol Final Approach n'est pas examinée plus avant ici car son influence sur la fréquence de chute sur l'EKKB est négligeable.

Le modèle ci-après est utilisé pour le calcul de la fréquence de chute annuelle liée à la surface à proximité de l'aéroport de Bâle-Mulhouse et des phases de vol Initial Climb, Climb et Descent sur l'aéroport de Zurich Kloten :

$$F_{Nah} = \sum_j \frac{N_j \cdot C_j}{A_j}$$

Où :

F_{Nah} : Fréquence de chute par an et km^2 à proximité

j : Indice pour les différentes phases de vol (Descent, Final Approach, Climb)

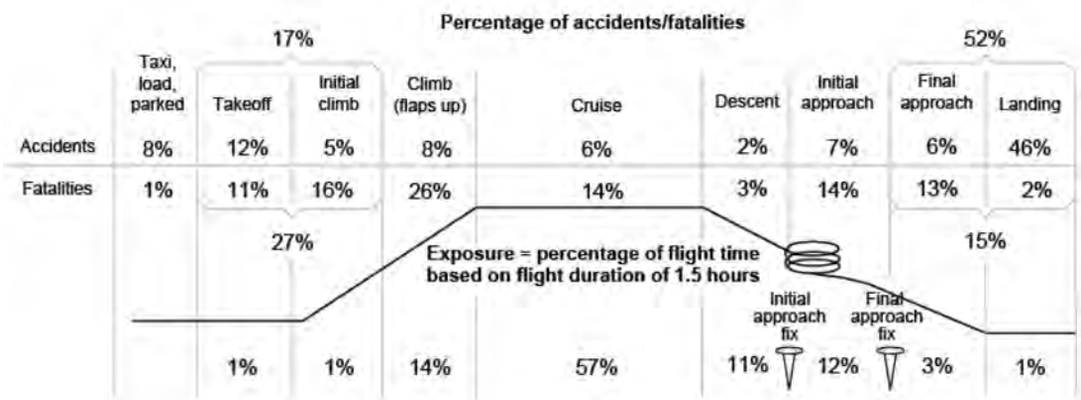
N_j : Nombre de mouvements aériens par an

C_j : Taux de chute par mouvement pour une phase de vol particulière

A_j : Surface de chute possible (surface du terrain sur lequel la chute pourrait se produire). Surface dans un rayon de 51 km autour de l'aéroport (l'on suppose ici que la probabilité d'occurrence de chute est répartie uniformément sur cette surface).

C_j est calculé à chaque fois dans l'hypothèse d'un taux de chute total par mouvement aérien C_{tot} et multiplié par le pourcentage dechutes dans cette phase de vol selon la Fig. 3.3-5. L'étude de Boeing [77] indique un taux d'accident de $C_{tot} = 9.0 \times 10^{-7}$ par mouvement (« hull loss accidents for scheduled commercial passenger operations ») pour la période de 1997 à 2006.

Fig. 3.3-5 : Phases de vol et pourcentage d'accidents de 1996 à 2005. Le graphique utilisé ici est extrait de [8].



La phase de vol « Approche initiale » de l'aéroport de Zurich-Kloten est étudiée à l'aide de l'hypothèse choisie suivante qui permet une distinction entre plusieurs routes aériennes avec une certaine dispersion. Les routes aériennes sélectionnées sont les suivantes :

- Approche par le nord / est
- Approche par le nord / ouest
- Approche par le sud / est
- Approche par le sud / ouest
- Approche par l'est
- Approche coudée par le nord.

La fréquence de chute est calculée comme suit en tenant compte des différentes routes d'approche et de leur dispersion :[13]

$$F_{IA} = \sum_i N_i \cdot C_{IA} \cdot S(k)$$

Où :

F_{IA} : Fréquence de chute par an et km^2 pendant la phase de vol « Approche initiale »

N_i : Nombre de mouvements par route aérienne et par an

C_{IA} : Taux de chute par mouvement aérien dans la phase de vol Initial Approach (IA) (« Approche initiale »)

($C_{IA} = 9.0 \cdot 10^{-7} \cdot 7\% = 6.3 \cdot 10^{-8}$)

S(k) : Probabilité d'impact par km^2 à l'endroit k

s(x) : Densité de probabilité

[13] La fonction S(k) permet de procéder à une estimation réaliste car les avions ne sont observés que jusqu'à une hauteur de vol h d'env. 2 km, les spectres de dispersion w des routes (à l'arrivée et au départ) sont plus grands ou égaux à 1, la finesse g = 17 est constante, les longueurs l de la phase de vol IA des différentes routes aériennes (à l'arrivée et au départ) sont toutes supérieures à 1 km et que la fonction S(k) dans cette application n'est donc jamais égale à 1. Dans le cas où la valeur h serait très basse ou tend vers zéro, il est certainement plus réaliste de penser que la probabilité de fiabilité à un endroit très proche de la route aérienne avoisine 100%.

L'évaluation des données réelles montre que la fréquence de chute à l'endroit k diminue à mesure que k est éloigné de la route aérienne et qu'elle n'est pas répartie uniformément sur la surface globale. Ci-après, l'hypothèse posée est que, à l'intérieur d'une route aérienne (avec dispersion w ou largeur de la route aérienne = 2 w),la probabilité d'une chute par surface est répartie de manière homogène et que, hors de la route aérienne, elle décroît de manière linéaire jusqu'en bordure de la surface de chute possible A.

Si l'on admet que la probabilité d'impact par surface le long de la route aérienne est constante pour la phase de vol « Approche initiale », il en résulte, sans autres hypothèses, l'équation suivante pour S(k) à l'intérieur du secteur de dispersion de la route aérienne :

$$S(k) = \frac{1}{A} \cdot \frac{w + g\bar{h}}{w + \frac{1}{2} gh}$$

pour k ≤ w

et l'équation suivante pour S(k) à l'extérieur du secteur de dispersion de la route aérienne :

$$S(k) = \frac{1}{A} \cdot \frac{w + g\bar{h}}{\left(w + \frac{1}{2} gh\right) \cdot gh} \cdot \left(w + gh - k\right)$$

pour w ≤ k ≤ w + gh

Où :

w : Largeur de dispersion des routes aériennes

g : Finesse

h : Hauteur de vol pour la route aérienne considérée la plus proche de k

$\bar{h}$: Hauteur de vol moyenne pour la route aérienne considérée

A : Surface de chute possible 2 · (w+gh) · l

l : Longueur de l'approche initiale

Si l'on utilise les données du Tableau 3.3-9 sur les mouvements d'arrivée et de départ des deux aéroports de Bâle-Mulhouse et Zurich-Kloten, qui ont été fournies par la société Aéroport de Zurich S.A. [7], la fréquence de chute d'aéronefs civils à proximité est calculée à 7.70×10^{-6} par an et km^2.

Tableau 3.3-9 : Mouvements aériens en 2007

Nombre de mouvements aériens, état : 2007	
Mouvements aériens de transit	4.13E+05
Arrivées à l'aéroport de Zurich, par an	1.32E+05
Départs de l'aéroport de Zurich, par an	1.32E+05
Mouvements aériens à l'aéroport de Bâle, par an (moitié pour les départs, moitié pour les arrivées)	8.20E+04

En ce qui concerne le calcul des pronostics pour la fréquence de chute en 2030, l'on est parti de l'hypothèseindiquée en [10] , selon laquelle entre 2007 et 2030 le trafic aérien des deux aéroports va augmenter d'env. 160% et les vols de transit jusqu'à 198%. Cette étude ne fait cependant pas apparaître comment des améliorations technologiques pourraient faire baisser la fréquence des chutes d'avion sur la base des mouvements ou par km.

Les distances k des procédures d'approche par rapport au site de l'EKKB,les longueurs l des phases de vol « Approche initiale » (IA), les largeurs de dispersion w des diverses procédures d'approche ainsi que les autres paramètres d'entrée (cf. Tableau 3.3-10 et Tableau 3.3-11) ont été déterminés à l'aide de cartes de tracés de vol des diverses procédures d'approche[14], à partir d'une représentation schématique des plans de vol[15] et avec l'aide de Skyguide. Le nombre de vols (cf. Tableau 3.3-5) a été réparti sur les différentes routes aériennes selon les données figurant dans [7].

[14] www.unique.ch

[15] www.skyguide.ch

Tableau 3.3-10 : Données d'entrée et résultats pour le modèle sans approche coudée par le nord

Domaine / Route	Départ Bâle	Arrivée Bâle	Départ ZH	Desc-ente ZH	IA ZH N-O	IA ZH N-E	IA ZH S-O	IA ZH S-EO	IA ZH Est
Nombre de mouvements aériens N	41012	41012	132078	132117	47531	47531	5988	5988	25079
Taux de chute par mouvement C	1.17E-7	8.10E-8	1.17E-7	1.80E-8	6.30E-8	6.30E-8	6.30E-8	6.30E-8	6.30E-8
Finesse g					17	17	17	17	17
Hauteur de vol initiale IA [km]					2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Hauteur de vol finale IA [km]					1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Hauteur de vol moyenne [km]	3.00	3.00	3.00	3.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Largeur de dispersion w [km]					7	7	6	8	1
Longueur IA [km]					40	60	70	67	65
Surface de chute possible A [km^2]	8167	8167	8167	8167	2192	2880	4886	4945	3666
Hauteur de vol au-dessus de KKB h [km]					1.2	1.0	1.7	1.7	1.6
Distance k [km]					5	12	3	25	20
Fréquence de chute par an et km^2	5.88E-7	4.07E-7	1.89E-6	2.91E-7	2.58E-6	1.54E-6	1.19E-7	4.69E-8	2.36E-7

Tableau 3.3-11 : Données d'entrée et résultats pour le modèle avec approche coudée par le nord

Domaine / Route	Départ Bâle	Arrivée Bâle	Départ ZH	Desc-ente ZH	IA ZH N-O	IA ZH N-E	IA ZH S-O	IA ZH S-EO	IA ZH Est
Nombre de mouvements aériens N	41012	41012	132078	132117	46210	46210		2642	25079
Taux de chute par mouvement C	1.17E-7	8.10E-8	1.17E-7	1.80E-8	6.30E-8	6.30E-8		6.30E-8	6.30E-8
Finesse g					17	17		17	17
Hauteur de vol initiale IA [km]					2.0	2.0		2.0	2.0
Hauteur de vol finale IA [km]					1.0	1.0		0.9	1.0
Hauteur de vol moyenne [km]	3.00	3.00	3.00	3.00	1.50	1.50		1.45	1.50
Largeur de dispersion w [km]					7	7		5	1
Longueur l IA [km]					40	60		35	65
Surface de chute possible A [km^2]	8167	8167	8167	8167	2192	2880		1540	3666
Hauteur de vol au-dessus de KKB h [km]					1.2	1.0		1.0	1.6
Distance k [km]					5	12		3	20
Fréquence de chute par an et km^2	5.88E-7	4.07E-7	1.89E-6	2.91E-7	2.51E-6	1.50E-6	1.66E-7[16]	2.37E-7	2.36E-7

3.3.11.3 Petits avions de la catégorie de poids < 5.7 t (General Aviation)

Les plus proches aérodromes d'où partent des petits avions se situent à Birrfeld (environ 20 km au sud de Beznau) et à Fricktal-Schupfart (environ 23 km au sud-ouest). Les petits avions privés de ces aéroports sont hors des phases de décollage et d'atterrissage lorsqu'ils se trouvent à proximité de Beznau.

Une « Best-Estimate » de la fréquence de chute concernant les petits avions (hors appareils militaires) de la catégorie de poids < 5.7 t est indiquée ci-après. La statistique relative aux accidents des petits avions privés peut être consultée dans les statistiques du Bureau d'enquête sur les accidents d'aviation (BEAA). Dans les années 2004 à 2007 sont à déplorer au total 51 accidents impliquant des petits avions privés. 28 d'entre eux n'ont pas été pris en compte plus avant dans la présente analyse car ils concernent des accidents sur le terrain de l'aérodrome ou des atterrissages forcés réussis. Pour la période 2004-2007 (4 ans), la statistique retient donc 23 accidents avec des petits avions pouvant être pris en compte dans le calcul de la fréquence de chute des petits avions sur le site de Beznau. Les planeurs ne sont pas compris dans cette statistique et de toute manière, la région de Beznau n'est pas propice aux activités de vol à voile (planeurs).

[16] Total des chiffres de IA ZH-S-O et IA ZH-S-E ; voir Tableau 3.3-10

Le taux de chute calculé pour les petits avions en dehors des phases de décollage et d'atterissage se situe donc à 5.8 par an. Cela correspond pour le site de Beznau (la surface du site est estimée à 0.15 km^2) à une fréquence de chute totale pour les petits avions de :

$F_{GA} = (23/4) \cdot (A_{EKKB}/A_{Schweiz}) = 2.09 \cdot 10^{-5}$ par an

Toutefois, le risque occasionné par la chute d'un petit avion est négligeable pour les raisons suivantes :

- Les petits avions présentent une masse réduite en comparaison des gros porteurs
- Leur réservoir a également une capacité moindre
- et la fréquence des vols est négligeable comparée à celle des gros porteurs.

Pour la conception des ouvrages liés à la sécurité par rapport aux conséquences des chutes d'avions, on partira donc d'un type d'aéronef représentatif de la catégorie des gros porteurs (> 20 t). De plus, le calcul prendra également en considération les vitesses et la densité de masse plus élevées des avions militaires.

3.3.11.4 Fréquence de chute d'hélicoptères

Selon [9] , 21 accidents d'hélicoptères au total ont été enregistrés entre 1998 et 2006 (sans les accidents survenus au décollage ou à l'atterrissage). Pour le site de l'EKKB (la surface du terrain est estimée à 0.15 km^2), cela correspond à une fréquence de chute totale pour les hélicoptères de :

$F_{Hélicoptère} = (21/9) \cdot (A_{EKKB}/A_{Suisse}) = 8.48 \cdot 10^{-6}$ par an

3.3.11.5 Aéronefs militaires

Des recherches ont révélé un total de 74 accidents d'aéronefs militaires entre 1975 et 2005. Cette statistique englobe aussi bien des avions que des hélicoptères militaires.

Pour le site de l'EKKB (A_{EKKB} = 0.15 km^2), cela correspond à une fréquence de chute d'aéronefs militaires de :

$F_{Militaire} = (74/31) \cdot (A_{EKKB}/A_{Suisse}) = 8.67 \cdot 10^{-6}$ par an

Il s'agit d'une estimation sous toutes réserves qui part de l'évaluation globale de la la fréquence de chute d'aéronefs militaires sur l'ensemble du territoire suisse. Les espaces aériens des Forces aériennes suisses se trouvent essentiellement dans la zone alpine, dans le Jura et le nord-ouest de la Suisse. Le site de l'EKKB se trouve donc, de fait, dans une zone de fréquence bien inférieure.

3.4 Météorologie et climat

Les données météorologiques importantes pour le site ont été collectées et analysées. Des paramètres climatologiques caractérisant le site en ont été déduits. Ils sont utilisés dans la description d'événements qui peuvent engendrer des accidents. L'on a également dégagé des paramètres spécifiques au site qui s'avèrent nécessaires à la conception des bâtiments et composants assurant la sécurité.

Le chapitre 3.4.1 récapitule les données recueillies. La méthode permettant de déduire des événements sur plusieurs années fait l'objet du chapitre 3.4.2. Pour sa part, le chapitre 3.4.4 expose de manière comparative les données des divers sites dans le but de prolonger celles du site de Beznau. Le chapitre 3.4.5 présente les données météorologiques ainsi que les paramètres climatologiques que l'on en a dégagé. Ces chapitres sont suivis du traitement des événements extérieurs, de l'évaluation des caractéristiques du site et des conséquences pour la conception de l'installation.

3.4.1 Saisie des données météorologiques

Aux fins de clarifier les conditions météorologiques sur le site et dans la région, les données de plusieurs stations météorologiques ont été rassemblées et garanties au niveau de la qualité par MétéoSuisse. Les stations intéressantes pour le site ont été définies en concertation avec MétéoSuisse. MétéoSuisse a préparé les données et en a vérifié la qualité. Les données météorologiques ont été analysées au moyen du système Meteotest et les paramètres climatologiques correspondants ont été calculés.

Les stations suivantes ont été prises en considération :

- Centrale nucléaire de Beznau (KKB)
- Centrale nucléaire de Leibstadt (KKL)
- Institut Paul Scherrer (PSI)
- Buchs (canton AG)
- Bâle.

Le Tableau 3.4-1 donne une vue d'ensemble sur les données utilisées. Les données disponibles sont indiquées avec la date de début de la série. Les séries de données sans indication correspondent à des séries réalisées jusqu'à fin 2007.

Les données journalières, mensuelles et annuelles ci-après provenant de Bâle renseignent sur les périodes de 1865 à 1980 :

- Températures journalières de l'air : moyennes, minimales, maximales moyenne journalière des précipitations, de l'humidité relative de l'air, de la pression atmosphérique et de la vitesse du vent
- La station de Bâle a fourni en outre les températures journalières minimales et maximales de l'air sur1981-2007
- Données relatives à la fréquence annuelle et mensuelle de la foudre de 2000 à 2007. Ces données proviennent de Météorage.

Les données relatives à la fréquence de la grêle au cours des 50 dernières années peuvent être consultées auprès de la compagnie « Société suisse d'assurance contre la grêle » [Hagel-Versicherungs-Gesellschaft]

- Les données concernant les tornades et les vents violents peuvent être consultées sur les pages Internet suivantes :
  http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_Wetterereignissen_in_Europa ;
  http://www.tordach.org/ch/ et http://www.sturmarchiv.ch/.

Tableau 3.4-1 : Stations et paramètres utilisés

	Beznau	Leibstadt	PSI	Buchs	Bâle
Résolution temporelle	10 min	10 min	10 min	1 h	1 h
Température 2 m 10 m 40 m 60 m 70 m 110 m	 NE 01.02.1987 01.02.1987 NE 01.02.1987 NE	 NE 01.02.1987 NE 01.02.1987 NE 01.02.1987	 15.01.1992 NE NE NE 15.01.1992 NE	 23.05.1984 NE NE NE NE NE	 01.01.1981 NA NA NA NA NA
Température au thermomètre mouillé 2 m 10 m 40 m 60 m 70 m 110 m	 NE NE NE NE NE NE	 NE NE NE NE NE NE	 NE NE NE NE NE NE	 23.05.1984 NE NE NE NE NE	 01.01.1981 NE NE NE NE NE
Humidité relative	NE	2002-2006	NE	23.05.1984	01.01.1981
Pression atmosphérique	NE	NE	NE	23.05.1984	01.01.1981
Vitesse et direction du vent 10 m 16 m 40 m 60 m 70 m 110 m	 01.02.1987 NE NE NE 01.02.1987 NE	 01.02.1987 NE NE NE NE 01.02.1987	 NE NE NE NE 15.01.1992 NE	 23.05.1984 NE NE NE NE NE	 NE 01.01.1981 NE NE NE NE
Vents violents 10 m 16 m 40 m 60 m 70 m 110 m	 NE NE NE NE NE NE	 01.02.1987 NE NE NE NE 01.02.1987	 NE NE NE NE 15.01.1992 NE	 23.05.1984 NE NE NE NE NE	 NE 01.01.1981 NE NE NE NE
Précipitations	12.10.1988	11.10.1988	15.01.1992	23.05.1984	01.01.1981
Neige	NE	NE	NE	01.07.1984	01.01.1931
Rayonnement solaire	NE	NE	NE	01.06.1984	01.01.1981

NE signifie : paramètre de mesure non enregistré ou non utilisé.

À Leibstadt, la température est enregistrée par deux capteurs. Les séries de données issues des deux capteurs n'enregistrant aucune différence significative, seules les données du capteur 1 ont été exploitées dans les statistiques S1 à S10.

Le Tableau 3.4-71 dresse la liste des paramètres exploités qui servent à décrire et analyser les caractéristiques climatologiques du site et les accidents externes. Ces paramètres ont été fixés en collaboration avec MétéoSuisse.

3.4.2 Méthodes

Les méthodes de comparaison des sites et de détermination d'événements sur plusieurs années (p. ex. centenaires, bicentenaires) sont résumées au chapitre 3.4.10.

L'objectif de la comparaison des sites est de projeter la série de données relatives à Beznau à l'aide d'autres séries de données plus étendues. La comparaison a été réalisée au moyen d'une analyse corrélative et d'une régression linéaire.

La détermination d'événements sur plusieurs années (50 ans, 100 ans, 200 ans) a été effectuée à l'aide de la répartition des valeurs extrêmes GEV (Generalized Extreme Value).

3.4.3 Séries chronologiques

Les séries de données analysées dans le présent rapport sont présentées dans le Tableau 3.4-1. La résolution temporelle pour les séries chronologiques des sites de Beznau, du PSI et de Leibstadt porte sur des intervalles de 10 minutes. Les valeurs moyennes horaires pour les paramètres « Vent » et « Températures » ainsi que les sommes horaires des précipitations ont été calculées sur cette base. Les valeurs horaires ont été formées à partir des intervalles de 10 minutes (*:10 à *:00 minutes) de manière à pouvoir calculer la moyenne ou la somme, d'une heure pleine à l'autre. À l'Office fédéral de météorologie et climatologie MétéoSuisse, la valeur horaire est formée à partir d'intervalles de *:50 à *:40 minutes. Les deux processus sont équivalents, mais fournissent des valeurs différentes dans la détermination des valeurs records. Ce contenu est illustré plus précisément dans le Tableau 3.4-2 à l'aide des données de Beznau concernant le vent. Dans ce tableau, les valeurs horaires moyennes mensuelles sont représentées pour trois variantes de la formation des valeurs horaires.

Tableau 3.4-2 : Valeurs horaires maximales de la vitesse du vent par mois. Formation des valeurs horaires à différentes périodes à l'exemple du site de Beznau (altitude : 10 m au-dessus du niveau de la mer) entre 1988 et 2007 (unité : [m/s])

Période	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
:10-:00	7.8	7.5	7.9	7.7	7.8	7.5	7.2	6.8	6.6	7.8	5.9	6.8	7.9
:30-:20	7.9	7.6	7.8	7.5	8.2	6.9	7.3	7.0	6.9	8.1	6.1	7.4	8.2
:50-:40	8.0	7.4	7.5	7.5	8.0	7.1	7.2	6.6	6.8	8.4	5.9	7.3	8.4

En cas de précipitations, les sommes journalières ont été formées à partir des valeurs horaires de 1:00 à 00:00 UTC, ce qui représente la somme enregistrée de minuit à minuit à partir de laquelle des sommes journalières sur 5 jours ont été calculées à leur tour d'après 5 valeurs journalières consécutives.

Les valeurs horaires utilisées pour l'analyse des séries chronologiques concernant Bâle et Buchs ont été obtenues grâce au système chronologiquede MétéoSuisse (*:50-*:40).

3.4.4 Comparaison des différents sites

Les valeurs journalières des différents sites ont été comparées, pour un cas éventuel d'occurrence de séries de mesures parallèles dans le but de prolonger la série de données concernant Beznau, ce qui augmente et renforce la pertinence des analyses des valeurs extrêmes.

Les paramètres de la comparaison $Lieu_1$ - $Lieu_2$ ont été calculés et reproduits dans les tableaux ci-après :

a Moyennes : Ecart moyen $Lieu_1$ - $Lieu_2$.

b Heure(s) : Ecart standard ($Lieu_1$ - $Lieu_2$)

c R^2 : Coefficient de détermination (carré des coefficients de corrélation)

d A, B : Paramètres tirés de la régression linéaire qui peuvent être utilisés dans l'équation $Lieu_2 = A+B \cdot Lieu_1$

e N : Nombre de valeurs utilisées

Où : $Lieu_1$ - $Lieu_2 > 0$ signifie que le $Lieu_1$ présente des valeurs plus élevées.

Tableau 3.4-3 : Écarts entre Bâle et Buchs, de 1984 à 2005

Paramètres	Moyenne	Heure(s)	R^2	A	B	N
Température	0.84 °C	1.00 °C	0.981	-0.803	0.997	7893
Température au thermomètre mouillé	0.55 °C	0.70 °C	0.989	-0.636	1.010	7893
Vitesse du vent	0.93 m/s	0.77 m/s	0.566	0.023	0.611	7890
Précipitations	-0.55 mm	4.56 mm	0.468	0.961	0.820	7893
Humidité relative	-2.75%	5.63%	0.723	18.853	0.786	7893

Tableau 3.4-4 : Écarts de température par mois entre Bâle et Buchs, de 1984 à 2005

Mois	Moyenne	Heure(s)	A	B
Janvier	1.05 °C	1.29 °C	-0.836	0.872
Février	1.28 °C	1.25 °C	-0.918	0.873
Mars	1.16 °C	0.91 °C	-0.665	0.928
Avril	0.87 °C	0.91 °C	-0.018	0.913
Mai	0.43 °C	0.84 °C	0.516	0.934
Juin	0.50 °C	0.70 °C	-0.041	0.973
Juillet	0.59 °C	0.76 °C	1.082	0.914
Août	0.79 °C	0.75 °C	0.976	0.909
Septembre	0.76 °C	0.87 °C	0.625	0.908
Octobre	0.91 °C	0.98 °C	-0.135	0.930
Novembre	0.90 °C	0.98 °C	-0.460	0.918
Décembre	0.89 °C	1.27 °C	-0.495	0.857

Tableau 3.4-5 : Écarts de température au thermomètre mouillé par mois entre Bâle et Buchs, de 1984 à 2005

Mois	Moyenne	Heure(s)	A	B
Janvier	0.46 °C	0.95 °C	-0.515	0.964
Février	0.52 °C	0.85 °C	-0.574	0.945
Mars	0.23 °C	0.79 °C	-0.202	0.980
Avril	0.21 °C	0.85 °C	0.052	0.931
Mai	0.32 °C	0.81 °C	0.011	0.962
Juin	0.21 °C	0.83 °C	0.700	0.921
Juillet	0.22 °C	0.78 °C	0.489	0.947
Août	0.11 °C	0.78 °C	0.808	0.932
Septembre	0.29 °C	0.66 °C	0.142	0.961
Octobre	0.36 °C	0.63 °C	-0.068	0.963
Novembre	0.45 °C	0.72 °C	-0.388	0.975
Décembre	0.41 °C	0.83 °C	-0.418	0.957

Tableau 3.4-6 : Écarts entre Bâle et Beznau, de 1987 à 2005

Paramètre	Moyenne	Heure(s)	R^2	A	B	N
Température	0.67 °C	0.98 °C	0.982	-0.473	0.982	6895
Vitesse du vent	1.16 m/s	0.84 m/s	0.482	0.400	0.358	6791
Précipitations	-0.39 mm	4.45 mm	0.445	1.012	0.729	6292

Tableau 3.4-7 : Écarts entre Buchs et Beznau, de 1987 à 2005

Paramètres	Moyenne	Heure(s)	R^2	A	B	N
Température	-0.20 °C	0.56 °C	0.994	0.395	0.980	6895
Vitesse du vent	0.25 m/s	0.56 m/s	0.678	0.477	0.520	6791
Précipitations	0.14 mm	3.61 mm	0.666	0.551	0.754	6292

Tableau 3.4-8 : Écarts entre Buchs et Leibstadt, de 2002 à 2006

Paramètres	Moyenne	Heure(s)	R^2	A	B	N
Température	-0.10 °C	0.67 °C	0.991	0.145	0.996	6892
Vitesse du vent	-0.29 m/s	0.74 m/s	0.550	0.503	0.863	6892
Précipitations	0.33 mm	4.36 mm	0.540	0.555	0.691	6909

Tableau 3.4-9 : Écarts entre le PSI et Beznau, de 1992 à 2005

Paramètres	Moyenne	Heure(s)	R^2	A	B	N
Température	-0.26 °C	0.30 °C	0.998	0.181	1.008	5100
Vitesse du vent 70 m ü.B.	0.25 m/s	0.65 m/s	0.809	0.513	0.684	4974
Précipitations	0.15 mm	1.63 mm	0.926	0.082	0.920	5100

En ce qui concerne la température et la température mesurée au thermomètre à bulbe humide (ci-après température de bulbe humide), la comparaison entre tous les sites montre une relation linéaire nette ainsi que des coefficients de précision élevés. Ces valeurs sont plus basses quant à la vitesse du vent et aux précipitations. C'est pourquoi les séries de données relatives à la température et à la température de bulbe humide entre les stations ont été élargies avec les équations linéaires $Lieu_2 = A+B \cdot Lieu_1$. Cette marche à suivre n'a pas été employée pour la vitesse du vent et les précipitations. La comparaison entre le PSI et Beznau constitue une exception, avec une corrélation élevée dans les précipitations.

3.4.5 Analyse climatologique des données

Les données ont été exploitées en relation avec la piste des paramètres figurant au chapitre 3.4.9.

3.4.5.1 Température de l'air

Maxima et minima historiques (statistique S1)

Tableau 3.4-10 : Maxima historiques des températures

Lieu / Localité	Période	Maximum (année)
Bâle	1865 - 1980	39.0 °C (1952)
Bâle	1981 - 2007	Moyenne sur 10-min
Beznau à 10 m du sol	1987 - 2007	37.5 °C (2003)
Beznau à 70 m du sol	1987 - 2007	36.9 °C (2003)
Leibstadt capteur 1	1987 - 2007	37.8 °C (2003)

Tableau 3.4-11 : Minima historiques des températures

Lieu / Localité	Période	Minimum (année)
Bâle	1865 - 1980	-24.1 °C (1942)
Bâle	1981 - 2007	Moyenne sur 10-min
Beznau à 10 m du sol	1987 - 2007	-13.4 °C (2005)
Beznau à 70 m du sol	1987 - 2007	-13.6 °C (2005)
Leibstadt capteur 1	1987 - 2007	-13.3 °C (1991)

Jusqu'à l'introduction des systèmes de mesure automatiques en 1978, les températures minimales et maximales étaient enregistrées à Bâle. Après cette date, l'on applique la moyenne la plus élevée / la plus basse sur 10 min pour les valeurs extrêmes. L'on assume que la moyenne sur 10 min se différencie peu des minima et maxima absolus. Une comparaison avec la statistique S3 indique une différence maximale de 1.2 °C entre la valeur horaire moyenne et la valeur absolue extrême. C'est pourquoi aucune donnée sur les températures extrêmes n'est indiquée ici pour Buchs.

Remarque concernant la statistique S1, Tableau 3.4-11. Les différentes températures minimales absolues entre Beznau (1987-2007) et Bâle (1981-2007), avec une différence de 10 °C, sont trompeuses. La série de données pour Beznau débute le 1.2.1987. À partir de cette date, les données de Bâle ne mesurent plus qu'une température minimale de moins 15.0 °C, mais le mois précédent (janvier 1987), p. ex., il faisait en dessous de -23 °C à Bâle.

Valeurs les plus hautes / les plus basses au cours des différents mois (statistique S2)

Tableau 3.4-12 : Bâle, 1865-1980, températures max / min [°C]

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-24.1	-23.8	-14.8	-6.3	-2.7	1.1	5.1	3.6	-1.3	-5.6	-11.0	-24.0	-24.1
Max	18.7	22.0	24.5	30.5	33.5	38.4	39.0	38.7	35.0	29.2	22.0	20.6	39.0

Tableau 3.4-13 : Bâle, 1981-2007, moyenne températures max / min sur 10-min [°C]

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-23.3	-15.8	-14.7	-4.3	-0.3	3.7	7.4	6.0	2.3	-4.8	-9.4	-15.0	-23.3
Max	19.0	21.4	25.2	27.7	30.8	35.9	38.4	38.6	30.8	29.6	19.8	20.1	38.6

Tableau 3.4-14 : Beznau, à 10 m du sol, 1987-2007, moyenne températures max / min sur 10-min [°C]

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-12.4	-13.3	-13.4	-2.7	0.9	3.4	7.5	6.0	1.6	-4.7	-9.8	-12.5	-13.4
Max	19.1	18.6	24.1	27.2	30.7	35.9	35.8	37.5	29.2	25.5	18.7	17.7	37.5

Tableau 3.4-15 : Beznau à 70 m du sol, 1987-2007, moyenne températures max / min sur 10-min [°C]

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-12.8	-12.9	-13.6	-2.8	0.4	3.4	7.1	5.7	1.3	-4.9	-10.1	-13.1	-13.6
Max	19.0	18.3	23.4	26.5	30.1	34.6	35.4	36.9	29.1	25.0	18.0	17.4	36.9

Tableau 3.4-16 : Leibstadt capteur 1, à 110 m du sol, 1987-2007, moyenne températures max / min sur 10-min [°C]

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-13.2	-13.3	-13.3	-2.4	0.4	3.4	7.5	5.7	-5.8	-4.6	-11.1	-13.2	-13.3
Max	18.5	18.7	24.2	27.8	31.0	35.9	35.9	37.8	29.3	26.1	18.6	19.0	37.8

Valeurs horaires moyennes les plus hautes / les plus basses (statistique S3)

Tableau 3.4-17 : Bâle, 1981-2007, valeur horaire moyenne la plus basse / la plus haute de la température [°C]

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-22.1	-14.8	-13.7	-4.1	0.1	4.0	7.9	6.5	2.7	-4.6	-8.9	-14.6	-22.1
Max	18.8	21.0	24.8	27.3	30.5	35.3	37.7	38.0	30.5	29.3	19.5	19.5	38.0

Tableau 3.4-18 : Buchs, 1984-2007, valeur horaire moyenne la plus basse / la plus haute de la température [°C]

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-23.0	-14.9	-15.2	-5.7	0.4	3.5	6.2	4.1	0.7	-5.6	-10.4	-14.6	-23.0
Max	15.0	17.9	23.4	26.7	31.0	35.8	35.7	36.5	30.9	26.2	18.1	15.2	36.5

Tableau 3.4-19 : Beznau, à 10 m du sol, 1987-2007, valeur horaire moyenne la plus basse / la plus haute de la température [°C]

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-12.2	-13.0	-13.1	-2.5	1.1	3.6	7.6	6.2	1.8	-4.5	-9.6	-12.4	-13.1
Max	17.9	18.0	23.9	27.0	30.2	35.4	35.6	37.1	29.1	25.3	18.4	17.3	37.1

Tableau 3.4-20 : Beznau, à 70 m du sol, 1987-2007, valeur horaire moyenne la plus basse / la plus haute de la température [°C]

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-12.5	-12.6	-13.5	-2.6	0.5	3.6	7.2	6.0	1.5	-4.8	-9.8	-13.0	-13.5
Max	17.8	17.6	23.4	26.5	30.0	34.4	35.0	36.5	28.8	24.8	17.9	16.8	36.5

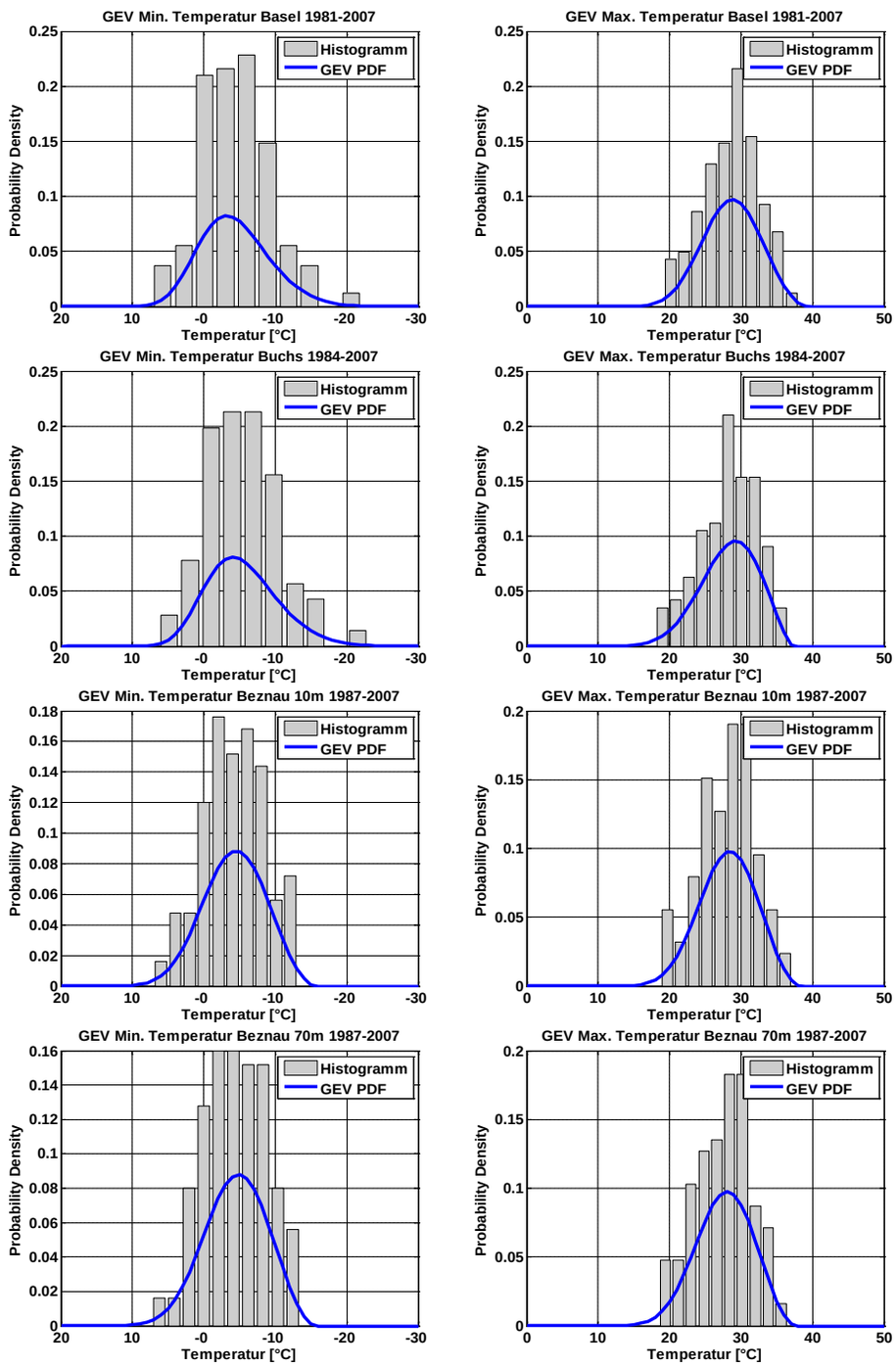
Tableau 3.4-21 : Leibstadt capteur 1, 1987-2007, valeur horaire moyenne la plus basse / la plus haute de la température [°C]

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-12.9	-13.2	-13.1	-2.3	0.7	3.5	7.8	5.9	1.3	-4.4	-10.9	-12.8	-13.2
Max	17.8	18.6	23.8	27.1	30.4	35.4	35.7	37.1	29.1	25.9	18.4	18.6	37.1

Les valeurs moyennes journalières et mensuelles ainsi que moyennes mensuelles des températures maximales et minimales sont résumées au chapitre 3.4.11.

GEV des moyennes horaires les plus hautes / les plus basses avec des valeurs sur 100 ans (statistique S10) :

Fig. 3.4-1 : Répartition GEV des températures pour Bâle de 1981 à 2007, Buchs de 1984 à 2007 et Beznau de 1987 à 2007 basée sur la moyenne horaire mensuelle la plus basse (à gauche) et la plus haute (à droite) de la température [°C]



La série de données étant relativement succincte, les statistiques des extrêmes de la statistique S10 reposent sur les maxima mensuels des valeurs horaires. La répartition saisonnière des maxima mensuels est bimodale. C'est pourquoi la statistique destinée à déterminer les températures minimales ne tient compte que du semestre d'hiver (d'octobre à mars) et celle pour les températures maximales ne retient que le semestre d'été (d'avril à septembre).

Les périodes de retour du Tableau 3.4-23 sont à considérer avec prudence car, en raison du changement climatique, la statistique subira certainement des modifications notables au cours du 21e siècle ; à ce sujet, voir également chapitre 3.4.5.10.

Si les mesures avaient déjà commencé en janvier 1987 et non en février seulement à Beznau, la statistique des extrêmes aurait été très différente. En janvier 1987, les températures ont chuté sous -20 °C dans la région.

Tableau 3.4-22 : Paramètres de la répartition GEV

Paramètres	Bâle 1981-2007 min	Bâle 1981-2007 max	Buchs 1984-2007 min	Buchs 1984-2007 max
k	-0.1587	-0.3277	-0.1448	-0.4239
☐	4.5203	4.0269	4.6009	4.2794
μ☐	2.4146	27.2643	3.3673	27.1079

Paramètres	Beznau 10 m 1987-2007 min	Beznau 10 m 1987-2007 max	Beznau 70 m 1987-2007 min	Beznau 70 m 1987-2007 max
k	-0.3433	-0.3523	-0.3555	-0.3626
☐	4.4430	4.0354	4.4915	4.0641
μ☐	2.7848	26.8074	3.0244	26.3506

Tableau 3.4-23 : Moyenne horaire attendue la plus basse (tableau du haut) / la plus haute (tableau du bas) de la température [°C] pour Bâle, Buchs et Beznau pour différentes périodes de retour. L'intervalle de confiance de 95% est indiqué entre les crochets.

Période de retour	Bâle	Buchs	Beznau 10 m	Beznau 70 m
50 J (J = an]	-19.4 [-14.3 ;-26.2]	-21.2 [-15.5 ;-29.2]	-13.9 [-9.6 ;-20.2]	-14.0 [-9.8 ;-20.2]
100 J	-20.6 [-15.0 ;-28.3]	-22.6 [-16.3 ;-31.6]	-14.3 [-9.8 ;-21.2]	-14.4 [-10.0 ;-21.1]
200 J	-21.7 [-15.6 ;-30.3]	-23.8 [-16.9 ;-34.0]	-14.6 [-9.9 ;-22.0]	-14.6 [-10.0 ;-21.8]
1000 J	-23.7 [-16.6 ;-34.6]	-26.1 [-18.0 ;-39.1]	-	-
10000 J	-25.9 [-17.6 ;-39.7]	-28.7 [-19.0 ;-45.6]	-	-

Période de retour	Bâle	Buchs	Beznau 10 m	Beznau 70 m
50 J	37.7 [34.5 ;41.9]	36.3 [33.3 ;40.3]	36.7 [33.4 ;41.3]	36.1 [32.8 ;40.6]
100 J	38.0 [34.7 ;42.6]	36.5 [33.4 ;40.7]	37.1 [33.5 ;41.9]	36.5 [33.0 ;41.3]
200 J	38.3 [34.8 ;43.2]	36.7 [33.5 ;41.1]	37.3 [33.7 ;42.5]	36.7 [33.1 ;41.8]
1000 J	38.8 [35.1 ;44.2]	37.0 [33.6 ;41.7]	37.7 [33.8 ;43.4]	37.1 [33.2 ;42.7]
10000 J	39.2 [35.2 ;45.2]	37.1 [33.6 ;42.1]	38.0 [33.9 ;44.3]	37.4 [33.3 ;43.4]

Les plus longues périodes de retour des basses températures de Beznau ont été écartées. Les périodes de retour de 50 à 200 ans montrent déjà des valeurs de température nettement plus élevées qu'à Bâle et Buchs, ce qui est dû au fait que des températures aussi basses n'ont plus jamais été relevées pendant la période de mesure. Dans le mois qui a précédé le début des mesures, les températures sont descendues en dessous de -20 °C dans la région. Cette valeur serait déjà considérée comme événement de 20 ans dans la série de mesures relatives à Beznau.

Les valeurs avec une durée de récurrence de 100 à 200 ans peuvent être prises en compte dans la détermination des températures devant être nécessairement connues pour la conception des bâtiments, des systèmes et des composants. Les conséquences possibles de changements climatiques doivent également être examinées. Comparées à d'autres pays, ces valeurs ne sont pas extrêmes et n'engendreront par conséquent aucune difficulté lors de la conception. L'utilisation des valeurs avec de plus longues périodes de retour sera fixée dans le cadre de la demande de l'autorisation de construire. Il ne faut pas s'attendre à ce que des températures plus basses ou plus élevées soient considérées comme événements déclencheurs d'accidents. En cas de hausse (ou de baisse) des températures, l'on disposerait du temps nécessaire à l'introduction de contre-mesures.

3.4.5.2 Température de bulbe humide humidité relative et risque de givre

Répartition sur une année entière (statistique P4)

La température debulbe humide et l'humidité relative sont importantes pour évaluer le risque de givre. Il existe des données pour les sites de Bâle, Buchs et Leibstadt qui sont résumées aux Fig. 3.4-2 et Fig. 3.4-3.

Fig. 3.4-2 : Répartition normalisée de la température de bulbe humide pendant la période de 1987 à 2007 pour Bâle (en bleu) et Buchs (en vert)

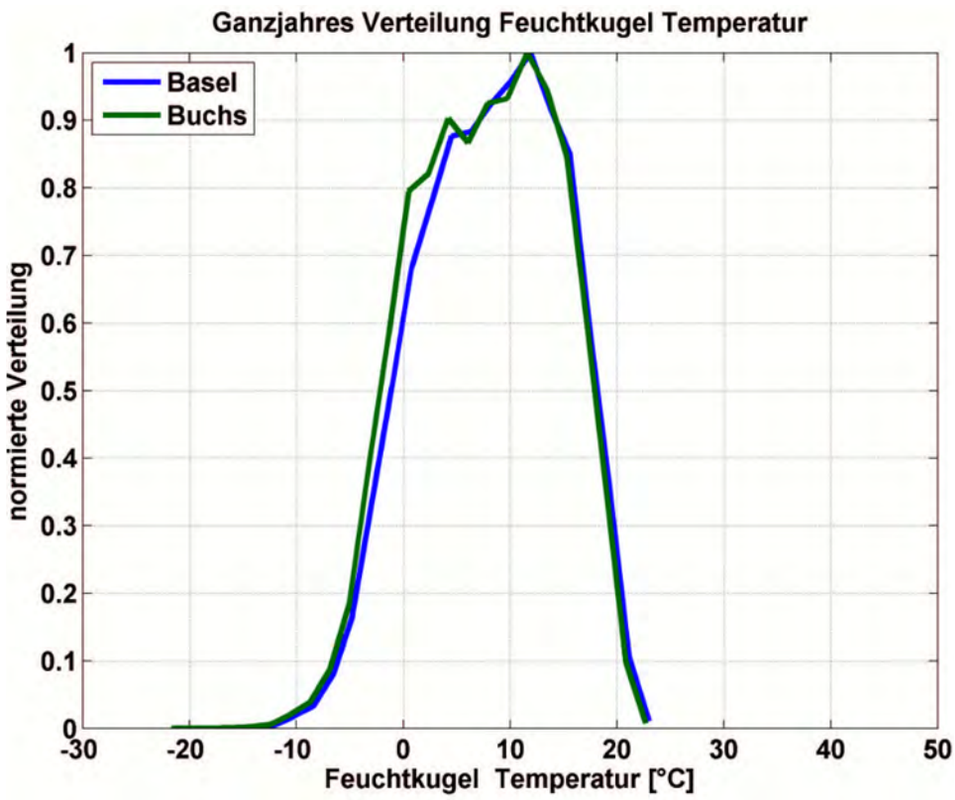
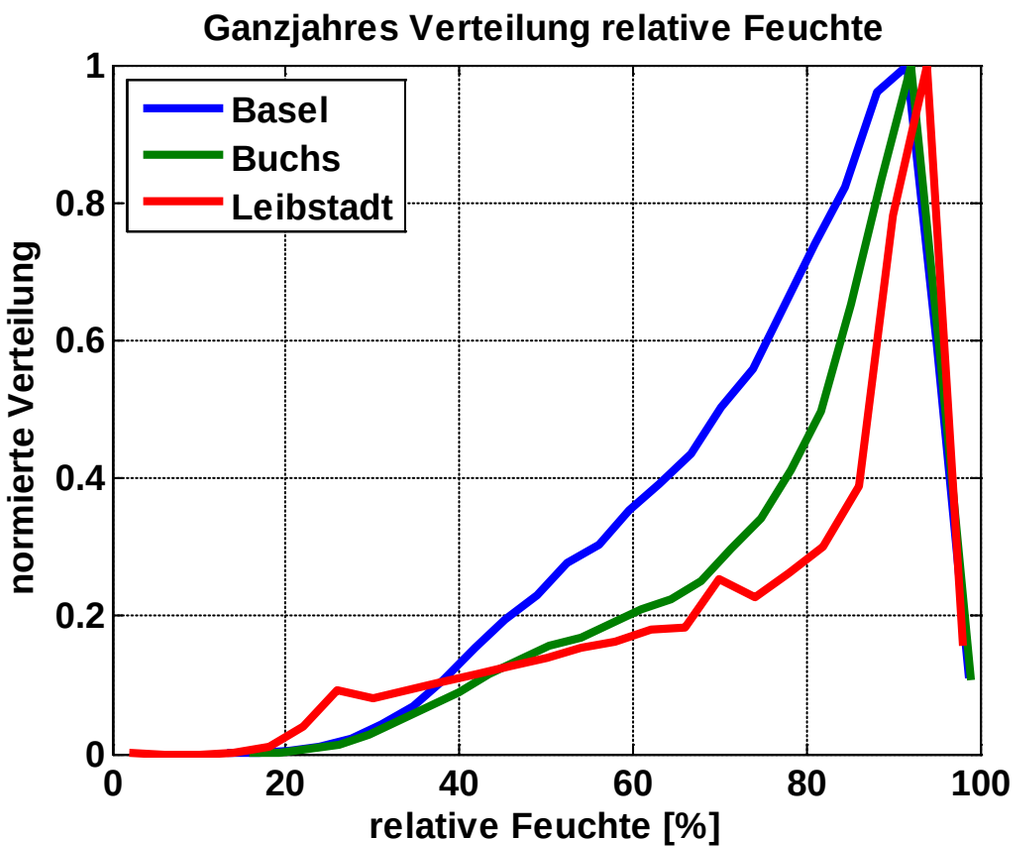


Fig. 3.4-3 : Répartition normalisée de l'humidité relative pendant la période de 1987 à 2007 pour Bâle et Buchs et pendant la période de 2002 à 2006 pour Leibstadt



La répartition sur une année entière (Fig. 3.4-3) montre une augmentation des valeurs pour toutes les stations dans la plage des 92 à 96%. Une saturation (humidité rel. = 100%) sur le point de mesure a lieu assez rarement. La saturation se produit dans l'atmosphère, à quelques centaines de mètres au-dessus du sol. La raison pour laquelle l'on constate un relevé plus important dans la plage des 92-96% à Leibstadt qu'à Buchs et Bâle réside dans le fait que le site se trouve au bord de la rivière. Ainsi, Beznau doit plutôt être comparé avec Leibstadt qu'avec Buchs (AG). Les deux sites sont proches l'un de l'autre et se trouvent à proximité immédiate de l'Aar ou du Rhin.

La température / les valeurs de la température de bulbe humide indiquent une répartition typique pour la Suisse. D'autres régions de l'Europe centrale sont soumises à de plus fortes influences maritimes ou continentales.

Givre provenant de l'air (statistique S11)

Deux conditions ont été prises en compte pour évaluer le danger d'un givrage des installations (composants ou bâtiments en relation mécanique avec l'air) :

- Température entre -5 °C et 0
- Humidité relative de l'air > 90%

Les tableaux ci-après indiquent les chiffres pour le nombre d'heures par mois ou la fréquence par mois de l'occurrence de ces phénomènes. Il s'agit ici du givre issu d'un nuageou du brouillard (in-cloud icing), quoique le risque d'un givre issu d'un nuage soit plus élevé puisque le ratio quantité/volume d'eau y est plus important.

Tableau 3.4-24 : Nombre d'heures de risque d'un givrage par mois [h]

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Bâle	53	41	11	1	0	0	0	0	0	2	25	54
Buchs	58	65	23	4	0	0	0	0	0	5	31	65
Leibstadt	97	82	41	8	0	0	0	0	0	9	34	88

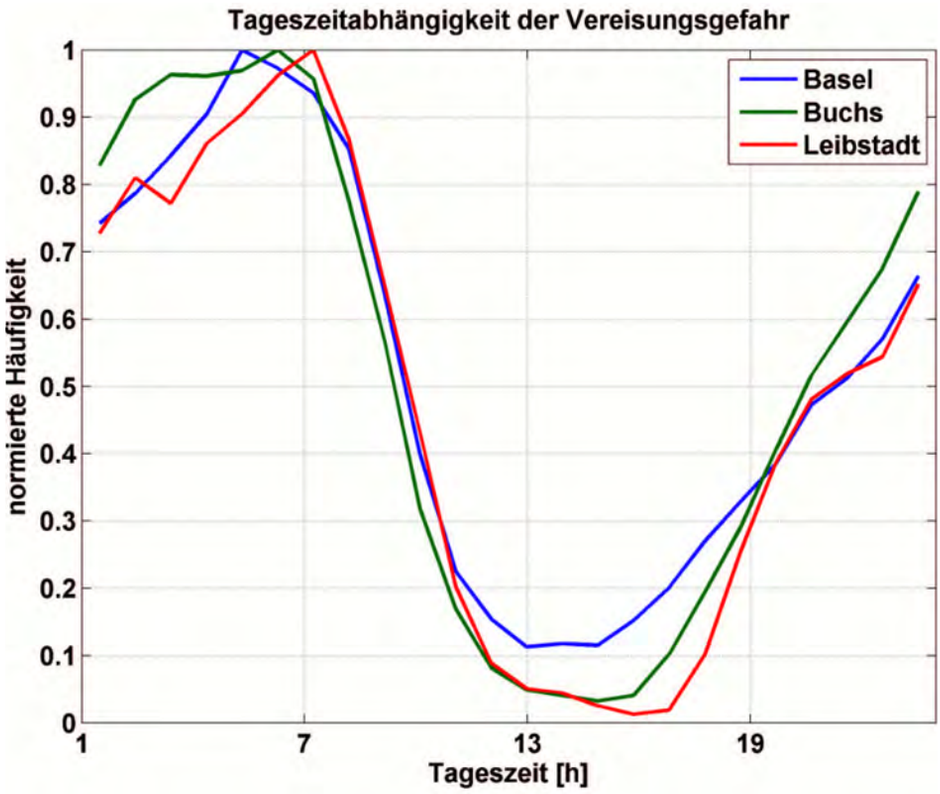
Tableau 3.4-25 : Pourcentages de risque d'un givrage par mois []

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Bâle	7	6	1	0	0	0	0	0	0	0	4	7
Buchs	8	10	3	1	0	0	0	0	0	1	4	9
Leibstadt	13	12	6	1	0	0	0	0	0	1	5	12

Tableau 3.4-26 : Pourcentages sur l'année de risque d'un givrage [%]

Bâle	Buchs	Leibstadt
2.1	2.9	4.1

Fig. 3.4-4 : Répartition du risque de givrage en fonction de l'heure de la journée



On peut s'attendre à un givrage potentiel de la fin de l'automne au printemps avec une fréquence d'apparition pouvant atteindre 13%. Toutefois, même si dans ces conditions, on n'aura pas forcément à faire face à une situation de givre. Le risque de givre évolue au cours de la journée avec un maximum aux premières heures de la matinée.

La situation locale de Beznau peut être comparée avec celle de Leibstadt car les deux lieux sont très proches l'un de l'autre et se trouvent directement au bord de l'Aar ou du Rhin. L'humidité relative y est globalement similaire.

Le potentiel de givrage sera pris en considération dans la conception des composants en relation mécanique avecl'air. L'air est transporté mécaniquement aux bouches d'aspiration des installations de ventilation et aux cellules de refroidissement à ventilation mécanique. Pour les autres composants ou ouvrages (p. ex. lignes aériennes), pour qu'il y ait givrage, il faut l'intervention du vent et donc la fréquence de givrage est moindre.

La situation en vallée de Beznau signifie une fréquence relativement haute de périodes présentant un risque potentiel de givre.

3.4.5.3 Pression atmosphérique

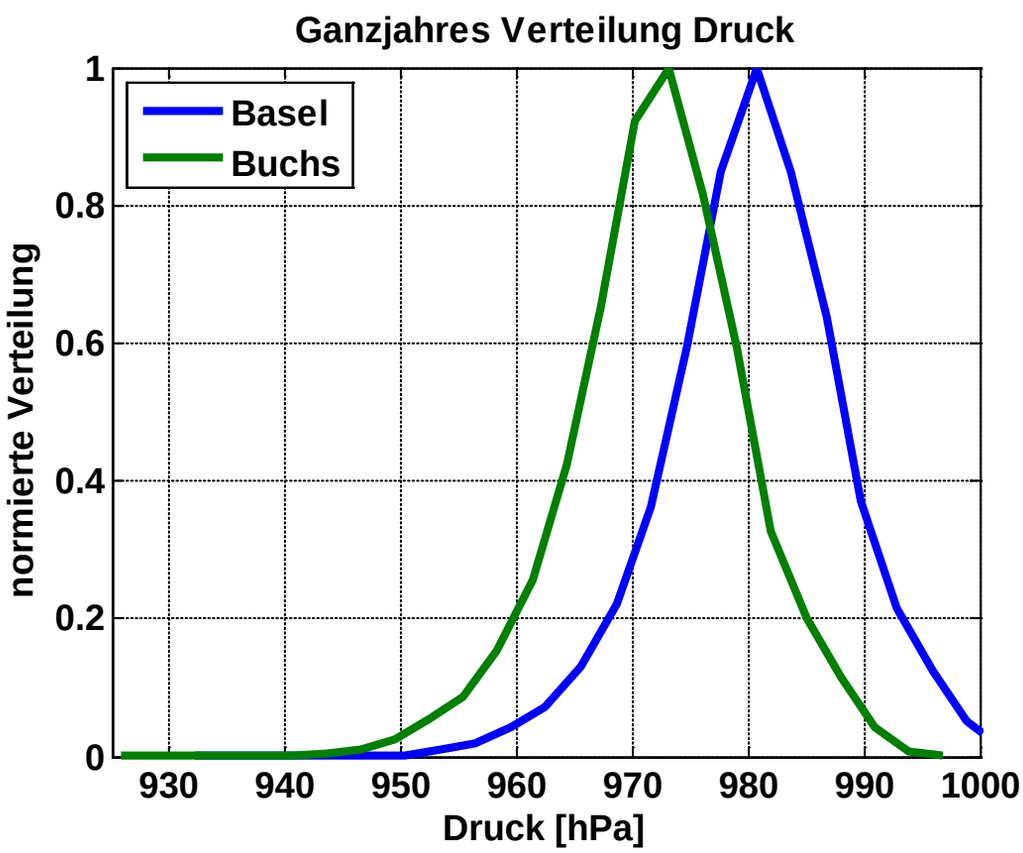
Minima et maxima historiques (statistique S12)

Tableau 3.4-27 : Pressions atmosphériques maximales / minimales historiques

Lieu / Localité	Période	Maximum (année)	Minimum (année)
Bâle	1865-1980	1012 hPa (1882)	938 hPa (1976)
Bâle	1981-2007	1007 hPa (1993)	931 hPa (1992)
Buchs	1984-2007	998 hPa (1990)	924 hPa (1989)

La station de Buchs montre des valeurs légèrement inférieures à celles de Bâle et de Leibstadt. La pression atmosphérique dépend de l'altitude de la station de mesure. Les lieux situés à la même altitude au-dessus du niveau de la mer enregistrent des pressions identiques. Buchs se trouve à une altitude légèrement supérieure aux deux autres lieux et présente donc généralement des pressions atmosphériques plus basses.

Fig. 3.4-5 : Rrépartition normalisée de la pression atmosphérique pour Bâle et Buchs sur la période de 1987 à 2007



La station de Buchs présente des valeurs légèrement inférieures à celles de Bâle. La pression atmosphérique dépend de l'altitude de la station de mesure. Les lieux situés à la même altitude au-dessus du niveau de la mer enregistrent des pressions identiques. Buchs se trouve à une altitude légèrement supérieure à celle de Bâle.

La pression atmosphérique ne représente aucun danger pour une installation nucléaire. Selon les circonstances, il peut s'avérer nécessaire de déterminer les valeurs extrêmes de la pression ambiante lors de la conception des installations de ventilation afin d'assurer une dépression du local par rapport à la pression ambiante, de dimensionner des cheminées d'évacuation ou de concevoir des pressuriseurs.

La pression atmosphérique absolue est également utilisée pour la validation de données de process du circuit primaire du réacteur qui ne relèvent pas de la sécurité.

3.4.5.4 Vents violents, vitesse et rose des vents

Vents violents maximaux historiques (statistique S13)

Tableau 3.4-28 : Vents violents maximaux historiques

Lieu / Localité	Période	Maximum (année)
Bâle (à 16 m du sol)	1981-2007	40.9 m/s (1999)
Buchs (à 10 m du sol)	1984-2007	27.1 m/s (1990)
Leibstadt (à 10 m du sol)	1987-2007	29.6 m/s (1999)
Leibstadt (à 110 m du sol)	1987-2007	38.4 m/s (1999)
PSI (à 70 m du sol)	1992-2007	32.1 m/s (1999)

Vents violents passagers maximaux (statistique S14)

Tableau 3.4-29 : Vents violents maximaux mensuels à Bâle, entre 1981 et 2007 à 16 m du sol, à Buchs entre 1984 et 2007 à 10 m du sol, à Leibstadt entre 1987 et 2007 à 10 et 110 m du sol et au PSI entre1992 et 2007 à 70 m du sol [m/s]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Ann.
Bâle 16 m	40.3	38.6	38.3	31.1	26.9	30.3	26.1	31.8	26.5	33.7	34.4	40.9	40.9
Buchs 10 m	26.2	27.1	25.0	22.4	21.1	21.0	23.9	25.7	23.9	25.2	24.6	25.3	27.1
Leibstadt 10 m	23.6	24.4	23.1	18.5	17.7	17.2	15.3	17.0	15.3	21.9	19.7	29.6	29.6
Leibstadt 110 m	29.3	32.2	28.4	23.6	22.4	22.9	20.8	24.4	20.9	27.8	25.2	38.4	38.4
PSI 70 m	29.3	23.9	25.4	21.1	23.2	24.3	22.4	25.5	23.9	27.9	23.9	32.1	32.1

Moyennes horaires maximales de la vitesse du vent (statistiques S15-S17)

Tableau 3.4-30 : Moyenne horaire maximale de la vitesse du vent à Bâle de 1981 à 2007 à 16 m, à Buchs de 1984 à 2007 à 10 m, à Beznau de 1987 à 2007 à 10 m et 70 m, à Leibstadt,de 1987 à 2007 à 10 et 110 m et au PSI de 1992 à 2007 à 70 m du sol [m/s]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Ann.
Bâle 16 m	15.3	19.5	14.6	12.0	10.6	10.4	9.7	8.7	9.0	13.8	23.0	18.8	23.0
Buchs 10 m	10.0	11.3	9.1	7.5	7.9	7.6	6.6	7.2	7.4	9.1	10.2	10.3	11.3
Beznau 10 m	7.8	7.5	7.9	7.7	7.8	7.5	7.1	6.8	6.6	7.8	5.9	14.0	14.0
Beznau 70 m	12.3	12.1	11.6	11.4	11.7	11.9	11.2	11.0	21.6	15.9	18.5	11.4	21.6
Leibstadt 10 m	13.9	14.0	12.3	9.9	10.6	10.4	8.3	9.9	8.6	13.1	10.6	17.2	17.2
Leibstadt 110 m	21.1	21.1	19.0	15.1	16.7	16.5	14.0	15.8	14.6	20.6	16.9	26.2	26.2
PSI 70 m	17.4	15.8	14.7	13.6	12.6	12.4	12.3	12.3	13.2	15.9	14.1	17.0	17.4

Les valeurs mensuelles moyennes ainsi que les moyennes mensuelles des minimaou des maxima ont été résumées au chapitre 3.4.12.

Répartition GEV des rafales de vent (statistique S20)

Fig. 3.4-6 : Répartition GEV des rafales de vent à Bâle de 1981 à 2007 à 16 m, à Buchs de 1984 à 2007 à 10 m, à Leibstadt de 1987 à 2007 à 10 et 110 m et au PSI de 1992 à 2007 à 70 m du sol [m/s]

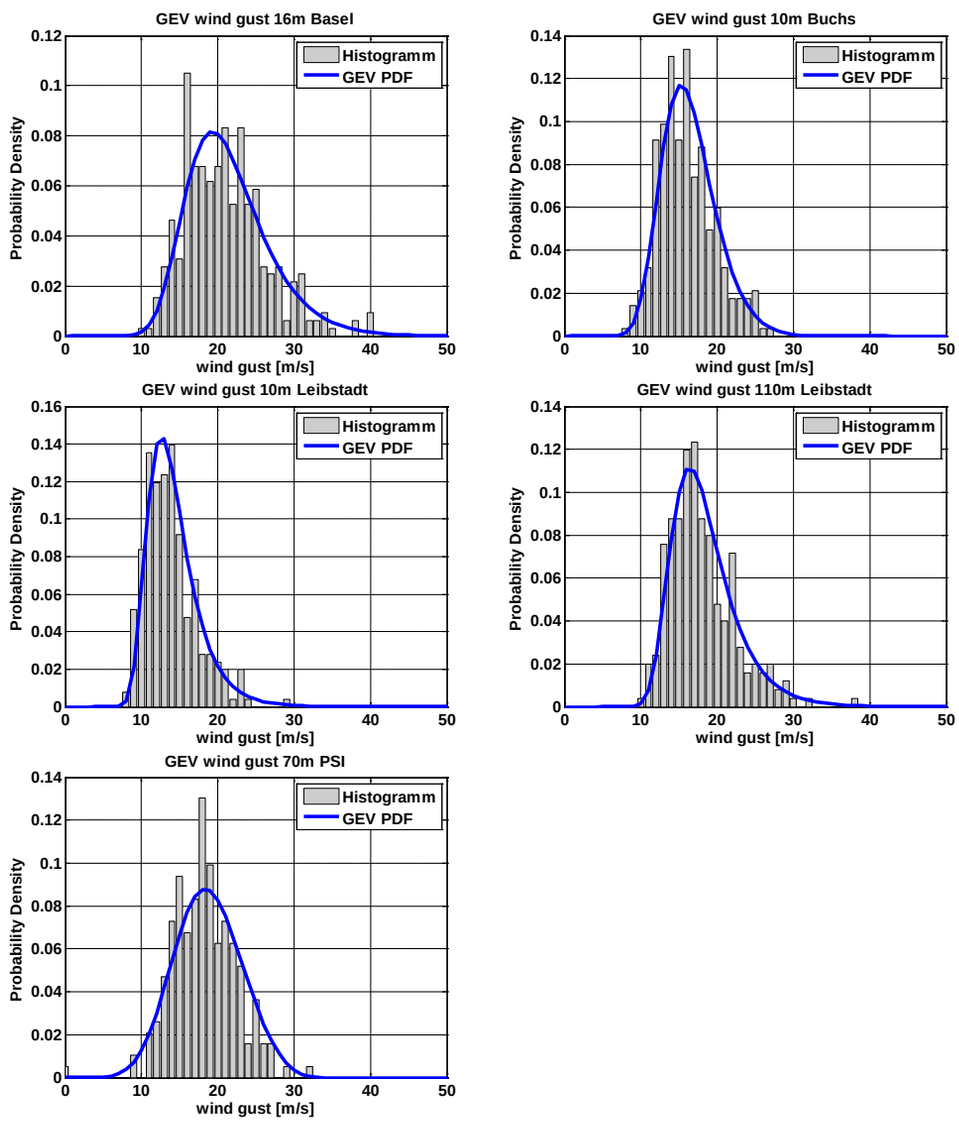


Tableau 3.4-31 : Paramètres de la répartition GEV

Paramètres	Bâle 16 m	Buchs 10 m	Leibstadt 10 m	Leibstadt 110 m	PSI 70 m
k	-0.0478	-0.1117	0.0394	0.0189	-0.2574
☐	4.5079	3.1584	2.5479	3.2990	4.3310
μ☐	19.0870	14.9116	12.6979	16.4647	17.1062

Répartition GEV des valeurs moyennes sur 10 min (statistique S21)

Fig. 3.4-7 : Répartition GEV de la moyenne maximale sur 10 min. de la vitesse du vent à Beznau de 1987 à 2007 à 10 m et 70 m, à Leibstadt de 1987 à 2007 à 10 et 110 m et au PSI de 1992 à 2007 à 70 m du sol [m/s].

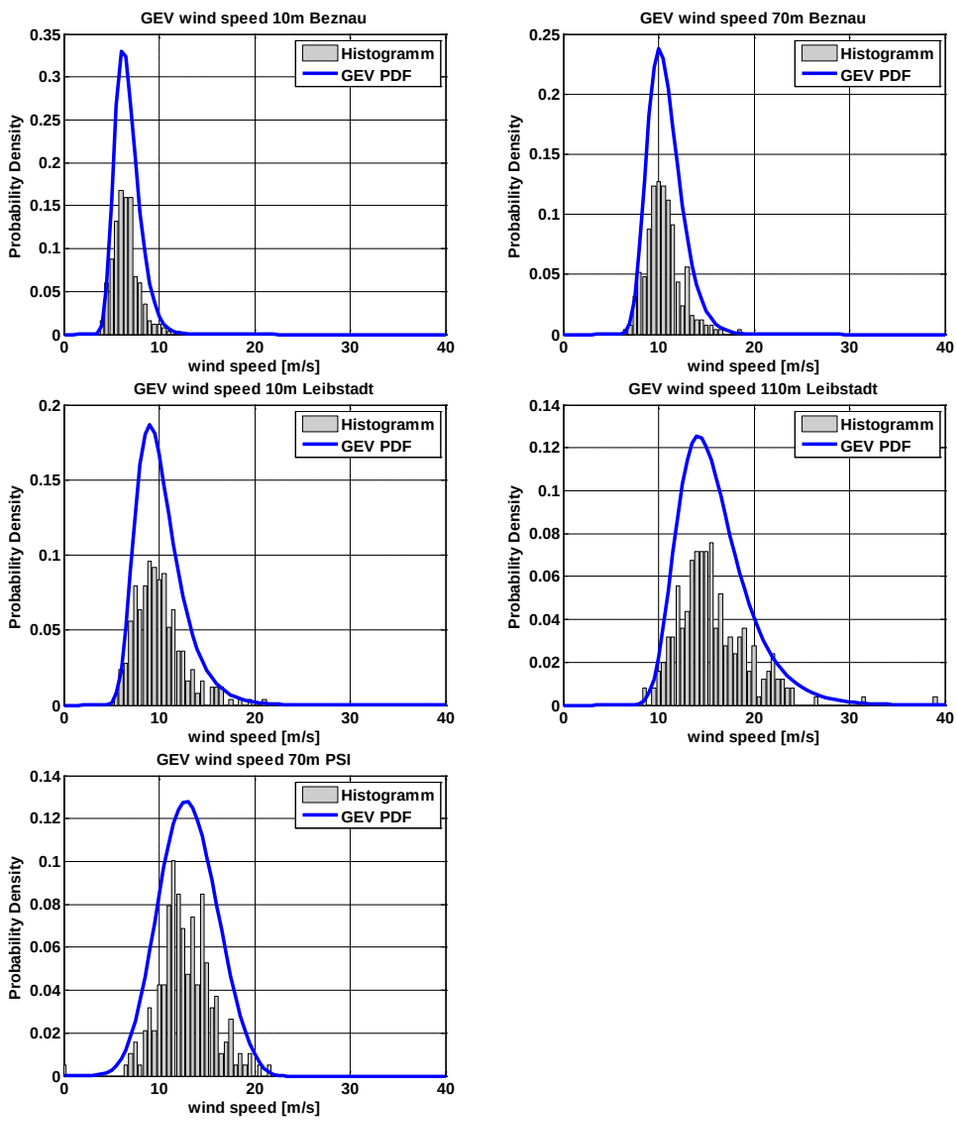
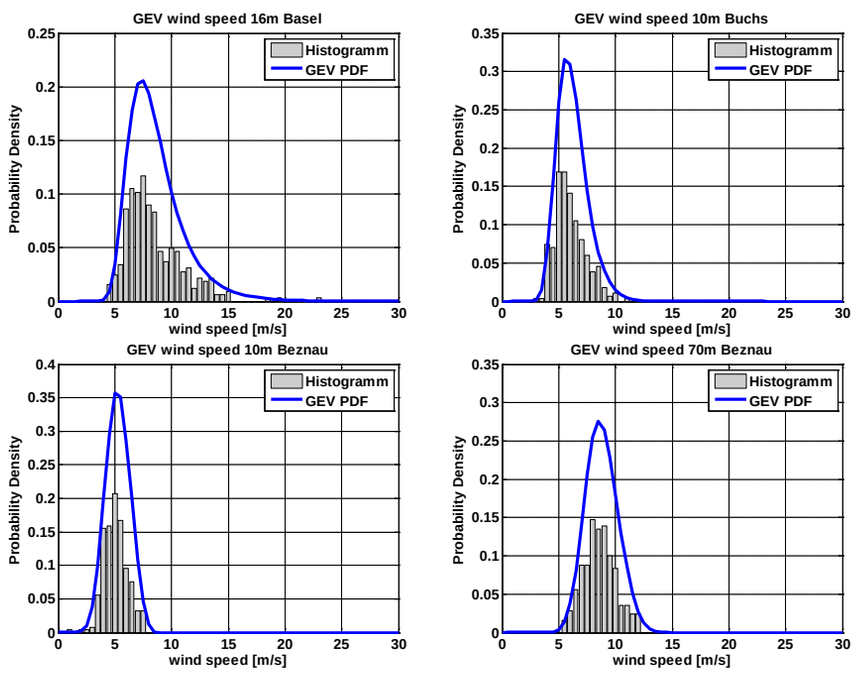


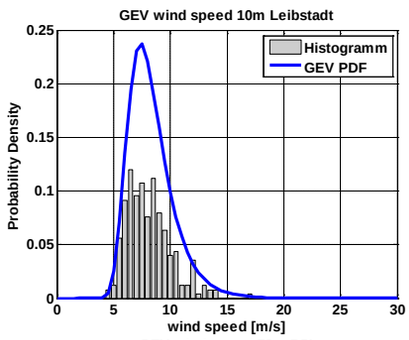
Tableau 3.4-32 : Paramètres de la répartition GEV

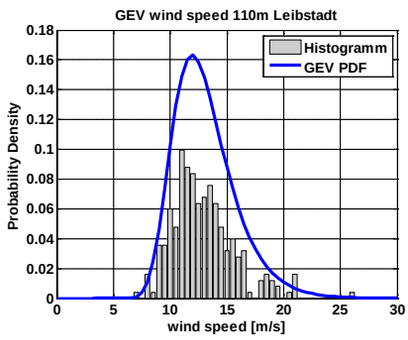
Paramètres	Beznau 10 m	Beznau 70 m	Leibstadt 10 m	Leibstadt 110 m	PSI 70 m
k	-0.0636	-0.0760	0.0091	0.0046	-0.2647
☒	1.1014	1.5510	1.9711	2.9332	2.9854
μ☐	6.1215	9.9385	8.9999	14.1595	11.9133

Répartition GEV des valeurs horaires moyennes (statistique S22)

Fig. 3.4-8 : Répartition GEV de la moyenne horaire maximale de la vitesse du vent à Bâle de 1981 à 2007 à 16 m, à Buchs de 1984 à 2007 à 10 m, à Beznau de 1987 à 2007 à 10 m et 70 m, à Leibstadt de 1987 à 2007 à 10 et 110 m et au PSI de 1992 à 2007 à 70 m du sol [m/s]







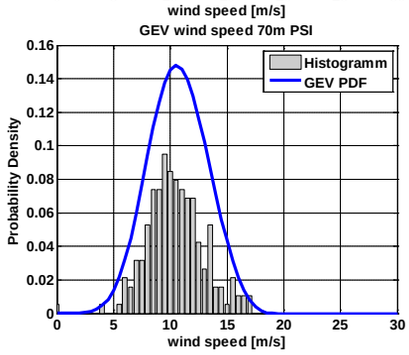


Tableau 3.4-33 : Paramètres de la répartition GEV

Paramètres	Bâle 16 m	Buchs 10 m	Beznau 10 m	Beznau 70 m
k	0.0818	-0.0591	-0.2724	-0.2159
◪	1.7844	1.1521	1.0564	1.3672
μ☐	7.4786	5.6215	4.8816	8.2421

Paramètres	Leibstadt 10 m	Leibstadt 110 m	PSI 70 m
k	0.0208	-0.0267	-0.2756
◪	1.5451	2.2531	2.5955
μ☐	7.4042	11.8579	9.7446

Evénements pluriannuels pour les vents violents et la pression du vent (statistique S23)

Tableau 3.4-34 : Vents violents maximaux attendus à Bâle, Buchs, Leibstadt et au PSI pour diverses périodicités et pression du vent attendue p_W. (IC = intervalle de confiance)

Bâle 16 m	50 ans	100 ans	200 ans	100 ans	10 000 ans
Vents violents	43.9 m/s	46.2 m/s	48.4 m/s	53.2 m/s	59.5 m/s
IC 95% [m/s]	[36.6 ; 54.5]	[37.9 ; 58.7]	[39.0 ; 63.0]	[41.2 ; 73.3]	[43.7 ; 89.1]
Pression du vent	1747 N/m^2	1932 N/m^2	2119 N/m^2	2562 N/m^2	3202 N/m^2

Buchs 10 m	50 ans	100 ans	200 ans	1000 ans	10 000 ans
Vents violents	29.3 m/s	30.4 m/s	31.3 m/s	33.3 m/s	35.5 m/s
IC 95% [m/s]	[25.0 ; 35.5]	[25.6 ; 37.4]	[26.1 ; 39.3]	[27.0 ; 43.6]	[27.9 ; 49.4]
Pression du vent	773 N/m^2	828 N/m^2	881 N/m^2	994 N/m^2	1133 N/m^2

Leibstadt 10 m	50 ans	100 ans	200 ans	1000 ans	10 000 ans
Vents violents	31.2 m/s	33.5 m/s	35.9 m/s	41.7 m/s	50.5 m/s
IC 95% [m/s]	[24.5 ; 42.3]	[25.6 ; 47.3]	[26.6 ; 52.8]	[28.8 ; 67.9]	[31.6 ; 96.4]
Pression du vent	885 N/m^2	1020 N/m^2	1169 N/m^2	1574 N/m^2	2318 N/m^2

Leibstadt 110 m	50 ans	100 ans	200 ans	1000 ans	10 000 ans
Vents violents	38.9 m/s	41.5 m/s	44.1 m/s	50.4 m/s	59.7 m/s
IC 95% [m/s]	[31.1 ; 51.3]	[32.3 ; 56.8]	[33.5 ; 62.7]	[36.0 ; 78.3]	[39.1 ; 106.3]
Pression du vent	1372 N/m^2	1562 N/m^2	1767 N/m^2	2302 N/m^2	3228 N/m^2

PSI 70 m	50 ans	100 ans	200 ans	1000 ans	10 000 ans
Vents violents	30.7 m/s	31.2 m/s	31.7 m/s	32.4 m/s	33.1 m/s
IC 95% [m/s]	[27.5 ; 34.6]	[27.8 ; 35.4]	[28.1 ; 36.1]	[28.6 ; 37.4]	[29.0 ; 38.6]
Pression du vent	854 N/m^2	884 N/m^2	910 N/m^2	954 N/m^2	994 N/m^2

Evénements pluriannuels pour les valeurs moyennes max. sur 10 min. (statistique S24)

Tableau 3.4-35 : Moyenne maximale attendue sur 10 min. à Beznau à 10 m et 70 m, Leibstadt à 10 m et 110 m et au PSI à 70 m du sol pour diverses périodicités et pression du vent attendue p_W. (IC = intervalle de confiance)

Beznau 10 m	50 ans	100 ans	200 ans	1000 ans	10 000 ans
10-min. moyenne	11.9 m/s	12.4 m/s	12.9 m/s	13.9 m/s	15.2 m/s
IC 95% [m/s]	[10.2 ; 14.4]	[10.5 ; 15.3]	[10.7 ; 16.2]	[11.2 ; 18.4]	[11.7 ; 21.6]
Pression du vent	129 N/m²	140 N/m²	151 N/m²	176 N/m²	210 N/m²

Beznau 70 m	50 ans	100 ans	200 ans	1000 ans	10 000 ans
10-min. moyenne	17.8 m/s	18.4 m/s	19.1 m/s	20.4 m/s	22.0 m/s
IC 95% [m/s]	[15.6 ; 20.9]	[15.9 ; 22.1]	[16.2 ; 23.2]	[16.9 ; 25.9]	[17.6 ; 29.7]
Pression du vent	287 N/m²	308 N/m²	239 N/m²	376 N/m²	437 N/m²

Leibstadt 10 m	50 ans	100 ans	200 ans	1000 ans	10 000 ans
10-min. moyenne	22.0 m/s	23.4 m/s	24.9 m/s	28.3 m/s	33.3 m/s
IC 95% [m/s]	[17.6 ; 28.7]	[18.4 ; 31.6]	[19.0 ; 34.8]	[20.5 ; 43.0]	[22.2 ; 57.1]
Pression du vent	425 N/m²	483 N/m²	545 N/m²	728 N/m²	1007 N/m²

Leibstadt 110 m	50 ans	100 ans	200 ans	1000 ans	10 000 ans
10-min. moyenne	33.2 m/s	35.3 m/s	37.4 m/s	42.3 m/s	49.4 m/s
IC 95% [m/s]	[27.4 ; 41.6]	[28.5 ; 45.5]	[29.6 ; 49.6]	[32.0 ; 60.0]	[34.8 ; 77.4]
Pression du vent	968 N/m²	1095 N/m²	1229 N/m²	1624 N/m²	2214 N/m²

PSI 70 m	50 ans	100 ans	200 ans	1000 ans	10 000 ans
10-min moyenne	21.1 m/s	21.5 m/s	21.8 m/s	22.3 m/s	22.7 m/s
IC 95% [m/s]	[18.9 ; 23.9]	[19.1 ; 24.4]	[19.3 ; 24.9]	[19.6 ; 25.7]	[19.8 ; 26.5]
Pression du vent	404 N/m²	418 N/m²	429 N/m²	449 N/m²	467 N/m²

Evénements pluriannuels pour les valeurs horaires moyennes (statistique S25)

Tableau 3.4-36 : Moyenne horaire maximale attendue à Bâle à 10 m, Buchs à 10 m, Beznau à 10 m et 70 m, Leibstadt à 10 m et 110 m et au PSI à 70 m du sol pour diverses périodicités et pression du vent attendue (IC = intervalle de confiance)

Bâle 16 m	50 ans	100 ans	200 ans	1000 ans	10 000 ans
1 h moyenne	22.4 m/s	24.6 m/s	26.9 m/s	32.7 m/s	42.5 m/s
IC 95% [m/s]	[17.6 ; 29.9]	[18.8 ; 34.0]	[19.9 ; 38.6]	[22.5 ; 51.5]	[26.2 ; 77.2]
Pression du vent	457 N/m^2	549 N/m^2	655 N/m^2	968 N/m^2	1631 N/m^2

Buchs 10 m	50 ans	100 ans	200 ans	1000 ans	10 000 ans
1 h moyenne	11.8 m/s	12.3 m/s	12.8 m/s	13.9 m/s	15.4 m/s
IC 95% [m/s]	[9.8 ; 14.7]	[10.1 ; 15.7]	[10.3 ; 16.8]	[10.8 ; 19.4]	[11.3 ; 23.3]
Pression du vent	124 N/m^2	136 N/m^2	147 N/m^2	174 N/m^2	212 N/m^2

Beznau 10 m	50 ans	100 ans	200 ans	1000 ans	10 000 ans
1 h moyenne	8.1 m/s	8.2 m/s	8.3 m/s	8.5 m/s	8.6 m/s
IC 95% [m/s]	[7.3 ; 9.1]	[7.3 ; 9.3]	[7.4 ; 9.5]	[7.5 ; 9.8]	[7.5 ; 10.1]
Pression du vent	59 N/m^2	61 N/m^2	62 N/m^2	65 N/m^2	67 N/m^2

Beznau 70 m	50 ans	100 ans	200 ans	1000 ans	10 000 ans
1 h moyenne	13.0 m/s	13.2 m/s	13.4 m/s	13.7 m/s	14.1 m/s
IC 95% [m/s]	[11.5 ; 15.0]	[11.7 ; 15.5]	[11.7 ; 15.9]	[11.9 ; 16.7]	[12.0 ; 17.6]
Pression du vent	153 N/m^2	158 N/m^2	163 N/m^2	171 N/m^2	180 N/m^2

Leibstadt 10 m	50 ans	100 ans	200 ans	1000 ans	10 000 ans
1 h moyenne	18.0 m/s	19.2 m/s	20.5 m/s	23.4 m/s	27.9 m/s
IC 95% [m/s]	[14.2 ; 24.2]	[14.7 ; 26.9]	[15.3 ; 29.8]	[16.4 ; 37.6]	[17.8 ; 51.7]
Pression du vent	283.9 N/m^2	324 N/m^2	368 N/m^2	498 N/m^2	704 N/m^2

Leibstadt 110 m	50 ans	100 ans	200 ans	1000 ans	10 000 ans
1 h moyenne	25.1 m/s	26.4 m/s	27.7 m/s	30.6 m/s	34.5 m/s
IC 95% [m/s]	[21.0 ; 13.1]	[21.7 ; 33.6]	[22.3 ; 36.2]	[23.6 ; 42.5]	[25.2 ; 52.6]
Pression du vent	554 N/m^2	613 N/m^2	674 N/m^2	848 N/m^2	1079 N/m^2

PSI 70 m	50 ans	100 ans	200 ans	1000 ans	10 000 ans
1 h moyenne	17.5 m/s	17.8 m/s	18.1 m/s	18.5 m/s	18.8 m/s
IC 95% [m/s]	[15.4 ; 20.3]	[15.6 ; 20.8]	[15.7 ; 21.2]	[15.9 ; 22.0]	[16.1 ; 22.7]
Pression du vent	279 N/m^2	288 N/m^2	296 N/m^2	309 N/m^2	320 N/m^2

Valeurs de référence et événements pluriannuels (statistique S26 ; S27)

Le « Design wind speed » est défini selon NEI « Plant Parameter Definitions » comme « fastest mile of wind with 100-year return period ». La vitesse des rafales est toutefois de plus en plus utilisée comme paramètre de référence. En règle générale, la vitesse du vent « Fastest Mile » est de quelque 20% inférieure à la rafale.

La comparaison a été établie avec les données des rafales au PSI puisque l'on ne dispose d'aucune mesure des rafales de vent pour Beznau. Le PSI n'est situé sur l'Aar qu'à environ 1-15 km au sud du site de Beznau. La valeur sur 10 min (statistique S24) pour un événement sur 100 ans, concernant à chaque fois la hauteur de 70 m, est de 3.1 m/s plus élevée et la valeur horaire (statistique S25) de 4.6 m/s plus élevée au PSI qu'à Beznau. La comparaison des sites a montré qu'à 70 m de hauteur au PSI, le vent souffle à 0.25 m/s plus fort, et le coefficient de détermination de 0.8 indique un régime du vent similaire. Les valeurs des rafales de vent pour Beznau devraient ainsi être légèrement inférieures à celles du PSI.

Dans la série des données sur 16 ans du PSI, l'événement sur 100 ans (rafale de vent maximale) a été dépassé une fois comme le montre Fig. 3.4-9. La probabilité d'occurrence p(Z) de l'événement sur 100 ans est de 0.08%.

Fig. 3.4-9 : Série chronologique des vents violents mensuels maximaux au PSI, à 70 d'altitude, à partir du 01/1992 au niveau des événements sur 50, 100 et 200 ans

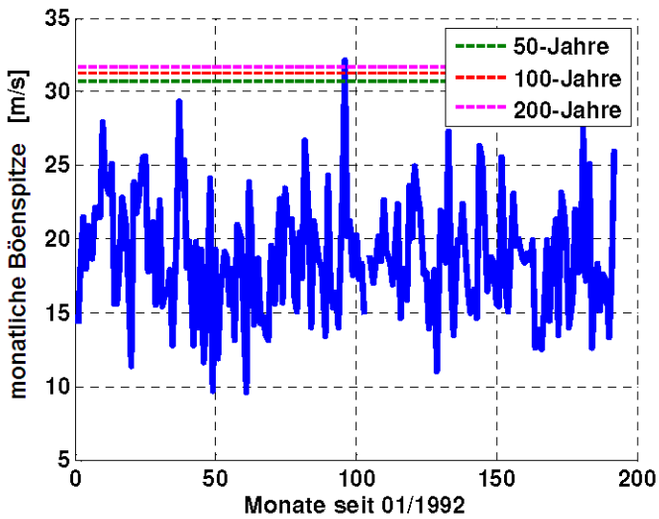


Tableau 3.4-37 : Probabilité d'occurrence d'un événement extrême

PSI 70 m au-dessus du sol.	50 ans	100 ans	200 ans
Probabilité d'occurrence *p(Z)*	0.17%	0.08%	0.04%

Les vents violents sont des événements qui peuvent occasionner des dommages aux bâtiments et, éventuellement, générer un accident. La même remarque s'applique aux tornades qui sont examinées au chapitre 3.4.5.7. L'installation doit être protégée en conséquence contre de tels événements. Les vents violents seront pris en considération lors de la conception des bâtiments et des composants.

L'on renvoie à la norme SIA 261[17], au chapitre 6 « Vent » et commentaires y afférents[18] pour le calcul des effets du vent sur les bâtiments (cf. également chapitre 3.4.8.2).

Roses des vents (statistique P7)

Les roses des vents donnent une représentation visuelle de la répartition de la direction et de la vitesse du vent sur la période considérée. Elles sont utilisées dans la description des rapports de répartition.

[17] Norme SIA 261:2003, Actions sur les structures porteuses

[18] Documentation SIA D0188, « Vent », commentaires sur le chapitre 6 des normes SIA 261 et 261/1 (2003)

Fig. 3.4-10 : Rose des vents de la direction principale du vent à Bâle, de 1981 à 2007 (année entière)

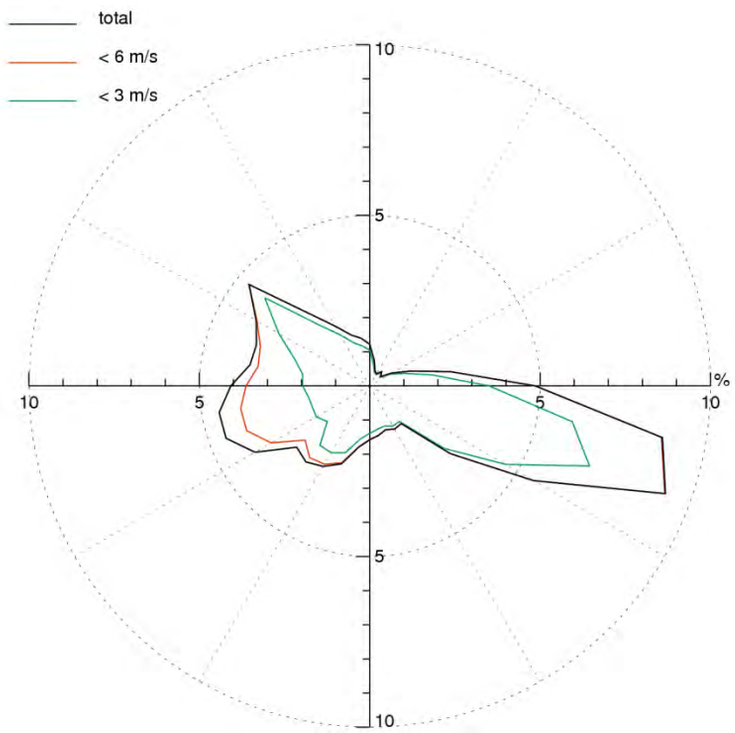


Fig. 3.4-11 : Rose des vents de la direction principale du vent à Buchs, de 1984 à 2007 (année entière)

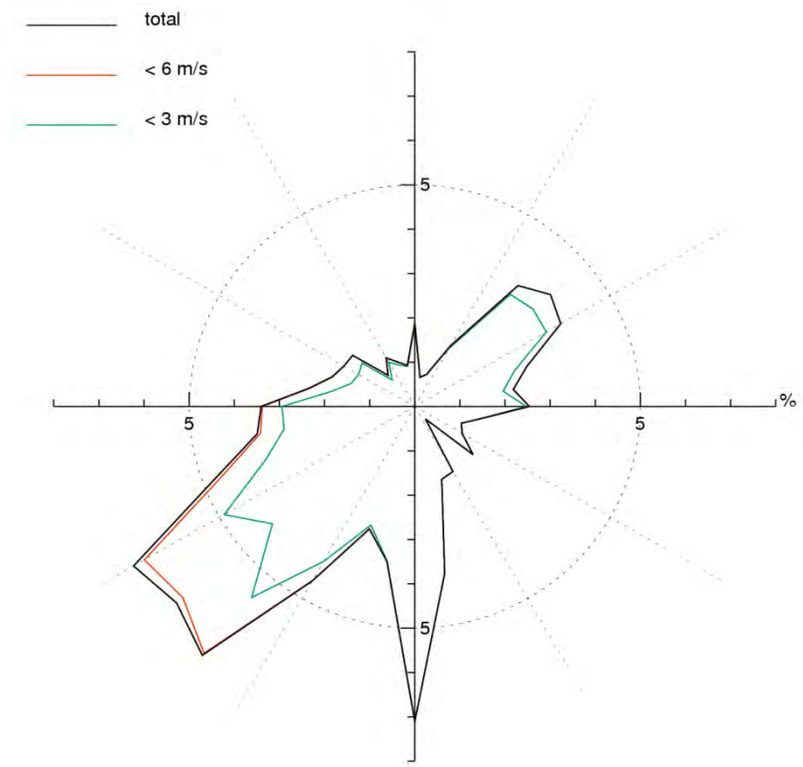


Fig. 3.4-12 : Rose des vents de la direction principale du vent à Beznau, de 1987 à 2007, à 10 m du sol

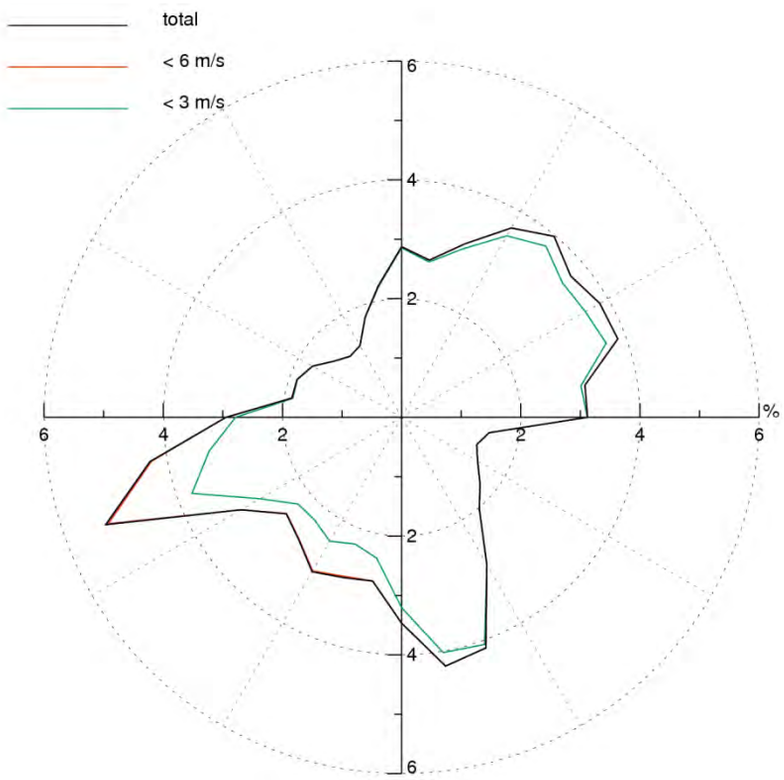


Fig. 3.4-13 : Rose des vents de la direction principale du vent à Beznau, de 1987 à 2007 à 70 m du sol (année entière)

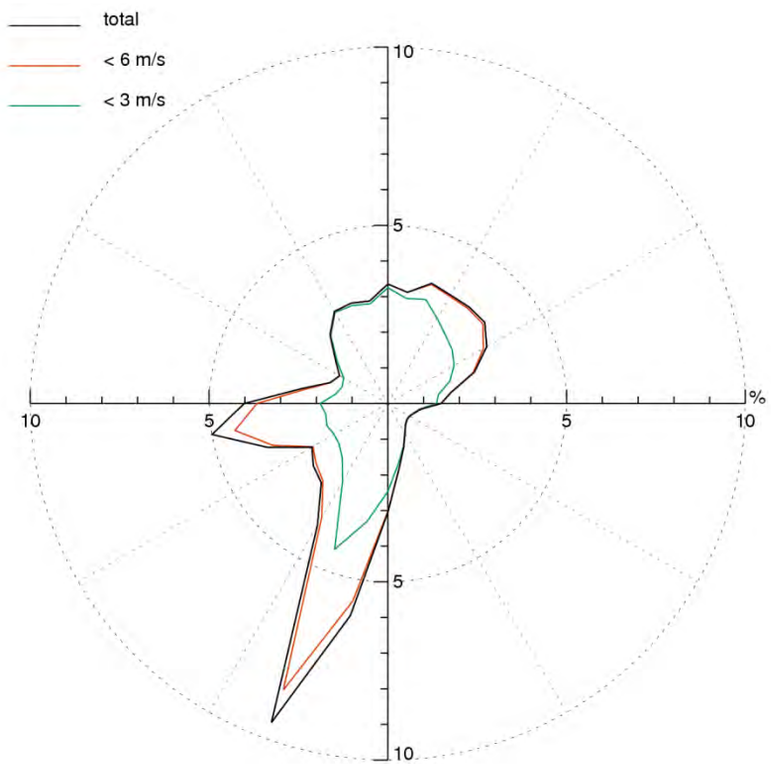
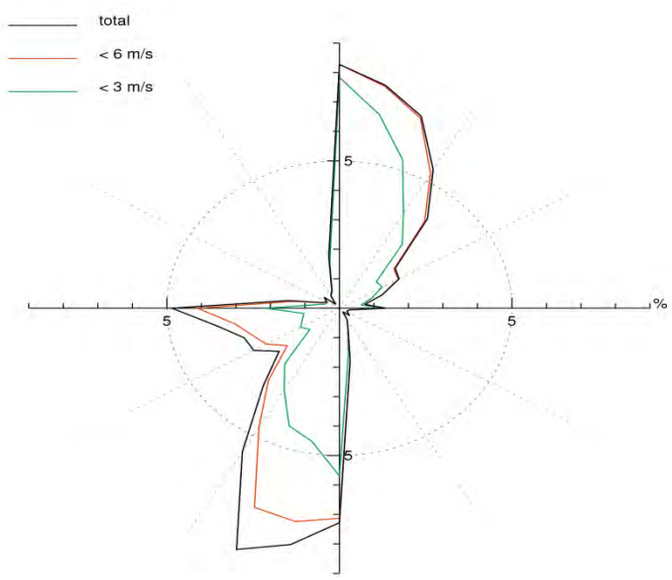


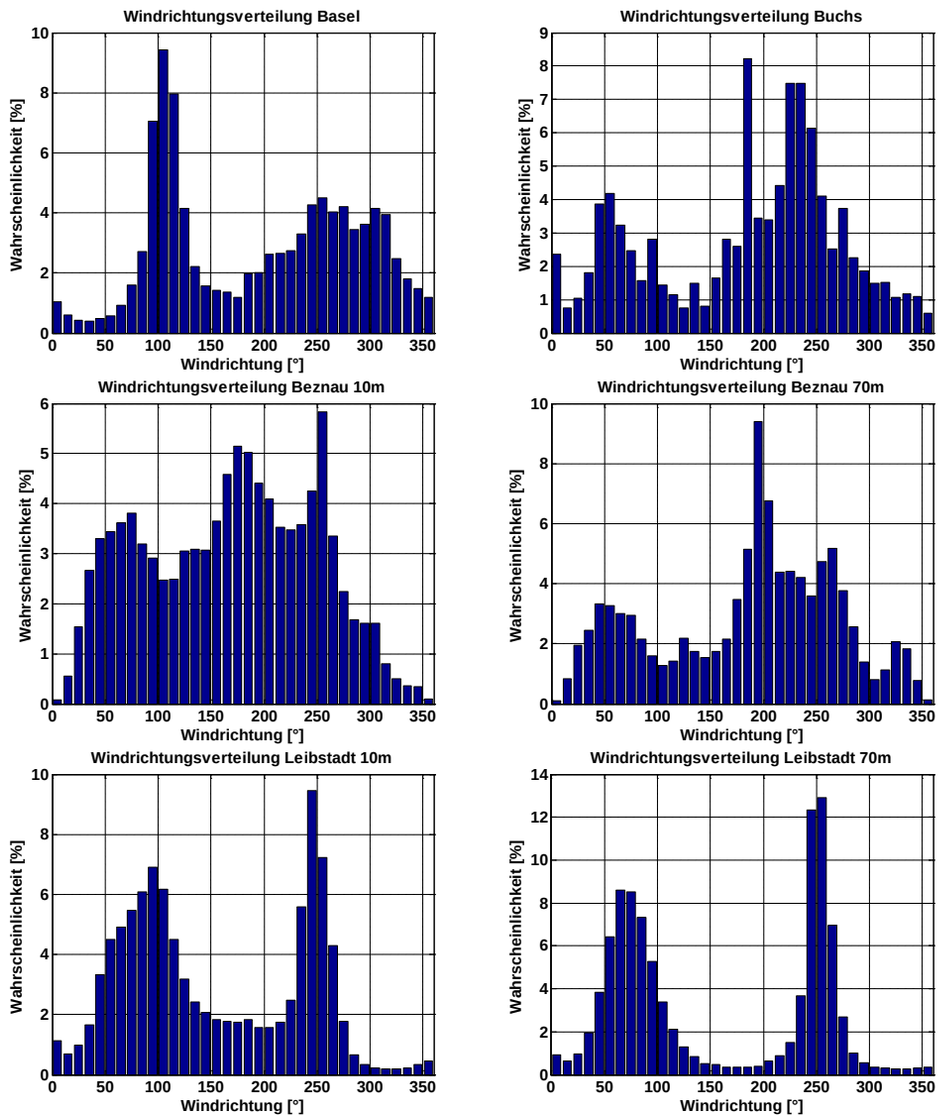
Fig. 3.4-14 : Rose des vents de la direction principale du vent au PSI, de 1992 à 2007 à 70 m du sol (année entière)



Les roses des vents de la direction principale du vent par mois pour les différents sites sont représentées dans le chapitre 3.4.13.

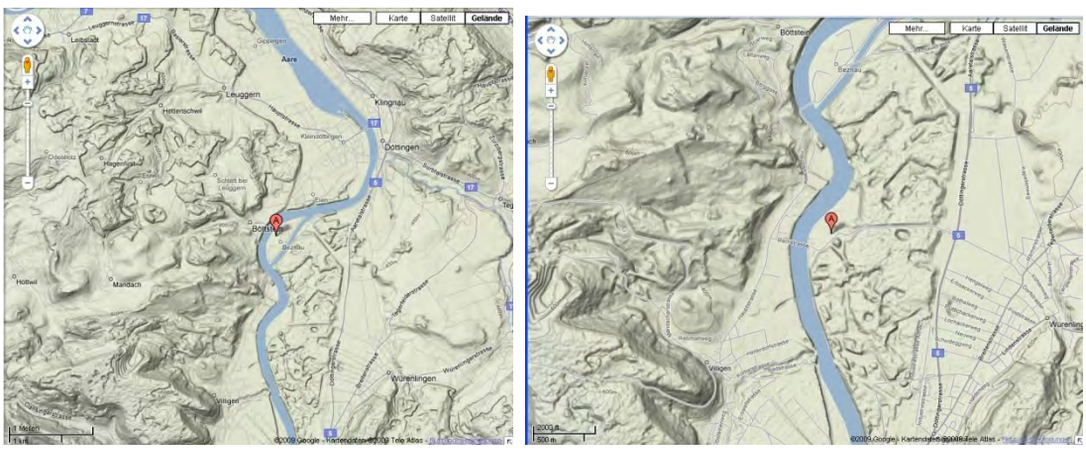
Répartition de la direction du vent (statistique P9)

Fig. 3.4-15 : Répartition annuelle de la direction du vent à Bâle, Buchs et Beznau, à 10 met 70 m du sol et à Leibstadt à 10 m et 70 m du sol



Les roses des vents sont fortement dépendantes de la topographie. Les vallées et montagnes exercent une influence considérable. Dans le Moyen-Pays (Mittelland), les roses des vents devraient trouver une « homogénéité » à env. 1000-1500 m d'altitude. L'homogénéité des roses des vents signifie qu'elles ne sont plus influencées par la topographie locale. En d'autres termes, les roses des vents de différentes stations situées dans la même région se ressemblent. Plus la région est vaste et plus est importante l'altitude à laquelle on peut attendre une répartition homogène.

Fig. 3.4-16 : Emplacement des mâts de mesure des sites de Beznau (à gauche) et du PSI (à droite)



Les roses des vents de Beznau et du PSI sont marquées par le terrain environnant (Fig. 3.4-16). À Beznau, un canal apparaît depuis le sud à travers la vallée de l'Aar et depuis l'ouest à travers les vallées de la rive ouest de l'Aar. La rose des vents présente une répartition homogène du nord à l'est. Ici aussi, le terrain est ouvert. Au PSI, un canal apparaît du sud / sud-ouest vers le nord / nord-est en suivant le cours de l'Aar. Ici, les rives ouest et est de l'Aar sont vallonnées.

3.4.5.5 Précipitations (pluie, neige, grêle)

Les précipitations n'engendrent pas directement des accidents. Des précipitations prolongées peuvent cependant provoquer des crues et des inondations, ce qui sera observé au chapitre 3.5. Il convient de tenir compte des quantités caractéristiques de précipitations et de leurs valeurs extrêmes lors de la conception des systèmes et bâtiments pour le dimensionnement des évacuations des eaux de toiture et des aires ou pour le traitement des eaux usées. Les quantités à court terme (p.ex. 5 min) sont importantes pour le dimensionnement des évacuations des eaux de toiture ; les quantités à moyen terme doivent plutôt être observées pour le dimensionnement des bassins de récupération.

Moyennes horaires max. historiques (statistique S29)

Tableau 3.4-38 : Maximum horaire historique des hauteurs de précipitations [mm]

Lieu / Localité	Période	Maximum (année)
Bâle	1981-2007	39.6 mm (1991)
Buchs	1984-2007	44.7 mm (1986)
Beznau	1987-2007	41.1 mm (1990)
Leibstadt	1987-2007	30.3 mm (1997)

Quantités journalières maximales (statistique S30)

Tableau 3.4-39 : Hauteurs de précipitations journalières maximales[mm]

Lieu / Localité	Période	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Bâle	1865-1980	49.0	34.5	51.2	49.2	94.8	72.7	56.0	57.8	59.8	50.0	55.5	39.6	94.8
Bâle	1981-2007	24.5	27.7	50.6	39.8	55.3	45.7	87.6	61.0	53.8	48.8	51.2	33.1	87.6
Buchs	1984-2007	47.8	38.4	39.6	42.6	106.7	60.5	56.8	69.5	78.9	51.6	43.6	52.2	106.7
Beznau	1987-2007	46.2	46.6	39.3	47.0	46.0	46.0	44.1	46.0	31.3	41.0	56.3	47.3	56.3
Leibstadt	1987-2007	87.3	53.0	48.0	48.7	43.5	34.7	38.7	40.7	32.7	47.3	62.7	71.0	87.3

Quantités journalières maximales sur 5 jours (statistique S31)

Tableau 3.4-40 : Hauteurs de précipitations journalières maximales sur 5 jours [mm]

Lieu / Localité	Période	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Bâle	1865-1980	83.9	61.5	75.2	67.4	155.2	131.7	99.7	101.9	121.3	77.2	86.9	66.6	155.2
Bâle	1981-2007	62.7	35.3	67.3	68.4	88.7	65.1	108.9	131.7	66.8	62.6	56.9	57.1	131.7
Buchs	1984-2007	79.7	82.5	77.4	83.4	154.8	94.3	74.2	107.9	98.0	76.3	72.7	75.1	154.8
Beznau	1987-2007	91.7	117.0	83.1	83.6	93.2	72.4	73.8	75.2	52.6	67.0	78.0	80.3	117.0
Leibstadt	1987-2007	153.4	127.8	88.4	84.0	92.2	91.3	76.7	73.6	75.3	83.5	75.2	108.8	153.4

Quantités mensuelles minimales / maximales (statistique S32)

Tableau 3.4-41 : Hauteurs de précipitations mensuelles minimales / maximales [mm]

Lieu / Localité	Période		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Bâle	1865-1980	Min	4.2	1.5	4.3	0.0	11.8	11.3	7.8	5.6	0.0	1.5	1.8	5.0	0.0
		Max	168.5	153.0	140.3	178.6	307.5	212.5	210.5	203.6	207.5	215.2	220.2	146.2	220.2
Bâle	1981-2007	Min	7.2	14.4	16.0	2.0	26.6	14.4	26.9	10.3	31.6	5.0	10.5	18.4	2.0
		Max	125.5	86.2	188.9	164.4	173.7	184.6	152.7	196.6	158.5	173.6	177.3	158.0	196.6
Buchs	1984-2007	Min	12.0	11.8	18.5	20.0	24.7	20.0	41.8	7.2	27.4	2.7	15.2	39.8	2.7
		Max	166.3	160.7	225.7	152.7	232.1	198.5	243.3	215.3	176.7	145.7	197.2	145.8	243.3
Beznau	1987-2007	Min	8.8	23.0	19.3	2.0	30.4	20.9	18.4	19.3	15.7	2.4	20.1	30.9	2.0
		Max	212.5	198.7	262.5	149.0	158.3	186.0	172.5	177.7	127.1	167.1	249.8	160.9	262.5
Leibstadt	1987-2007	Min	10.1	18.7	16.5	1.5	18.5	16.6	23.2	24.6	22.8	1.9	7.9	27.9	1.5
		Max	252.9	219.1	284.8	173.1	163.7	160.4	149.0	199.2	162.8	205.3	251.2	181.1	284.8

Quantités mensuelles moyennes (statistique S33)

Tableau 3.4-42 : Hauteurs de précipitations mensuelles moyennes [mm]

Lieu / Localité	Période		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Bâle	1865-1980	Moyenne	42.8	42.0	48.8	60.8	77.7	91.6	84.0	89.0	70.7	63.9	58.9	48.7
		Ecart-type	25.6	28.1	27.7	33.2	40.1	40.2	42.3	43.6	38.5	39.5	35.5	28.3
Bâle	1981-2007	Moyenne	48.6	44.6	55.1	65.6	97.9	89.7	91.9	76.8	78.0	74.6	59.7	61.2
		Ecart-type	32.1	20.3	39.3	41.1	46.7	41.8	31.9	39.9	36.2	40.1	38.2	32.8
Buchs	1984-2007	Moyenne	64.6	67.1	73.3	77.9	106.4	110.7	105.4	103.3	87.0	80.7	77.5	81.0
		Ecart-type	47.3	38.9	56.2	37.8	59.4	49.0	43.9	44.4	40.7	42.6	51.4	33.9
Beznau	1987-2007	Moyenne	74.1	86.4	78.1	71.2	88.4	87.3	92.8	84.3	69.8	77.5	86.9	94.3
		Ecart-type	56.9	56.3	62.5	41.2	36.5	44.1	39.1	34.4	34.2	45.4	62.7	36.8
Leibstadt	1987-2007	Moyenne	82.6	90.2	79.6	73.1	85.5	83.0	90.8	86.5	74.2	87.0	85.8	101.4
		Ecart-type	65.6	61.3	67.0	43.8	43.4	42.6	36.4	39.1	35.1	50.1	63.0	43.6

Heures par mois avec quantités ≥ 0.1mm (statistique S34)

Tableau 3.4-43 : Nombre moyen d'heures par mois avec une hauteur de précipitations ≥ 0.1mm [h]

Lieu / Localité	Période	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
Bâle	1981-2007	82.8	79.1	86.6	90.4	103.1	79.0	68.6	68.7	79.0	90.3	89.6	95.5
Buchs	1984-2007	95.8	96.7	102.6	102.6	94.5	91.8	76.1	82.2	82.1	87.2	101.6	107.8
Beznau	1987-2007	96.2	104.1	103.3	95.8	90.7	81.5	77.7	76.7	79.4	91.3	114.2	120.3
Leibstadt	1987-2007	98.6	106.4	103.8	96.8	96.9	80.1	78.1	75.8	81.4	95.5	111.6	121.3

Jours par mois avec quantités ≥ 1.0 mm (statistique S35)

Tableau 3.4-44 : Nombre moyen de jours par mois avec une hauteur de précipitations ≥ 1.0 mm [jours]

Lieu / Localité	Période	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Bâle	1865-1980	9.0	8.6	9.4	10.7	11.3	11.3	10.5	10.5	9.3	9.4	9.6	9.5
	1981-2007	9.2	8.9	9.3	9.1	9.5	10.4	10.0	9.5	8.3	9.4	9.5	11.0
Buchs	1984-2007	9.5	8.8	10.3	10.6	11.4	12.2	10.9	10.9	9.6	9.3	9.8	10.1
Beznau	1987-2007	9.4	9.1	10.5	9.7	10.7	11.1	10.5	9.8	8.8	9.3	10.2	11.7
Leibstadt	1987-2007	9.2	8.9	9.3	9.1	9.5	10.4	10.0	9.5	8.3	9.4	9.5	11.0

Répartition GEV des quantités horaires (statistique S36)

Fig. 3.4-17 : Répartition GEV des hauteurs de précipitations horaires [mm] pour Bâle, de 1981 à 2007, Buchs, de 1984 à 2007, Beznau, de 1987 à 2007 et Leibstadt, de 1987 à 2007

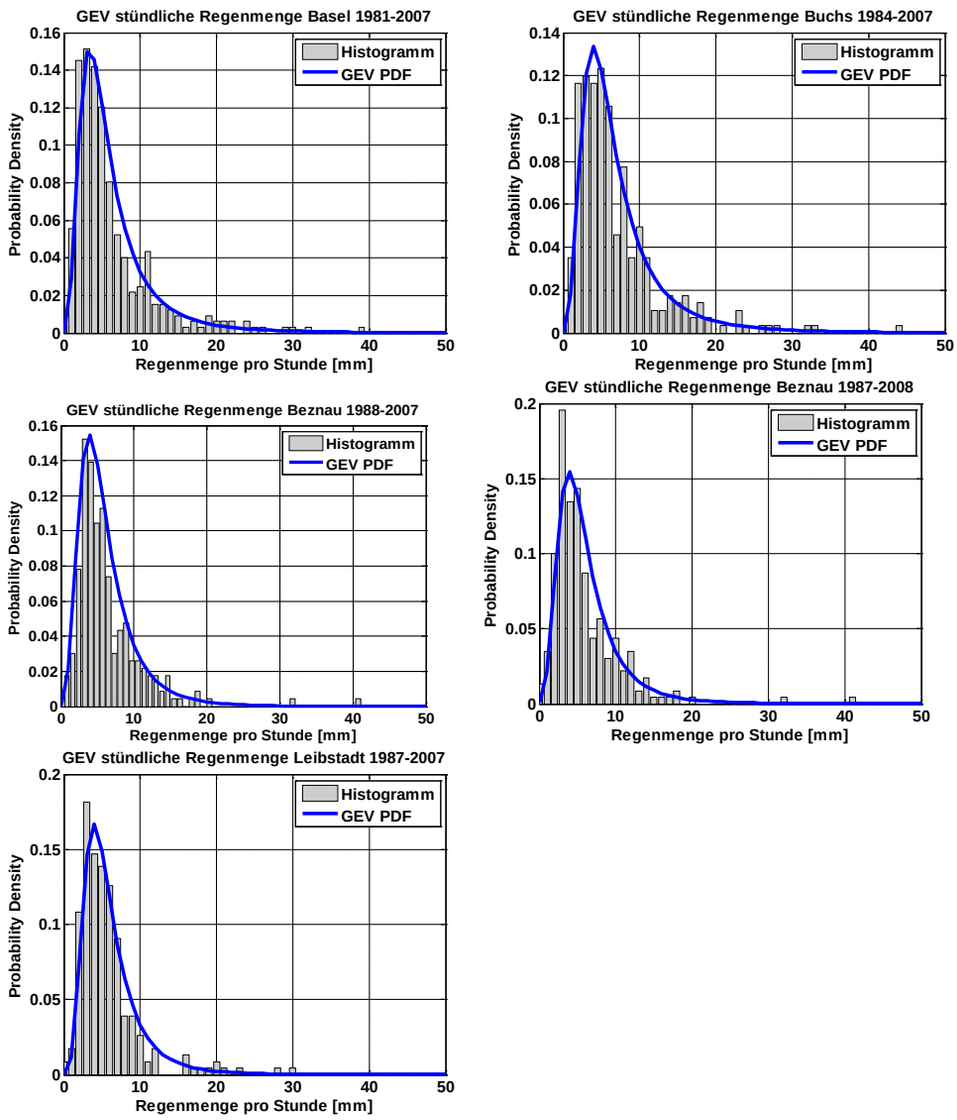


Tableau 3.4-45 : Paramètres de la répartition GEV

Paramètres	Bâle 1981-2007	Buchs 1984-2007	Beznau 1987-2007	Leibstadt 1987-2007
k	0.3390	0.3213	0.2036	0.1987
☐	2.5381	2.8837	2.4209	2.2399
μ☐	4.0512	4.6596	4.2764	4.3099

Répartition GEV des quantités journalières (statistique S37)

Fig. 3.4-18 : Répartition GEV des hauteurs de précipitations journalières [mm] pour Bâle, de 1865 à 1980, Bâle, de 1981 à 2007, Buchs, de 1984 à 2007, Beznau, de 1987 à 2007 et Leibstadt, de 1987 à 2007

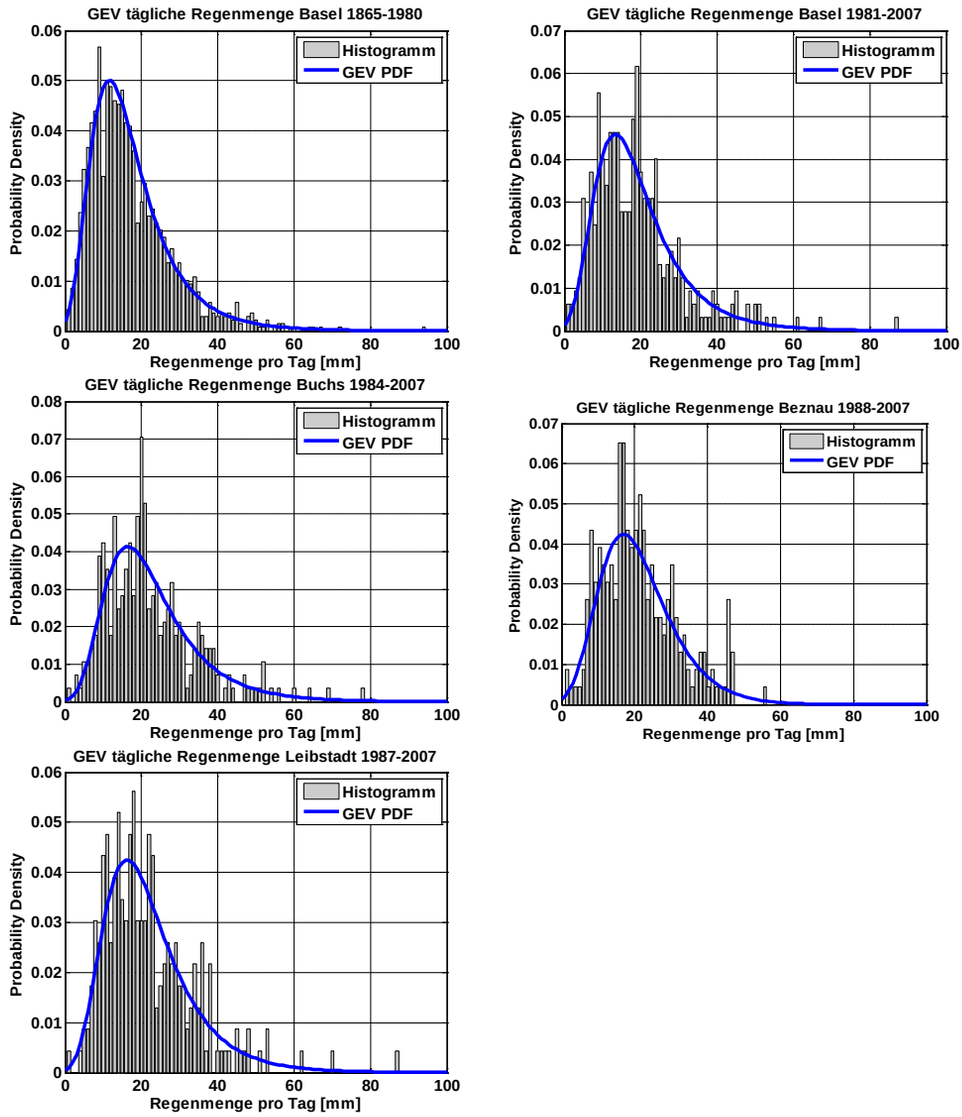


Tableau 3.4-46 : Paramètres de la répartition GEV

Paramètres	Bâle 1865-1980	Bâle 1981-2007	Buchs 1984-2007	Beznau 1987-2007	Leibstadt 1987-2007
k	0.0321	0.0928	0.0810	-0.0453	0.0549
◪	8.9122	8.0558	8.9236	8.6883	8.6678
μ□	32.8957	14.0065	17.1301	16.5596	16.6619

Répartition GEV des quantités à 5 jours (statistique S 38)

Fig. 3.4-19 : Répartition GEV des hauteurs de précipitations à 5 jours [mm] pour Bâle, de 1865 à 1980, Bâle, de 1981 à 2007, Buchs, de 1984 à 2007, Beznau, de 1987 à 2007 et Leibstadt, de 1987 à 2007

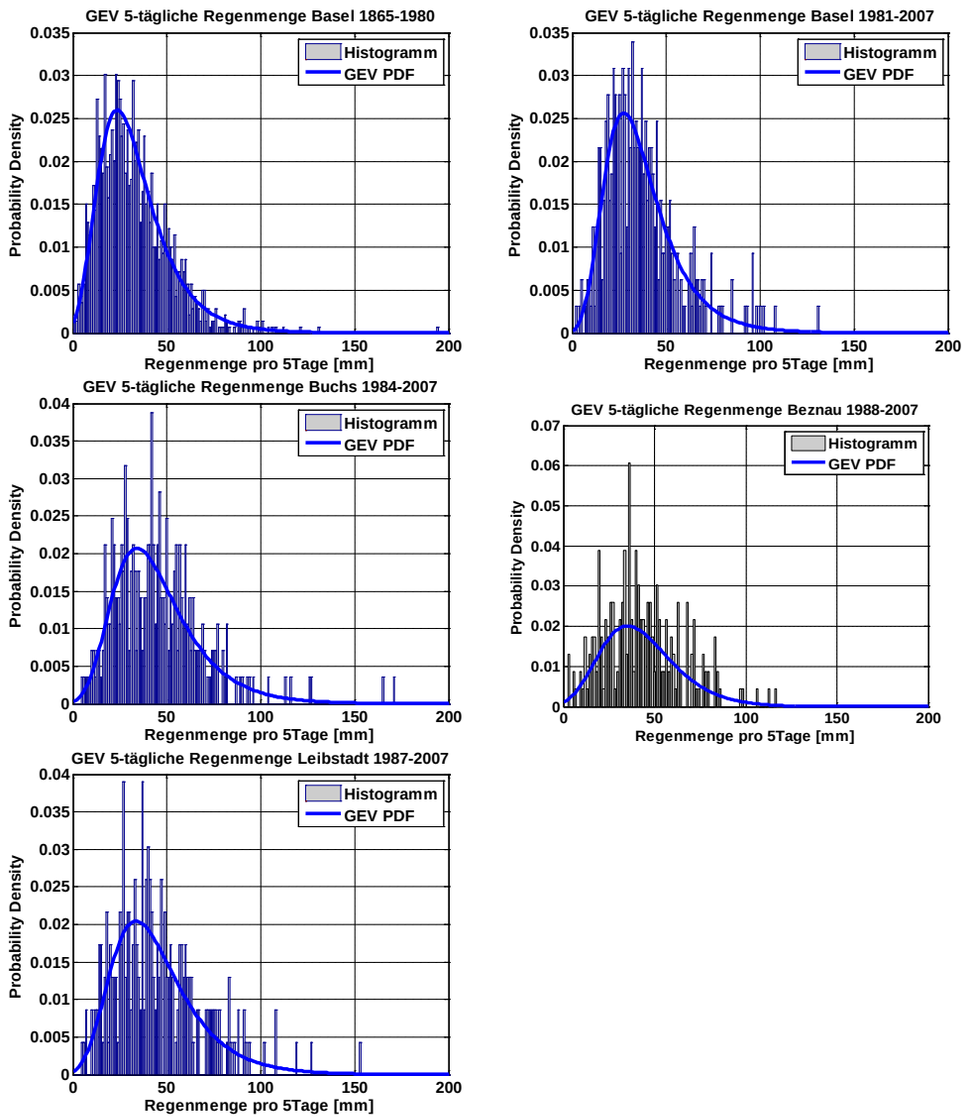


Tableau 3.4-47 : Paramètres de la répartition GEV

Paramètres	Bâle 1865-1980	Bâle 1981-2007	Buchs 1984-2007	Beznau 1987-2007	Leibstadt 1987-2007
k	0.0791	0.0511	0.0266	-0.0860	0.0216
☐	14.4010	14.3705	17.7780	18.3963	17.9947
☐	59.5864	28.0424	34.5778	33.6088	33.9851

Quantités de précipitations pluriannuelles (statistique S39-S41)

Tableau 3.4-48 : Somme maximale attendue des précipitations [mm] pour Bâle, Buchs et Beznau pour diverses périodicités. La série des données étant succincte, la somme des précipitations dégagée pour des périodes de 1000 et 10 000 ans s'accompagne d'incertitudes significatives.

	Lieu / Localité	50 ans	100 ans	200 ans	1000 ans	10000 ans
Somme des précipitations sur 1 heure	Bâle 1981-2007	62.0	79.4	101.3	177.4 [87.6 ; 377.9]	391.3* [158.3 ; 1027.5]
	Buchs 1984-2007	65.8	83.3	105.1	179.2 [79.1 ; 438.9]	380.3* [132.6 ; 1198.1]
	Beznau 1987-2007	36.1	42.7	50.4	72.9 [39.9 ; 144.8]	121.0 [55.2 ; 291.8]
	Leibstadt 1987-2007	33.2	39.1	46.0	65.9 [36.7 ; 126.6]	108.2 [51.3 ; 249.8]
Somme des précipitations sur 1 journée	Bâle 1865-1980	69.9	77.1	84.3	101.8 [69.6 ; 166.7]	128.4 [77.6 ; 255.4]
	Bâle 1981-2007	84.4	94.8	105.9	134.7 [84.7 ; 228.8]	184.2 [103.1 ; 361.7]
	Buchs 1984-2007	91.9	102.6	113.9	142.7 [91.0 ; 239.2]	191.0 [109.1 ; 368.6]
	Beznau 1987-2007	64.8	69.2	73.5	83.0 [55.3 ; 136.6]	95.4 [59.2 ; 176.3]
	Leibstadt 1987-2007	83.1	91.8	100.8	123.2 [77.6 ; 211.7]	158.8 [89.9 ; 315.4]
Somme des précipitations sur 5 jours	Basel 1865-1980	125.4	139.5	154.3	192.0 [128.6 ; 322.5]	254.8 [147.5 ; 533.2]
	Basel 1981-2007	136.8	150.8	165.4	201.3 [135.2 ; 317.8]	258.1 [158.0 ; 459.8]

	Lieu / Localité	50 ans	100 ans	200 ans	1000 ans	10000 ans
	Buchs 1984-2007	158.6	173.3	188.3	224.3 [151.7 ; 352.6]	278.5 [173.0 ; 491.5]
	Beznau 1987-2007	124.1	131.2	138.0	152.1 [106.9 ; 232.3]	169.3 [112.9 ; 281.7]
	Leibstadt 1987-2007	157.4	171.8	186.5	221.3 [139.2 ; 386.4]	273.4 [155.6 ; 551.6]

* L'événement sur 10 000 ans pour une hauteur de précipitations sur 1 heure pour les stations de Bâle et de Buchs battrait le record du monde de 304.8 mm (USA 1947) des précipitations tombées en une heure.

Quantité de précipitations sur 5 minutes (statistique S42)

La hauteur des précipitations sur 5 minutes a été calculée pour différentes périodicités en utilisant le rapport d'une valeur sur 5 minutes sur une valeur de 1 heure selon le « US National Weather Service Publication, HMR n° 52 ». Dans cette publication, le graphique 36 montre des valeurs pour ce rapport de 0.32 à 0.35 sur les États-Unis d'Amérique avec un gradient nord-sud. L'on admet que le rapport se maintiendra pour l'Europe.

Tableau 3.4-49 : Hauteur de précipitations attendue à Bâle, Buchs, Beznau et Leibstadt à différentes périodicités pour une moyenne sur 5 minutes [mm] pour différents rapports de 5 min/1 heure

Bâle	Rapport 5 min/1 heure	50 ans	100 ans	200 ans	1 000 ans	10 000 ans
	0.32	19.9 mm	25.4 mm	32.4 mm	56.8 mm	125.2 mm
	0.33	20.5 mm	26.2 mm	33.4 mm	58.5 mm	129.1 mm
	0.34	21.1 mm	27.0 mm	34.5 mm	60.3 mm	133.0 mm
	0.35	21.7 mm	27.8 mm	35.5 mm	62.1 mm	137.0 mm

Buchs	Rapport 5 min/1 heure	50 ans	100 ans	200 ans	1 000 ans	10 000 ans
	0.32	21.0 mm	26.6 mm	33.6 mm	57.4 mm	121.7 mm
	0.33	21.7 mm	27.5 mm	34.7 mm	59.1 mm	125.5 mm
	0.34	22.4 mm	28.3 mm	35.7 mm	60.9 mm	129.3 mm
	0.35	23.0 mm	29.1 mm	36.8 mm	62.7 mm	133.1 mm

Beznau	Rapport 5 min/1 heure	50 ans	100 ans	200 ans	1 000 ans	10 000 ans
	0.32	11.6 mm	13.7 mm	16.1 mm	23.3 mm	38.7 mm
	0.33	11.9 mm	14.1 mm	16.6 mm	24.0 mm	39.9 mm
	0.34	12.3 mm	14.5 mm	17.1 mm	24.8 mm	41.1 mm
	0.35	12.6 mm	15.0 mm	17.6 mm	25.5 mm	42.4 mm

Leibstadt	Rapport 5 min/1 heure	50 ans	100 ans	200 ans	1 000 ans	10 000 ans
	0.32	10.6 mm	12.5 mm	14.7 mm	21.1 mm	34.6 mm
	0.33	11.0 mm	12.9 mm	15.2 mm	21.7 mm	35.7 mm
	0.34	11.3 mm	13.3 mm	15.6 mm	22.4 mm	36.8 mm
	0.35	11.6 mm	13.7 mm	16.1 mm	23.1 mm	37.9 mm

Les hauteurs de précipitations à court et à moyen terme seront prises en considération lors de la détermination des paramètres de conception. Il n'existe aucune condition qui pourrait engendrer des difficultés particulières pour la conception. L'utilisation des événements à long terme sera déterminée dans le cadre de la demande de l'autorisation de construire. Des hauteurs extrêmes de précipitations peuvent générer des crues (chapitre 3.5) qui doivent également être prises en compte dans le dimensionnement de l'évacuation des eaux de toiture et du terrain.

Quantités de neige (statistique S43)

Le poids de la neige ne joue aucun rôle déterminant sur les bâtiments liés à la sécurité. Grâce à leur conception pour résister aux tremblements de terre ou aux chutes d'avion, les structures bénéficient d'une construction massive. Le poids de la neige ne peut avoir de l'importance que pour les composants montés sur les toitures.

Tableau 3.4-50 : Hauteurs totales de neige historiques

Lieu / Localité	Période	Maximum (année)
Bâle	1931-2007	55 cm (1931)
Buchs	1984-2007	47 cm (1986)

Fig. 3.4-20 : Hauteur totale maximum de neige tombée par an à Bâle, de 1931 à 2007 et à Buchs, de 1984 à 2007.

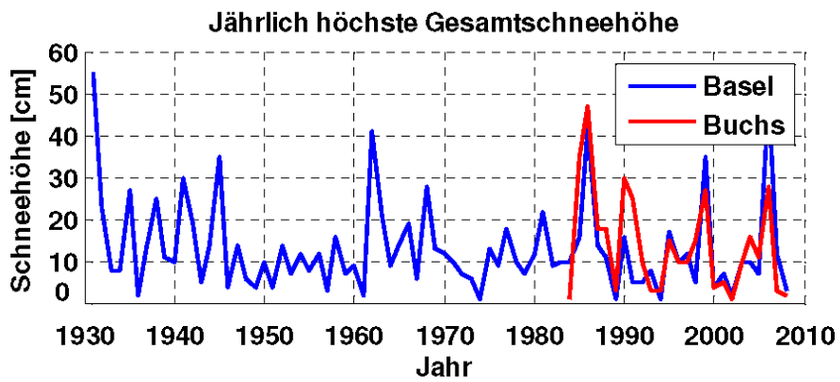


Tableau 3.4-51 : Hauteur totale de neige attendue et charges de neige à Bâle pour diverses périodicités. (IC = intervalle de confiance). Pour la charge volumétrique moyenne de la neige, l'on admet 3 kN/m^3 selon la norme SIA 261 : 2003

Bâle 1931-2007	50 ans	100 ans	200 ans	1000 ans	10000 ans
Hauteur totale de neige [cm]	47	59	73	119	225
IC 95%	[27 ; 86]	[32 ; 121]	[36 ; 168]	[47 ; 354]	[65 ; 1012]
Charge de la neige [kN/m^2]	1.41	1.77	2.19	3.57	6.75

Les périodicités ont été calculées avec une répartition GEV (blockmax 1 an).

Il apparaît que la charge de la neige dépasse la valeur caractéristique de la norme SIA. Voir chapitre 3.4.8.2 pour les détails concernant la norme SIA.

L'utilisation des événements à long terme et les charges de neige correspondantes sont fixées dans le cadre de la demande de l'autorisation de construire. La formation des couvertures de neige ayant lieu sur des périodes prolongées, elle donne le temps de prendre les mesures nécessaires.

Couverture de neige (statistique S44)

La statistique précédente, S43, montre qu'il faut prendre en considération des couvertures de neige de même hauteur dans les régions de Bâle et de Buchs puisque les séries de données des deux régions se superposent à partir de 1984. C'est pourquoi la valeur de la couverture totale de neige de 59 cm avec durée de périodicité sur 100 ans a également été reprise pour la région de Buchs / Beznau.

Pour le calcul de la charge de neige sur un bâtiment, l'on renvoie à la norme SIA 261 : 2003, Actions sur les structures porteuses, chapitre 5 « Neige ». La charge de neige dépend de la construction et de la situation du bâtiment.

Risque de grêle (statistique S45)

Dans certains cas, la grêle peut affecter les composants montés sur les toitures. Elle ne devrait engendrer aucun problème pour l'enveloppe des bâtiments liés à la sécurité.

Selon la carte des fréquences des chutes de grêle[19] de la Société suisse d'assurance contre la grêle, le risque est légèrement plus élevé pour Beznau. En moyenne, des chutes de grêle touchent la région tous les 2 à 3 ans.

Tableau 3.4-52 : Nombre d'années de grêle (année de grêle = 1 chute de grêle dans l'année) au voisinage de Beznau durant la période de 1961 à 2004[20]

Lieu / Localité	Nombre d'années de grêle 1961–2004
Brugg	12
Döttingen	24
Leibstadt	14
Untersiggenthal	19
Villigen	22

La vitesse de chute et la violence d'impact des grêlons dépendent essentiellement de leur taille. Le potentiel de dommage que peut entraîner un grêlon résulte également de sa forme et de sa consistance. Les formes varient de l'aspect quasi sphérique à une forme anguleuse avec des excroissances oblongues de glace [78]. Le Tableau 3.4-53 ci-après fournit les vitesses d'impact de grêlons de différentes tailles. Pour un grêlon de diamètre extrême (env. 14 cm), il faut compter avec une vitesse d'impact de quelque 170 km/h. La force et la violence de la grêle peuvent aisément tuer des personnes. En outre, la vitesse de chute peut encore s'accentuer en présence de vents violents.

[19] Source: Société suisse d'assurance contre la grêle. http://www.hagel.ch/, (état au: 15.09.2008).

[20] Société suisse d'assurance contre la grêle, années de grêle entre 1961 et 2004

Tableau 3.4-53 : Vitesse de chute et énergie d'impact de grêlons en fonction de leur taille [78][

Diamètre des grêlons **[cm]**	Vitesse de chute **[km/h]**	Energie d'impact **[J]**
2.5	80	1.3
3.2	90	5.4
3.8	100	10.8
4.5	107	19.0
5.1	115	29.8
6.4	129	71.9
7.0	136	109.8
7.6	143	162.7

3.4.5.6 Rayonnement solaire

Rayonnement solaire moyen horaire (statistique S46)

La statistique du rayonnement solaire peut être utile pour la conception d'installations de climatisation ou de photovoltaïque. Son importance pour la conception de bâtiments ou de systèmes liés à la sécurité est peu probable, sans tout autant l'exclure totalement.

Tableau 3.4-54 : Rayonnement solaire moyen horaire [W/m^2], Buchs, de 1984 à 2007

Heure	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	12	24	14	3	0	0	0	0
5	0	0	1	22	70	93	76	34	8	1	0	0
6	0	1	25	96	164	193	178	121	56	12	1	0
7	4	23	96	197	276	308	301	232	138	54	18	4
8	31	78	187	299	390	428	429	349	239	115	58	28
9	78	141	281	404	484	522	528	453	336	181	105	69
10	121	204	351	472	552	583	594	528	410	246	140	104
11	148	248	382	498	579	613	615	558	446	285	161	121
12	153	256	382	479	560	605	611	556	442	289	156	118
13	132	228	344	436	509	559	558	506	395	244	131	94
14	87	171	274	361	425	479	491	431	312	176	81	55
15	37	100	184	261	328	380	388	319	208	95	29	14
16	4	31	89	152	213	261	271	201	103	24	1	0
17	0	1	19	63	115	152	157	97	26	0	0	0
18	0	0	0	8	35	62	58	21	1	0	0	0
19	0	0	0	0	2	9	7	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

La durée d'ensoleillement moyenne annuelle de 1 570 h est donnée par cinq stations dans un rayon de 40 km autour du site, ce qui correspond environ à 38% de la durée d'ensoleillement annuelle possible.

3.4.5.7 Tornades, fortes tempêtes

3.4.5.7.1 Introduction

Les tornades – tourbillons de tempêtes soumis à un mouvement de rotation très rapide et reconnaissables à leurs entonnoirs nuageux caractéristiques – ne représentent pas en Suisse un danger naturel très courant. Il peut cependant arriver, même en Suisse, que des tornades se produisent, conduisant à des dégâts très importants. Dans la plupart des cas, les tornades arrivant au-dessus de la Suisse sont cependant de faible intensité et les dégâts restent modérés. Il arrive assez souvent qu'on puisse les observer sous forme de trombes d'eau au-dessus des lacs de grande étendue.

Il faut distinguer deux situations, en fonction des conditions dans lesquelles elles se forment. D'une part en été en raison d'une forte convection, lorsque plusieurs cellules orageuses se regroupent pour former une supercellule. La deuxième possibilité a lieu en cas de fortes tempêtes d'ouest, lesquelles se produisent principalement en hiver.

Du point de vue de leur origine, il s'agit dans le cas des tornades et des trombes d'eau essentiellement du même phénomène [11], [13]. Il commence par se former une protubérance conique à partir de la partie inférieure de nuages d'orage bien développés. Cette protubérance grossit, souvent en quelques minutes, pour se transformer en entonnoir nuageux tourbillonnant tout en s'étirant simultanément vers le bas jusqu'à la surface du sol. Avant même que l'entonnoir rejoigne la surface du sol, il s'y forme un tourbillon indépendant, qui a un diamètre supérieur à celui de l'entonnoir lui-même. Le diamètre de l'entonnoir nuageux atteint généralement plusieurs dizaines de mètres et va parfois jusqu'à plusieurs kilomètres. La longueur typique de l'entonnoir est d'environ 900 m [12].

La formation de violentes tornades se fait pratiquement toujours en présence de foyers orageux de forte intensité (que l'on appelle encore des orages supercellulaires). La formation de tourbillons est conditionnée par la présence de forts courants ascendants à l'intérieur du nuage d'orage. Il s'agit essentiellement des mêmes conditions que celles que l'on rencontre également lors du déclenchement d'averses de grêle. Il arrive donc souvent que violentes tornades et averses de grêle se produisent simultanément. Les petites tornades n'ont pas nécessairement pour origine des orages supercellulaires. En définitive, la formation des tornades n'est pas un domaine qui a été entièrement exploré. Il n'existe toujours pas d'explication suffisamment satisfaisante quant à la formation de l'entonnoir nuageux [13].

3.4.5.7.2 Données

Puissance des tornades (statistique S47)

Il peut se produire à l'intérieur d'une tornade très violente des vitesses de rotation de 450 à 500 km/h. La succion à l'intérieur de l'entonnoir est capable de produire un courant ascendant de 160 km/h. L'entonnoir se déplace sur la surface de la Terre à une vitesse moyenne d'environ 50 km/h. Il fait un mouvement de va-et-vient, s'allonge puis se rétrécit, s'élève parfois au-dessus du sol pour redescendre peu de temps après. Les trajectoires ont généralement quelques centaines de mètres de largeur et 10 à 50 km de longueur. La durée de vie d'une tornade est liée à sa puissance : Les petites tempêtes durent quelques minutes, les plus fortes plus d'une heure. La violence des tornades provient surtout des vitesses de rotation et des vitesses verticales extrêmement élevées.

Il existe deux échelles courantes de classification des tornades. Dans le cas de l'échelle de Fujita (« F-Scale », voir Tableau 3.4-55 ; [19]) , la répartition dans les différentes classes prend également en compte la dimension des zones dévastées. L'échelle de TORRO (« T-Scale », voir Tableau 3.4-56 ; [20]) se base uniquement sur les vitesses de vent à l'intérieur de la tornade et s'utilise plutôt en Europe.

Tableau 3.4-55 : Échelle de Fujita servant à décrire la puissance de tornades en fonction de la nature des dégâts

Echelle de Fujita	Vitesse du vent	Dégâts
F-0	65-119 km/h	Dégâts mineurs causés à des cheminées, branches et cimes d'arbres cassées, déracinement d'arbres à racines superficielles et panneaux renversés.
F-1	119-184 km/h	Toitures en tôle ondulée ou en tuiles soulevées, caravanes emportées, automobiles en mouvement déportées.
F-2	184-256 km/h	Toitures entièrement arrachées, caravanes complètement détruites, gros arbres déracinés, objets légers transformés en projectiles dangereux.
F-3	256-335 km/h	Toitures et murs légers emportés, trains déraillés, déraillement de trains, forêt en grande partie déracinée, camions emportés ou déplacés.
F-4	335-421 km/h	Maisons en bois à fondations légères déplacées, voitures emportées, objets lourds transformés en projectiles dangereux.
F-5	421-515 km/h	Maisons en bois arrachées de leurs fondations, emportées au loin et détruites. Revêtements d'asphalte des routes parfois arrachés du sol.

Tableau 3.4-56 : L'échelle de TORRO servant à décrire la puissance des tornades en Europe en fonction des vitesses de vent

Echelle de TORRO	Vitesse du vent	Dégâts
T-0 (F-0)	65-90 km/h	Objets légers soulevés du sol, risques d'effondrements d'échafaudages, dégâts peu importants sur stores et tentes. Aux endroits exposés, risques de déplacement de tuiles. Pas de dégâts aux charpentes d'immeubles. Branches éparses cassées.
T-1 (F-0)	90-119 km/h	Meubles de jardin et objets légers emportés et pouvant tournoyer en l'air, clôtures en bois emportées. Dégâts mineurs causés aux toitures (tuiles et couvertures en tôle susceptibles de se détacher et d'être emportées). Dégâts mineurs causés aux constructions légères, pas de dégâts aux structures des bâtiments. Nombreuses branches cassées, même parmi les branches solides et saines, en particulier pendant la période active de végétation (présence de feuilles sur les arbres à feuilles caduques).
T-2 (F-1)	119-151 km/h	Même des objets lourds sont soulevés du sol et peuvent se transformer en projectiles dangereux. Caravanes et remorques peuvent être emportées. Toitures en tuiles et toits plats sans fixation partiellement découverts. Dégâts mineurs à moyens causés aux constructions légères, premiers dégâts susceptibles d'apparaître sur les éléments de structure des constructions en dur. Nombreuses branches cassées, même parmi les branches solides et saines, en particulier pendant la période active de végétation (présence de feuilles sur les arbres à feuilles caduques).
T-3 (F-1)	151-184 km/h	Nombeuses caravanes et remorques emportées. Présence de dégâts importants sur les toitures en tuile ou sur les toits plats sans fixation. Dégâts moyens causés aux constructions légères, quelques dégâts causés aux éléments de structure des constructions en dur. Des voitures en mouvement sont chassées de la route. Nombreuses branches cassées, même des branches saines et solides et même en dehors de la période de végétation, lorsque les arbres à feuilles caduques ont perdu leurs feuilles. Même des arbres sains et stables sont en grand nombre renversés ou déjà cassés.

Echelle de TORRO	Vitesse du vent	Dégâts
T-4 (F-2)	184-230 km/h	Graves dégâts aux véhicules et aux remorques. Dangers et dégâts potentiels élevés en raison d'objets transformés en projectiles. Toitures entières arrachées. Dégâts importants causés aux constructions légères, dégâts de plus en plus fréquents causés aux éléments de structure des bâtiments en dur, risques d'effondrements de pignons de maisons. Même les arbres stables ou les couverts forestiers sont totalement ou presque arrachés ou cassés. Les arbres à grande ramure, s'ils ont suffisamment de racines, sont cassés pour la plupart. Sur les arbres encore debout, la majeure partie des branches a été cassée, même en dehors de la période de végétation.
T-5 (F-2)	230 à 256 km/h	Dégâts importants causés aux toitures et aux remises ainsi qu'aux constructions légères. Autres dégâts de plus en plus importants causés aux éléments de structure des bâtiments en dur. Effondrement total de certains bâtiments, principalement des constructions et des entrepôts à usage agricole. Des camions sont soulevés. Même les plantes ligneuses les plus stables, comme les arbres de lisière, les haies vives résistantes au vent, les buissons et les bocages, sont fortement endommagées ou détruites, par déracinement (arrachage), par rupture du tronc ou de la ramure, ou bien par destruction de la majorité des branches.
T-6 (F-3)	256 à 295 km/h	Constructions légères en majorité détruites. Dégâts importants causés aux éléments de structure des bâtiments en dur. Effondrement de certains bâtiments. Poids-lourds soulevés et renversés. Même s'il peut rester le tronc, aucune plante ligneuse ne résiste à une telle tempête sans subir de très graves dégâts. Les arbres isolés perdent, pour la plupart, toutes leurs branches.
T-7 (F-3)	295 à 335 km/h	Généralisation de la destruction totale des constructions légères et graves dégâts causés aux bâtiments en dur. Effondrement d'un grand nombre de bâtiments. Même s'il peut rester le tronc, aucune plante ligneuse ne résiste à une telle tempête sans subir de très graves dégâts. Les arbres isolés, ou des parties d'arbres, perdent pour la plupart toutes leurs branches et, à certains endroits, leur écorce du fait de l'impact de petits débris, de sable, etc.
T-8 (F-4)	335 à 378 km/h	Dégâts importants aux bâtiments en dur. Nombreux effondrements de bâtiments, dont les installations se trouvent éparpillées au loin. Véhicules projetés sur de grandes distances. Perte très nette de l'écorce des troncs d'arbres ou des parties d'arbres encore debout, du fait de l'impact de petits débris, de sable, etc.

Echelle de TORRO	Vitesse du vent	Dégâts
T-9 (F-4)	378 à 421 km/h	Destruction totale de la majorité des bâtiments en dur. Trains renversés des rails. Perte totale de l'écorce des troncs d'arbres ou des parties d'arbres encore debout, du fait de l'impact de petits débris, de sable, etc.
T-10 (F-5)	421 à 468 km/h	Destruction totale de la majorité des bâtiments en dur. Perte totale de l'écorce des troncs d'arbres ou des parties d'arbres encore debout, du fait de l'impact de petits débris, de sable, etc. Apparition de dégâts inhabituels tels que l'arrachage et la dispersion de souches d'arbres coupés, solides mais déjà pourries.
T-11 (F-5)	468 à 515 km/h	Destruction totale de la quasi-totalité des bâtiments en dur. Apparition de dégâts inimaginables. Perte totale de l'écorce des troncs d'arbres ou des parties d'arbres encore debout, du fait de l'impact de petits débris, de sable, etc. Apparition de dégâts inhabituels tels que l'arrachage et la dispersion de souches d'arbres coupés, moins pourries, plus solides et enfoncées profondément dans le sol.

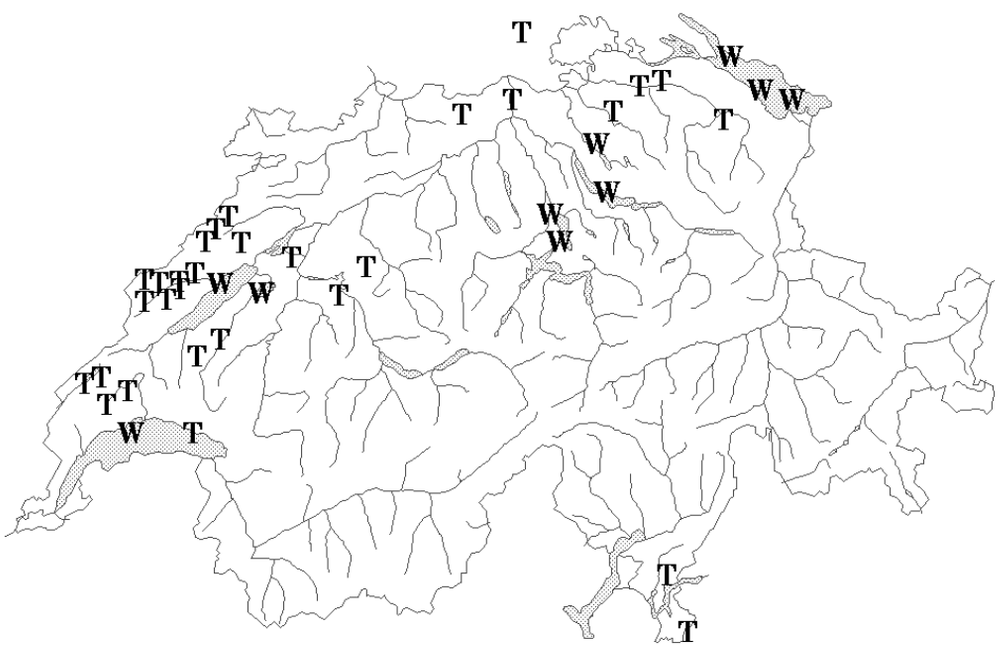
Il se produit des tornades sur tous les continents. C'est à l'intérieur du continent de l'Amérique du Nord qu'elles sont les plus fréquentes et qu'elles font le plus de ravages. D'après les dernières statistiques, il se produit sur la totalité du territoire des États-Unis environ 1 100 tornades par an [11]. Depuis le Texas au sud des États-Unis jusqu'aux Grand Lacs à la frontière du Canada, s'étend une véritable route des tornades qui se caractérise par leur plus grande fréquence d'apparition. Elles se produisent dans cette zone principalement du début du printemps jusqu'au début de l'été (de mars à mai). C'est à cette époque de l'année que les contrastes de température entre les masses d'air chaud et humide venant du Golfe du Mexique et l'air froid polaire venant du nord du Canada sont les plus élevés. En Europe, et plus particulièrement en Suisse, l'apparition de tornades est liée principalement à la saison des orages d'été.

Sur la base d'analyses récentes, il faut compter en Suisse sur un nombre de tornades pouvant aller jusqu'à cinq par décennie, lesquelles peuvent être plus ou moins dévastatrices. Les petites tornades se produiraient en nombre de plus en plus important chaque année. Leurs entonnoirs nuageux n'atteignent toutefois pas toujours le sol. De plus, il peut arriver aussi que des tourbillons violents restent invisibles lorsqu'il y a trop peu d'humidité pour former l'entonnoir nuageux [14]. Il arrive également que des tornades se produisent sans être remarquées, le relief vallonné occultant souvent la vue directe de la face inférieure des nuages d'orage et un épais rideau de pluie enveloppant l'entonnoir nuageux. Par ailleurs, il arrive souvent l'été en Suisse que la brume de pollution réduise la visibilité dans de telles proportions que des entonnoirs nuageux peu marqués sont quasiment impossibles à remarquer [15]. A la différence des tornades, les trombes d'eau en Suisse sont largement documentées avec des photographies.

Le fait que le nombre de tornades soit relativement faible en Suisse et que leur intensité soit, en principe, faible est sans doute lié à la présence des Alpes. Aux États-Unis, l'air subtropical chaud et humide, constituant l'énergie propre de la tornade, a la possibilité de se frayer un large chemin vers le Nord à partir du Golfe du Mexique, sans rencontrer d'obstacles. En revanche, l'arc alpin représente, en fonction du type de courant, un obstacle considérable à l'air méditerranéen chaud et humide s'écoulant vers le nord.

Le danger de formation de tornades est, également en Suisse, le plus important durant les chaudes journées d'été, en présence de tendance orageuse marquée. L'ouest du massif du Jura, très connu comme zone de formation d'orages, semble tout particulièrement réunir les conditions favorables à la formation de tornades (Fig. 3.4-21). La plus grande fréquence a été observée jusqu'à présent dans la Vallée de Joux et dans la région de La-Chaux-de-Fonds. Les tornades se produisent le plus souvent en août et un peu moins fréquemment en juin [16].

Fig. 3.4-21 : Tornades (T) enregistrées en Suisse. La lettre W désigne les tornades se formant au-dessus d'étendues d'eau, que l'on appelle souvent « trombes d'eau » dans le langage courant [79].



Même si les observations enregistrées depuis 1890 (Tableau 3.4-57) concernent essentiellement l'Arc Jurassien depuis le Lac Léman jusqu'au Lac de Constance (Fig. 3.4-22) il ne faut pas exclure qu'une tornade puisse aussi se former dans les Alpes. Les présomptions de tornades ne figurent pas dans le Tableau 3.4-57. La fréquence des événements des 10 dernières années provient du fait que c'est un sujet auquel on prête davantage d'attention aujourd'hui et que les observations sont de plus en plus fréquentes et de mieux en mieux documentées.

Tableau 3.4-57 : Observations de tornades en Suisse de 1890 à 2008

Numéro	Date	Lieu	Puissance
1	19.08.1890	Vallée de Joux	F5
2	30.06.1898	Winterthur	
3	19.07.1912	Schönenbaumgarten (TG)	
4	12.06.1926	La-Chaux-de-Fonds	F2
5	04.06.1932	L'Isle (VD)	
6	23.08.1934	La-Chaux-de-Fonds	
7	23.07.1939	Basel	
8	27.08.1956	Marchairuz	F2
9	26.08.1971	Vallée de Joux	F4
10	??.??.1972	Sugiez	
11	27.09.1982	Villa Luganese	F2
12	06.07.1986	Gippingen / Coblence (AG)	F2
13	06.07.1986	Döttingen (AG)	F1
14	10.07.1995	Les Vieux-Prés (NE)	
15	22.07.1995	Oberhofen (AG)	F1
16	06.07.1997	Urtenen-Schönbühl (BE)	
17	05.06.2000	Wetzikon (ZH)	F0
18	07.06.2000	Wetzikon (ZH)	
19	13.06.2000	Triboltingen (TG)	F1
20	20.06.2000	St. Imier (BE)	
21	04.07.2000	Coblence (AG)	F1
22	07.07.2000	Zäziwil (BE)	F1
23	26.06.2003	Fussach (AUT) Bodensee	F2
24	17.08.2003	Hüttwilen (TG)	F1
25	10.08.2004	Massonens (FR)	F2
26	17.08.2004	Villargiroud (FR)	F1
27	05.07.2005	Gossau (ZH)	F1
28	21.08.2005	Pfyn (TG)	F1
29	28.06.2006	Full (AG)	

Fig. 3.4-22 : Activité des tornades en Suisse, le triangle bleu représentant la zone regroupant plus de 95% des observations de tornades effectuées en Suisse (données provenant de[21], carte de [22])



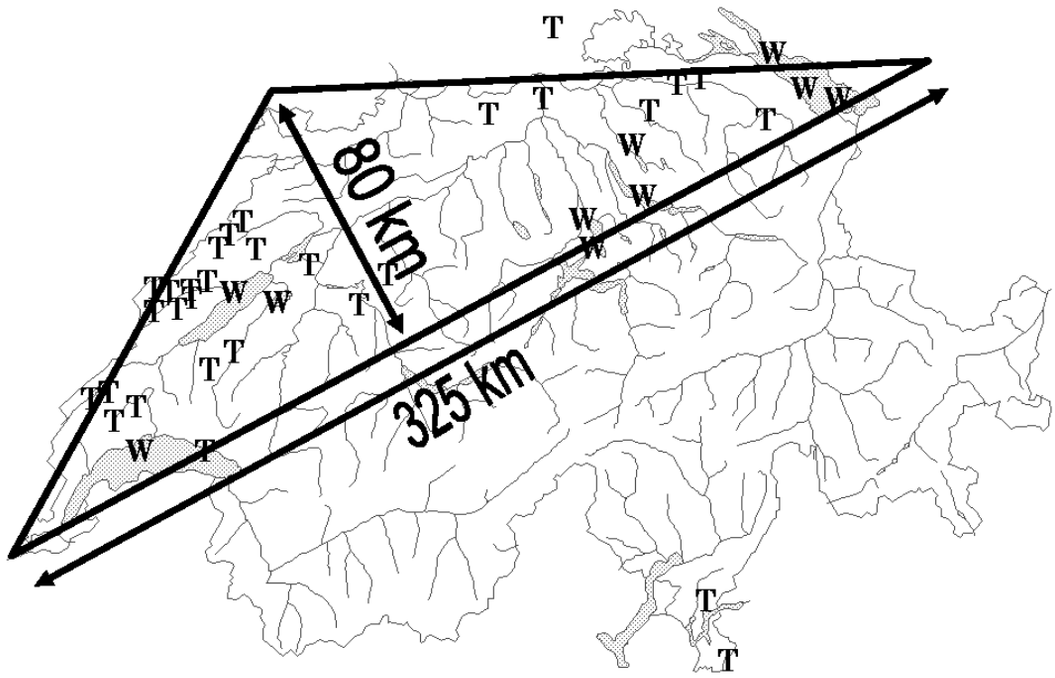
De violentes tornades ont déjà, à plusieurs reprises, provoqué de véritables catastrophes en Suisse. Dans trois cas bien connus et également bien documentés – le 19 août 1890 et le 26 août 1971 à la Vallée de Joux dans le Jura Vaudois, ainsi que le 12 juin 1926 près de La Chaux-de-Fonds – des tornades se déplaçant de SO à NE ont ouvert des percées dans la forêt et détruit de nombreux bâtiments, en partie ou en totalité. Les événements météorologiques constitués de tornades violentes sont résumés au chapitre 3.4.15.

La région nord de la Suisse concernée par les tornades comprend le Plateau central (Mittelland) et le Jura. Une bonne approximation de cette région est donnée par le triangle ayant une base d'environ 325 km (du Lac Léman au Lac de Constance), ainsi qu'une hauteur d'environ 80 km. La région ainsi définie s'étend sur 13 000 km² (Fig. 3.4-23). L'emplacement de la centrale nucléaire de Beznau se trouve à l'intérieur de cette région.

[21] Source: http://www.tordach.org/

[22] Source: http://map.search.ch/

Fig. 3.4-23 : Région du nord de la Suisse concernée par les tornades



Cette région ainsi définie compte 27 observations de tornades sur une durée d'observation disponible de 115 ans (de 1890 à 2005). Les observations de « trombes d'eau » ne sont pas incluses. Ce nombre de 27 observations de tornades concerne bien entendu la limite inférieure du nombre d'événements probable. Il convient en effet de supposer que, pour certains événements de la période citée (1890-2005), il n'existe pas d'observations et, par conséquent, aucune documentation.

La probabilité d'apparition (Φ_t) d'une tornade dans la région définie (13 000 km^2) s'obtient donc de la manière suivante :

$$\Phi_t = \frac{27/115}{13'000} = 1.8 \times 10^{-5} = 0.000018 \quad \text{Tornades par an par km}^2$$

Cela signifie que dans la région du nord de la Suisse ainsi définie il faut compter environ sur deux tornades par km² tous les 100 000 ans.

Sur la période d'observation de 115 ans disponible, cinq violentes tornades (puissance F-1 à F-3, soit T-3 à T-6) se sont produites, avec pour conséquence des dégâts considérables. Nous en déduisons ainsi la probabilité d'apparition de violentes tornades (Φ_{ts}) dans la région définie (13 000 km^2) :

$$\Phi_{ts} = \frac{5/115}{13'000} = 3.3 \times 10^{-6} = 0.0000033 \quad \text{fortes tornades par an par km}^2$$

Cela signifie qu'il faut compter, dans la région du nord de la Suisse ainsi définie, environ sur une violente tornade par km² tous les 300 000 ans.

L'analyse des valeurs extrêmes des vents violents maximaux à partir de la statistique S23 montre également qu'il faut prendre en compte des tornades de puissance T3 (pour Bâle) et T1 (pour Buchs) sur l'échelle de TORRO (T-Scale).

Pour les environs de Beznau, seule l'analyse des valeurs extrêmes des moyennes sur 10 minutes peut nous aider, celle-ci prévoyant néanmoins également des tornades de puissance T-0 (10 m au-dessus du sol) et T-1 (70 m au-dessus du sol). Ces résultats appellent toutefois à une grande prudence d'interprétation, car la durée de vie d'une tornade est en moyenne inférieure à 10 minutes. C'est pour cela qu'il convient d'envisager des événements plus forts pour Beznau, ce que montre également l'étude présentée ci-dessus ainsi que la statistique S48.

Aux États-Unis, qui comptent la plus grande probabilité d'apparition de tornades au monde, il se produit dans la région de plus forte densité de tornades 628 tornades en moyenne par an [21]. On en déduit une fréquence d'apparition de la tornade (Φ_t) de 0.0002 tornade par an et par km^2. Cela signifie que, dans cette région définie des États-Unis, il faut compter environ sur 23 tornades (toutes classes confondues) par km2 tous les 100 000 ans. La probabilité d'apparition y est ainsi environ 10 fois supérieure à celle de la Suisse.

Dans les classes de puissance allant de F-2 à F-4, il se produit 159 tornades par an dans la région de tornades indiquée [21]. On en déduit une fréquence d'apparition de tornades (Φ_t) de 0.00006 tornade par an et par km^2. Cela signifie que, dans cette région définie des États-Unis, il faut compter sur 18 tornades environ de classe de puissance allant de F-2 à F-4 par km² tous les 300 000 ans. La probabilité d'apparition y est ainsi environ 18 fois supérieure à celle de la Suisse.

La formation de violentes tornades avec graves conséquences se fait pratiquement toujours en présence de foyers orageux de forte intensité (que l'on appelle encore des orages supercellulaires). Les violentes tornades doivent en Suisse être considérées comme des événements météorologiques extrêmes et doivent être examinées dans le cadre de la question du changement climatique.

En Suisse, d'après Dotzek [80] et selon les prescriptions de l'Autorité de surveillance nucléaire [81], il faut considérer une probabilité de 2 à 3 tornades par an. Cela donne un nombre de 240 à 350 tornades pour la période de 1890 à 2008. Certes, ces chiffres sont très loin du nombre d'observations documentées (Tableau 3.4-57) , mais il convient de remarquer que c'est un sujet auquel on prête une attention beaucoup plus grande aujourd'hui et que beaucoup plus de tornades sont aujourd'hui constatées et documentées. Il suffit de regarder la dernière décennie (1999-2008) avec ses 13 observations, auxquelles on peut également ajouter les 15 observations présumées ; cela donne une valeur de 2.8 tornades par an, valeur correspondant à celle indiquée par Dotzek [80].

Evénements météorologiques de type tornade dans les environs du site (Statistique S48)

Le Tableau 3.4-58 montre les événements de type tornade ayant été documentés dans les environs immédiats de Beznau.

Tableau 3.4-58 : Historique des observations de tornades dans la région de Beznau[23] et estimations de la pression du vent pW

Lieu	Date	Puissance échelle T	Puissance échelle F	Pression du vent [N/m²]
Döttingen, Gippingen AG	06.07.1986	T4 (52-61 m/s)	F2	2450–3370
Oberhofen AG	22.07.1995	T3 (42-51 m/s)	F1	1600–2360
Coblence	04.07.2000	T2 (33-41 m/s)	F1	990–1525
Full AG	29.06.2006	T0 (17-24 m/s)	F0	260–525

La statistique S49 montre, comme base de comparaison, les vitesses de vent maximales et la pression du vent pour les événements historiques de type tempête en Suisse.

Evénements météorologiques de type tempête en Suisse (Statistique S49)

Tableau 3.4-59 : Tempêtes violentes historiques en Suisse[24] fn et pressions du vent estimées pW

Nom de la tempête	Date	Vitesse maximale des rafales	Pression du vent [N/m²]
Vivian et Wiebke	Février 1990	79 m/s (Jungfraujoch)	environ 4000
		44 m/s (Plaine)	environ 1700
Lothar	Décembre 1999	69 m/s (Jungfraujoch)	environ 3100
		44 m/s (Plaine)	environ 1700
Kyrill	Janvier 2007	63 m/s (Glacier d'Aletsch)	environ 3000
		31 m/s (Plaine)	environ 850
Emma	Mars 2008	62 m/s (Refuge Konkordia)	environ 2700
		39 m/s (Plaine)	environ 1350

[23] Source : http://www.tordach.org/

[24] Source: Article *Liste von Wetterereignissen in Europa*: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Etat: 26 juillet 2008, 10:41 UTC

Les exposés montrent la possibilité de puissants événements venteux, voire de tornades sur le site. Dans le cadre de la conception des mesures de prévention des accidents d'origine externe, il est prévu de tabler sur des puissances de tornades allant jusqu'à T-6. , Les probabilités d'apparition de tornades et leurs puissances sont fixées dans le cadre de la détermination des spécifications de risques pour la demande de l'autorisation de construire. La comparaison avec les données relatives à la situation aux États-Unis d'Amérique montre cependant que le danger lié aux tornades est beaucoup plus important là-bas, ce qui conduit à la prise de mesures adéquates lors de la conception d'installations standard.

3.4.5.8 Foudre

L'activité de la foudre en Suisse a un caractère fortement saisonnier. Pendant les mois d'hiver, on n'enregistre pratiquement jamais de foudre. La saison de la foudre commence au mois de mai pour atteindre son point culminant en juillet. La région la plus exposée à la foudre se trouve sur le versant sud des Alpes. La densité de foudroiement est enregistrée depuis 2000.

Densité de foudroiement (Statistique S50)

Fig. 3.4-24 : Répartition de la densité de foudroiement chaque année de 2000 à 2007. Le cercle noir matérialise le site de Beznau

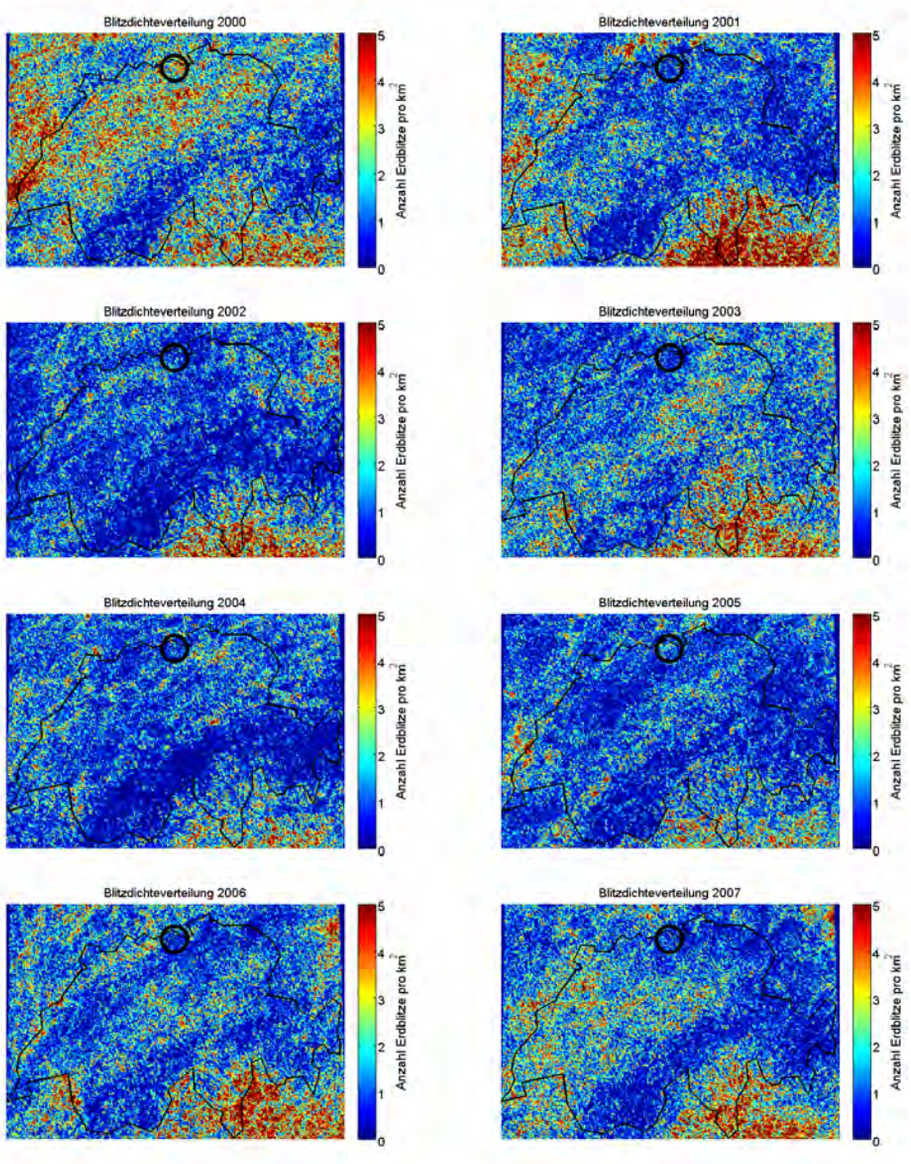


Fig. 3.4-25 : Répartition mensuelle de la densité de foudroiement durant la saison de faible activité de la foudre, de novembre à avril. Le cercle noir matérialise le site de Beznau

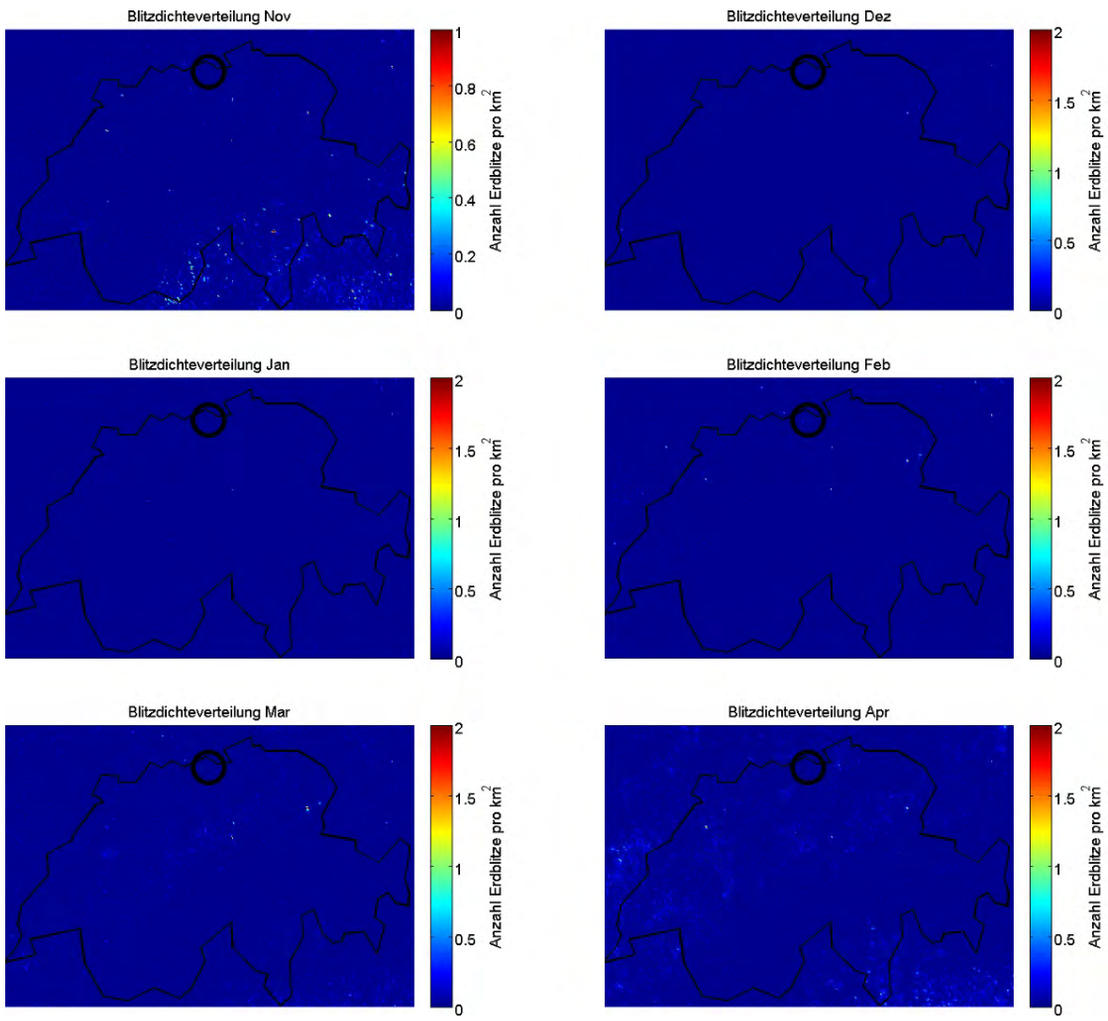
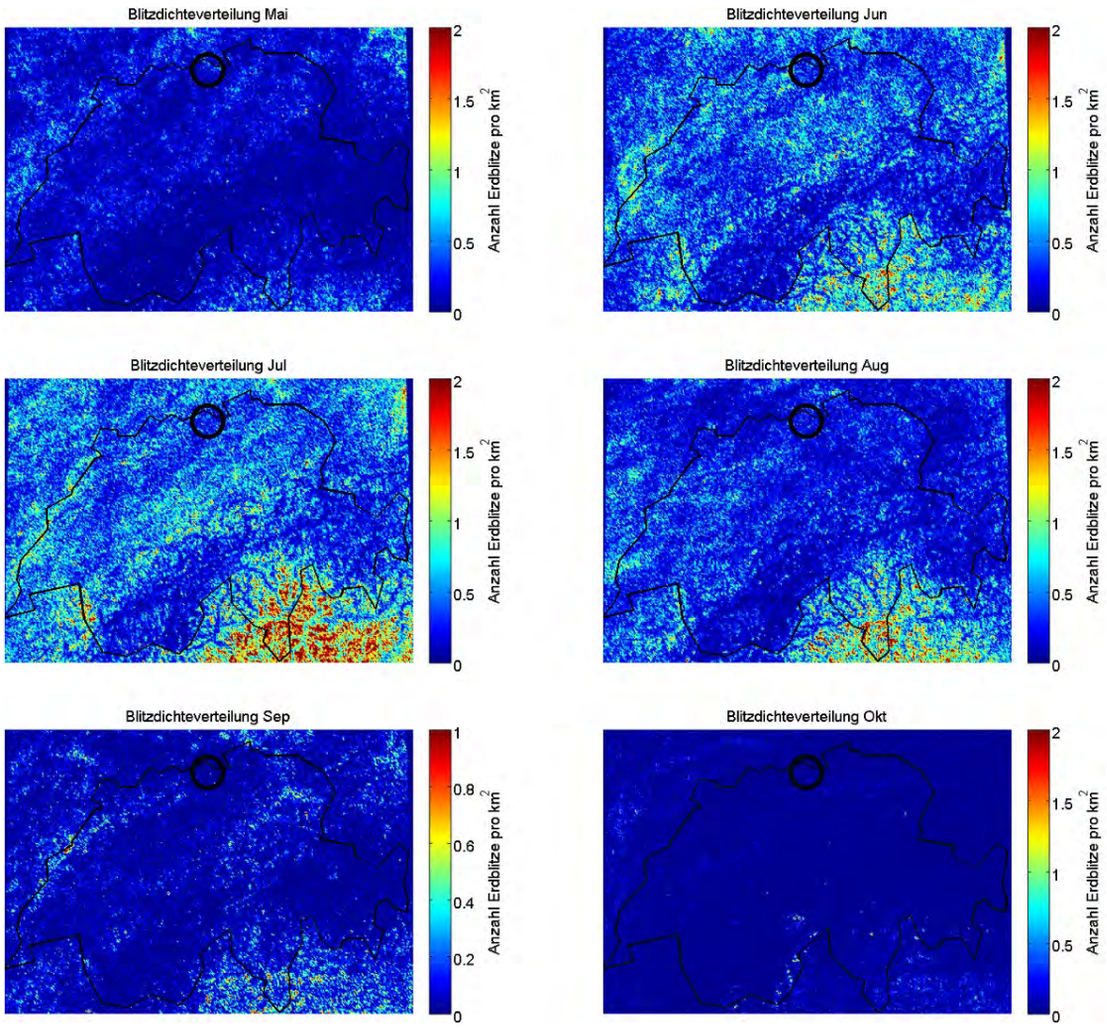


Fig. 3.4-26 : Répartition mensuelle de la densité de foudroiement durant la saison de forte activité de la foudre, de mai à octobre. Le cercle noir matérialise le site de Beznau



Densité de foudroiement (fréquence), site de Beznau (Statistique S51)

Le site de Beznau présente moins d'impacts de foudre que les zones alentours. Cela peut se constater sur les densités de foudroiement plus importantes obtenues si l'on considère une zone plus large autour de Beznau (voir Tableau 3.4-60).

Tableau 3.4-60 : Densité de foudroiement autour de Beznau pour différentes grandeurs de zones autour du site

Densité de foudroiement *b* [nombre d'impacts de foudre / (km² année)]	Zone carrée autour de Beznau [km²]
0.80	0.75
1.04	6.79
1.04	18.85
1.12	36.94
1.11	61.07
1.12	91.23
1.11	127.42
1.10	169.64
1.12	217.90
1.13	272.18
1.14	332.50
1.16	398.85
1.17	471.23
1.19	549.65
1.20	634.09
1.21	724.57
1.22	821.08
1.22	923.62
1.56	Toute la Suisse

Fréquence et probabilité de foudre sur le site (Statistique S52)

Le nombre d'impacts de foudre *n*, venant frapper une certaine zone, se calcule en multipliant la densité de foudroiement *b* par la superficie *A* de la zone :

$$n = b \cdot A$$

Beznau est situé sur une île de l'Aar, d'une superficie d'environ A_{Beznau} = 0.210 km^2. Avec une densité de foudroiement de b_{Beznau} = 0.8 impacts de foudre/km^2 par an,

n_{Beznau} = 0.17 impact de foudre

vient frapper l'île en un an. Cela correspond à 1 fois tous les 5.9 ans.

Le système d'enregistrement des impacts de foudre donne également des informations sur l'intensité du courant de foudre. Ces informations sont prises en compte pour l'élaboration du système de protection contre la foudre dans le cadre de la demande de l'autorisation de construire.

3.4.5.9 Classes de diffusion pour le site de Beznau

La détermination des classes de diffusion a été faite d'après le document KTA 1508 [82]. Les catégories de diffusion A à F ont été déterminées à partir du gradient de température et de la vitesse moyenne à 10 m de hauteur d'après le tableau 7-2 du document KTA 1508 déjà cité.

Statistiques de diffusion à 4 paramètres selon KTA 1508

Les statistiques de diffusion à 4 paramètres se basent sur les données relevées de 1989 à 2007, les données relatives aux précipitations n'étant disponibles que depuis octobre 1988.

Les statistiques détaillées de diffusion à 4 paramètres figurent en annexe 12.

Les classes de diffusion se subdivisent en catégories allant de très instable (A) à très stable (F) en passant par neutre (C et D), en fonction du gradient de température et de la vitesse du vent (d'après [82]).

La catégorie D représente la situation neutre. Elle se caractérise par une légère diminution de la température en fonction de l'altitude ou du fait de vitesses de vent élevées. La catégorie A correspond à la situation très instable. Elle est caractérisée par une très forte diminution de la température en fonction de l'altitude et avec des vents faibles. L'échauffement important du sol en raison du rayonnement solaire important durant les mois d'été conduit à de tels gradients élevés de la température. La catégorie F correspond à la situation très stable. Elle se caractérise par une augmentation de température en fonction de l'altitude (inversion de température) créée la nuit par un refroidissement plus important du sol associé à des vents faibles. Cet effet se produit plus souvent durant les nuits d'été que durant les nuits d'hiver.

Les statistiques S53 et S54 permettent de voir que la catégorie D est celle qui prédomine sur presque un tiers du temps. Il en va également ainsi pour la répartition mois par mois. Ce n'est que dans la répartition mois par mois en fonction des périodes de jour et de nuit (statistique S55) que cette prédominance s'estompe. De jour durant les mois d'été, la catégorie A a une fréquence équivalente. De nuit et durant la période allant du printemps à l'automne, ce sont les catégories E et F qui prédominent.

Statistique S53

Tableau 3.4-61 : Fréquence des catégories de diffusion A à F. Toutes les heures ont été prises en compte de 02/1987 à 12/2007.

Classe	Nombre d'heures 1987-2007	Pourcentage de temps
Classe A :	19293 h	10.5%
Classe B :	13494 h	7.4%
Classe C :	34791 h	19.0%
Classe D :	54578 h	29.8%
Classe E :	31820 h	17.4%
Classe F :	25562 h	13.9%
Mesures manquantes :	3797 h	2.1%

Statistique S54

Tableau 3.4-62 : Nombre d'heures par mois pour chaque classe de diffusion de 02/1987 à 12/2007.

Classe	A	B	C	D	E	F	Mesures manquantes
Janvrier	1043	1533	3720	4694	2137	1026	727
Février	1035	1107	3203	4303	2372	1936	275
Mars	1533	1154	3238	4242	2439	3018	0
Avril	1902	1344	2927	3910	2041	2929	67
Mai	2139	1104	2663	4291	2423	2994	10
Juin	2166	1012	2298	4518	2604	2395	127
Juillet	2147	950	2361	4490	3094	2567	15
Août	2356	927	1982	4117	3378	2795	69
Septembre	1817	817	2071	4593	3394	2338	90
Octobre	1234	829	2647	5234	3205	1845	630
Novembre	919	1059	3423	5132	2607	915	1065
Décembre	1002	1658	4258	5054	2126	804	722

Statistique S55

Tableau 3.4-63 : Nombre moyen d'heures par mois pour chaque classe de diffusion de jour (de 6h à 18h TU)

Classe	A	B	C	D	E	F
Janvier	42	49	103	110	34	16
Février	45	41	94	99	32	22
Mars	70	50	112	97	26	18
Avril	89	59	104	85	14	6
Mai	99	50	100	101	16	6
Juin	100	46	88	105	13	6
Juillet	100	44	95	108	19	5
Août	111	42	82	102	21	12
Septembre	86	38	82	105	26	21
Octobre	57	34	89	114	35	29
Novembre	39	37	98	109	36	15
Décembre	35	49	110	114	33	14

Tableau 3.4-64 : Nombre moyen d'heures par mois pour chaque classe de diffusion de nuit (de 18h à 6h TU

Classe	A	B	C	D	E	F
Janvier	10	28	83	125	73	35
Février	5	11	59	106	81	71
Mars	3	5	42	105	91	126
Avril	1	5	35	101	83	133
Mai	3	3	27	103	99	137
Juin	3	2	22	110	111	108
Juillet	2	2	17	105	128	117
Août	1	2	12	94	140	121
Septembre	1	1	17	113	136	90
Octobre	2	6	37	136	118	59
Novembre	5	13	65	136	88	29
Décembre	13	30	93	127	68	24

Les tableaux du chapitre 3.4.13 montrent la répartition des vents dans les différentes catégories de diffusion pour différentes quantités de précipitations. Par temps humide (approx. 13% du nombre total d'heures de l'année), c'est la direction de vent de secteur sud à ouest qui domine, avec des catégories de diffusion neutres (C et D). Par temps sec, chaque catégorie de diffusion peut être associée à une répartition des vents particulière.

A partir de données météorologiques pluriannuelles, il est possible de déterminer les facteurs de diffusion et les facteurs de lavage à long terme pour le site de Beznau, lesquels sont nécessaires à l'analyse de la propagation et du dépôt de matières radioactives en cas d'émissions depuis les installations nucléaires, cette analyse étant réalisée à l'aide de modèles de calcul de dose conformes à la directive G14 de la DSN. A l'aide de plusieurs modèles, il est fait appel à deux facteurs de diffusion à long terme servant de base aux calculs de dose conformément à la directive G14 :

- Un modèle d'immersion permet de déterminer un facteur de diffusion à long terme, servant aux calculs de dose sur la base des voies d'exposition « inhalation, rayonnement du sol et ingestion ». Pour le calcul de l'exposition aux rayonnements issus du nuage radioactif, on fait l'hypothèse que la concentration d'activité à proximité du sol est répartie de manière homogène sur l'ensemble du demi-espace.
- Pour les calculs de dose sur la base de la voie d'exposition « irradiation externe par l'air », la répartition réelle de la concentration de particules radioactives dans le nuage doit être considérée. On y parvient généralement à l'aide d'un modèle de submersion ou en effectuant un calcul d'immersion corrigé. Nous employons ici cette dernière méthode pour calculer un facteur de diffusion à long terme de type « submersion » conformément à la directive G14.

Dans tous les calculs d'immersion et de submersion, il est toujours tenu compte de l'influence des bâtiments, des corrections topographiques ainsi que de la hauteur des cheminées.

Pour décrire complètement le dépôt de matières radioactives sur le sol et sur la surface des végétaux, il faut également tenir compte des dépôts humides provenant du nuage. On en déduit également par le calcul les facteurs de lavage à long terme (washout) en utilisant les statistiques météorologiques, une distinction devant néanmoins être faite, en ce qui concerne les dépôts provenant du nuage, entre les aérosols et l'iode d'une part, et le tritium d'autre part.

Les facteurs de lavage et de diffusion ainsi déterminés sont des grandeurs dépendant du site. Ils dépendent de la distance par rapport au lieu de rejet, des conditions de vent ainsi que du secteur de la direction de propagation. Pour des calculs de dose prudents, c'est le lieu où les plus fortes doses sont relevées qui est considéré. Il faut par conséquent toujours déterminer le facteur de diffusion et de lavage maximal à long terme. Selon la directive G14, il n'est pas nécessaire de tenir compte ni des terres non cultivées, ni des zones inhabitées, ni des distances inférieures à 200 m par rapport au lieu de rejet.

Comme nous l'avons vu plus haut, les facteurs de diffusion et de lavage ne dépendent pas de la hauteur de la cheminée d'évacuation, ni de l'influence des bâtiments, en particulier de la tour de refroidissement. Les dimensions de l'installation étant fonction du type de réacteur, elles sont déterminées seulement au stade de la demande de l'autorisation de construire. Par conséquent, les facteurs de diffusion et de lavage sont également déterminés seulement au stade de la demande de l'autorisation de construire.

La détermination des facteurs de diffusion et de lavage selon la directive G14 représente une étape intermédiaire du calcul d'immersion et de submersion. Les calculs de dose relatifs à un site, effectués selon la directive G14, peuvent se baser directement sur les statistiques météorologiques et les données topographiques propres au lieu considéré, indépendamment de facteurs de diffusion et de lavage prédéfinis. La méthode de justification préférée sera fixée dans la demande de l'autorisation de construire.

3.4.5.10 Changements climatiques observés à partir de séries statistiques

3.4.5.10.1 Température

Série statistique de Beznau

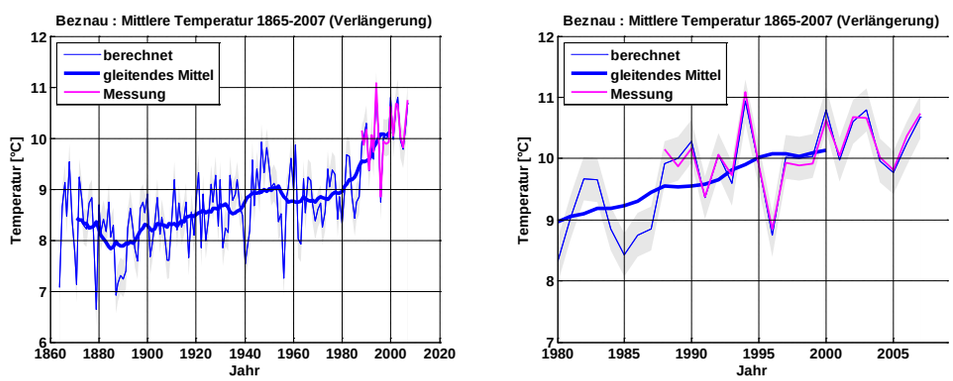
A l'aide de l'analyse de corrélation portant sur plusieurs sites et après avoir constaté que des coefficients de corrélation élevés n'avaient été obtenus que pour la température, la série statistique de la moyenne des températures pour Beznau a été portée à 150 ans (voir Fig. 3.4-27).

L'ensemble de la série statistique (ligne en trait bleu fin, l'intervalle de confiance à 50% étant représenté par la surface grisée) pour Beznau a été calculée sur la base des données de mesures homogénéisées de Bâle. De plus, la ligne en trait bleu épais montre la moyenne glissante sur 15 ans. Les mesures propres à Beznau figurent en trait rouge/violet, à titre de comparaison. Le graphique de droite montre un zoom sur le recouvrement dans le temps entre les séries statistiques calculées et mesurées.

Le graphique de droite, avec le recouvrement dans le temps des données statistiques calculées et mesurées à partir de 1988, montre ainsi que les données calculées ont permis d'obtenir des moyennes annuelles correctes.

Il convient de noter, à partir de 1980 environ, une augmentation de la valeur moyenne glissante (sur 15 ans) correspondant à 1 °C environ jusqu'en 2000.

Fig. 3.4-27 : Moyenne des températures à Beznau sur la période 1865-2007



Les nouvelles séries de données ont permis de recalculer certaines des statistiques (Tableau 3.4-65 et Tableau 3.4-66).

Tableau 3.4-65 : Moyennes mensuelles des températures maximales / minimales [°C] sur la période 1865-2008 (Beznau, 10 m au-dessus du sol)

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Min	-6.2	-8.8	1.2	5.7	9.8	12.9	15.4	14.6	9.9	5.1	1.1	-8.5
Max	4.7	6.3	9.1	13.3	17.7	22.5	22.7	22.7	17.5	13.1	7.9	6.3

Tableau 3.4-66 : Moyenne et écart-type mensuels [°C] sur la période 1865-2008 (Beznau, 10 m au-dessus du sol)

	Janv.	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moy.	0.1	1.3	4.8	8.8	13.3	16.5	18.4	17.6	14.2	9.2	4.3	1.2
Ecart-type	2.3	2.5	1.7	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.4	1.5	2.2

Observations générales effectuées au 20e siècle[25, 26]

Au cours du 20e siècle, la température a augmenté dans le monde de +0.6 °C en moyenne. Dans les zones continentales, le réchauffement a été plus fort que cette moyenne mondiale. En Suisse, le réchauffement est compris entre +1.0 °C et +1.6 °C en fonction de la région du pays.

Tableau 3.4-67 : Réchauffement des différentes parties de la Suisse au cours du 20e siècle

Suisse occidentale	Suisse allemande	Versant sud des Alpes
+1.6 °C	+1.3 °C	+1.0 °C

Des changements apparaissent également dans le régime hydrologique. Les précipitations annuelles ont augmenté en Suisse en moyenne de 8%. Sur le versant nord des Alpes, cette augmentation atteint même 20 à 30%. Le nombre des précipitations intensives journalières et des précipitations sur 5 jours a également augmenté.

Du fait que l'évaporation a augmenté simultanément environ de la même quantité à cause de l'élévation de la température, la moyenne annuelle de débit des eaux est demeurée à peu près inchangée. La réduction du volume des glaciers alpins contribue à ce débit pour seulement 1.2% par an.

Parallèlement à l'augmentation de la température de l'air, la température des cours d'eau a, elle aussi, augmenté.

[25] OcCC, 2007: Changements climatiques et la Suisse 2050

[26] Office fédéral de l'environnement OFEV, 2007: Changements climatiques en Suisse

Analyse des séries statistiques sur 150 ans de Bâle et de Berne

Les séries statistiques homogénéisées de la Fig. 3.4-28 présentent la même évolution pour les deux stations sur la période d'environ 150 ans considérée. L'augmentation de la température moyenne au 20e siècle est d'environ 1.7 °C pour les deux stations. La montée est marquante à partir de 1980, période pendant laquelle l'augmentation de température a été de 1 °C en l'espace de 20 ans. En ce qui concerne les minima et maxima journaliers (Fig. 3.4-29) , des différences apparaissent d'une station à l'autre, ainsi qu'entre les minima et les maxima observés sur la période considérée. C'est la raison pour laquelle il est difficile de parler d'une tendance applicable à l'ensemble des données statistiques. Les données ont cependant en commun la même augmentation que celle de la moyenne des températures constatée à partir de 1980.

Fig. 3.4-28 : Température moyenne à Bâle (en haut) et à Berne (en bas) sur la période d'environ 150 ans considérée. La ligne en rouge représente une moyenne glissante des données statistiques sur 15 ans. L'augmentation marquante due au réchauffement apparaît nettement à partir de 1980.

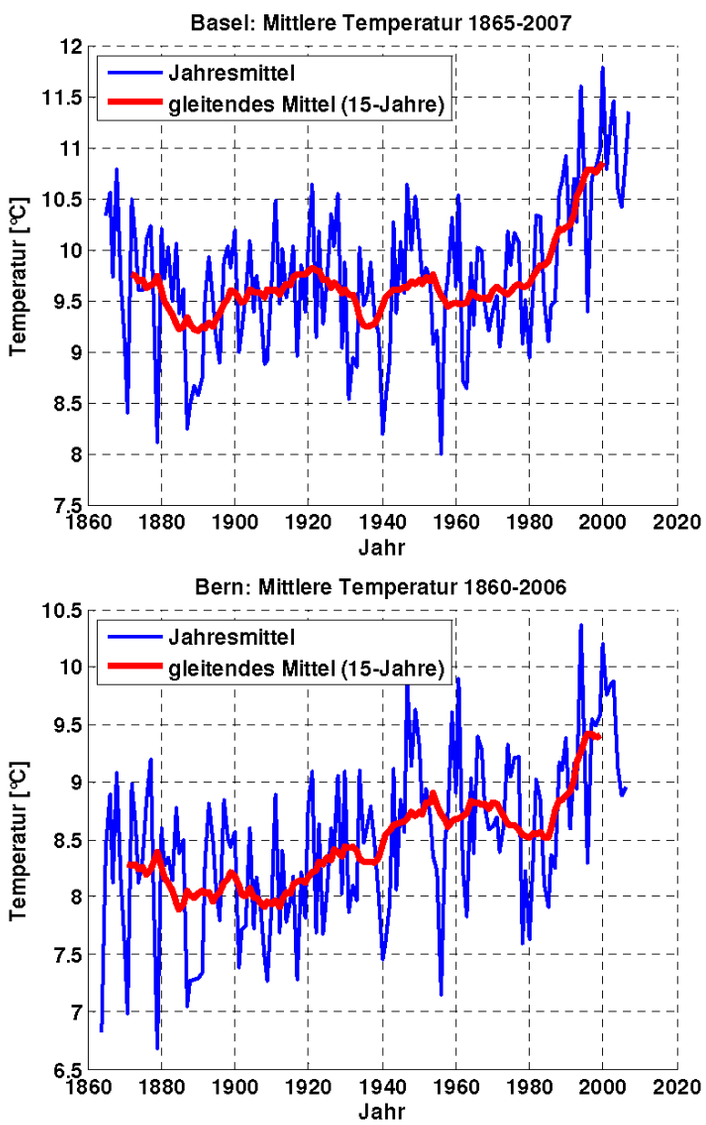
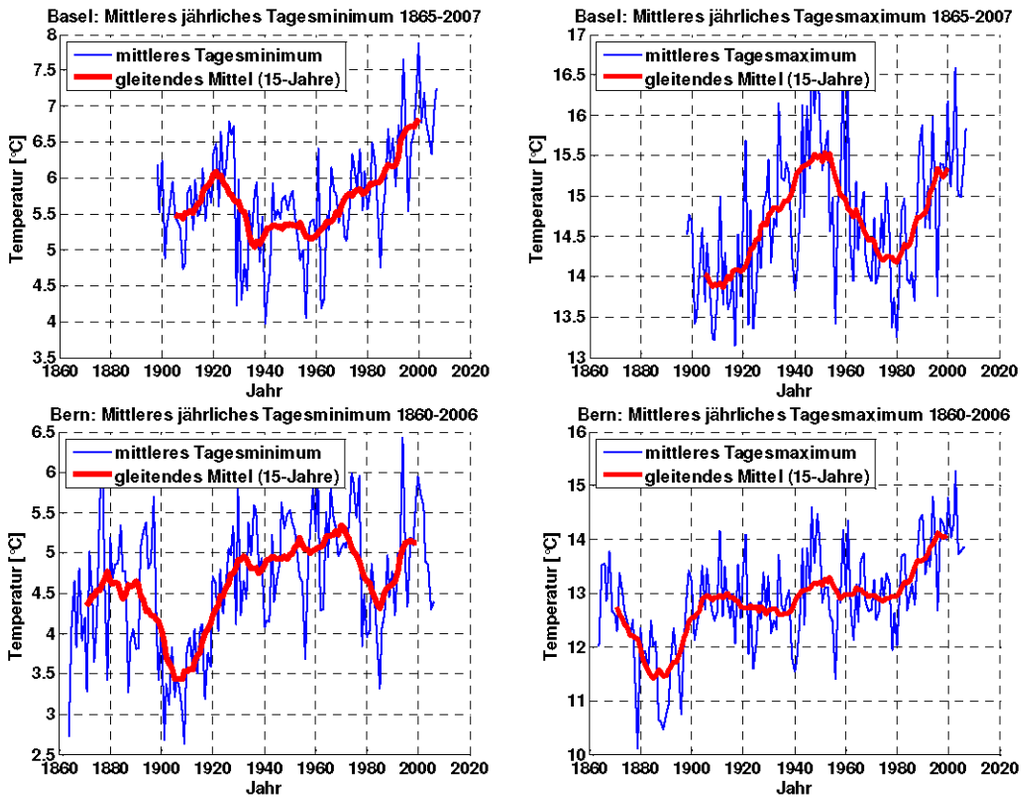


Fig. 3.4-29 : Minima (à gauche) et maxima (à droite) journaliers moyens pour Bâle (en haut) et Berne (en bas). La ligne en rouge représente une moyenne glissante des données statistiques sur 15 ans. Les quatre graphiques montrent une augmentation à partir de 1980.

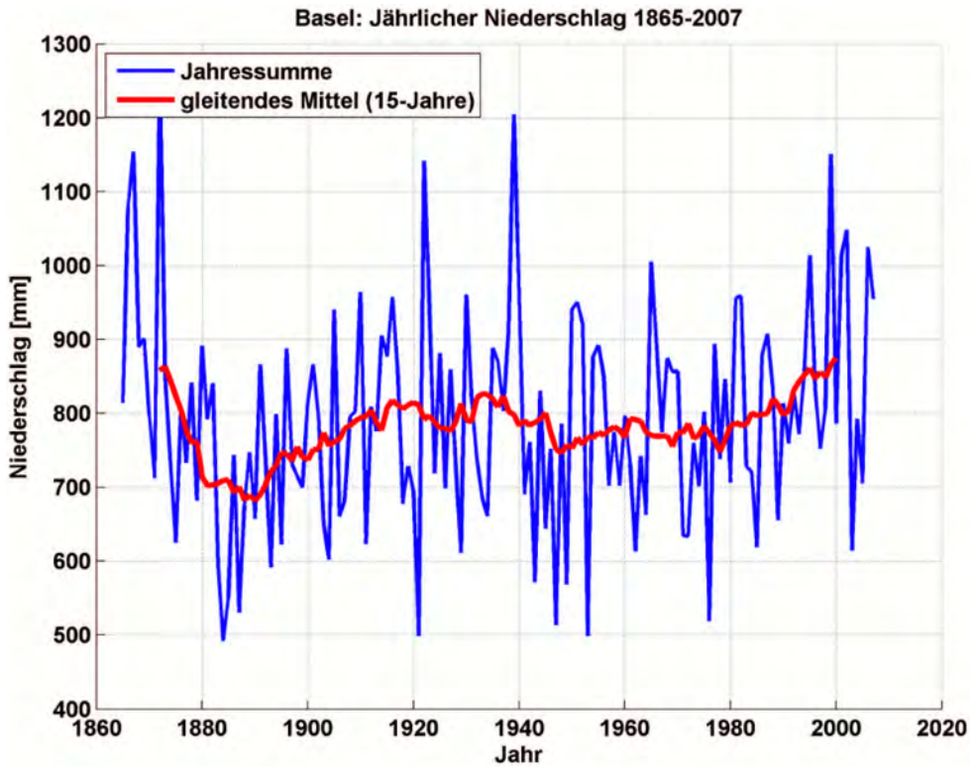


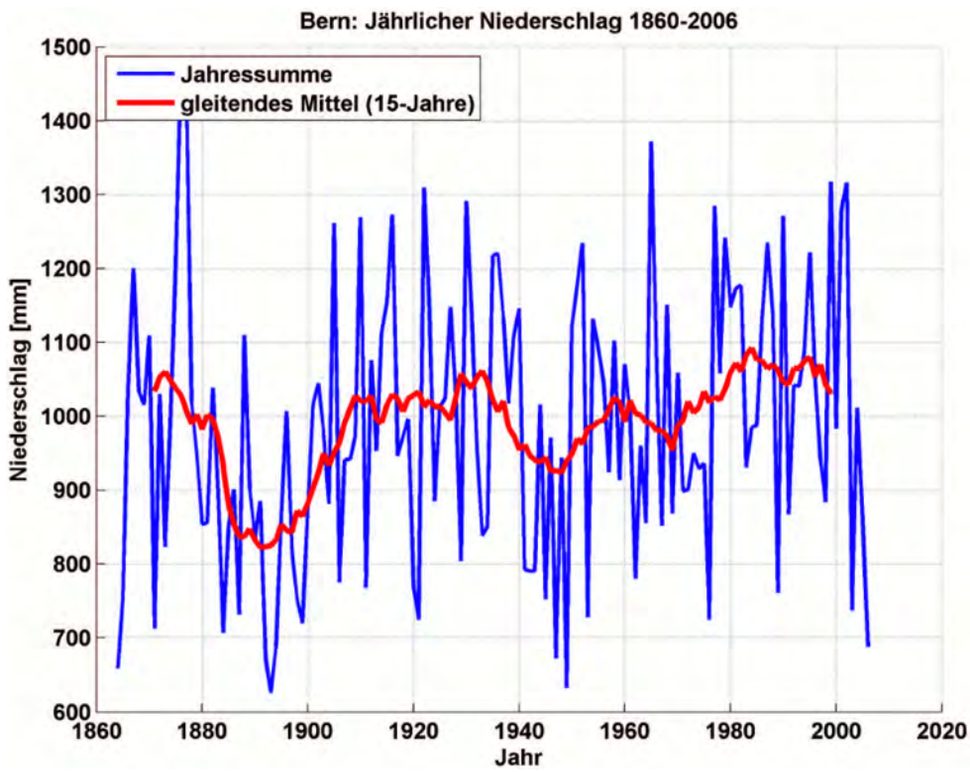
3.4.5.10.2 Précipitations

L'augmentation de 8% des précipitations annuelles entre 1900 et 2000 d'après le rapport de l'OcCC[27] est confirmée par les séries statistiques de la Fig. 3.4-30. On constate également une augmentation à partir de 1980. Il faut cependant noter que la fin du 19ème siècle (1890-1900) avait été une période très sèche alors que, durant la période précédente, les précipitations annuelles avaient à peu près le niveau d'aujourd'hui. L'observation de la moyenne glissante ne permet pas de déduire une tendance sur l'ensemble des 150 ans.

[27] OcCC, 2007: Changements climatiques et la Suisse 2050

Fig. 3.4-30 : Cumul annuel des précipitations à Bâle (en haut) et à Berne (en bas) durant les 150 dernières années. La ligne en rouge représente une moyenne glissante des données statistiques sur 15 ans.





3.4.5.11 Changement climatique au 21e siècle

3.4.5.11.1 Rapport de l'OcCC

3.4.5.11.2

Les considérations qui suivent (pronostics) ne traitent que des valeurs moyennes saisonnières. Les valeurs proviennent du rapport de l'OcCC **Fehler! Textmarke nicht definiert.**, lesquelles sont issues du projet de l'UE intitulé « PRUDENCE ». Pour résumer, on peut dire qu'il fera plus chaud, que les hivers seront plus humides et les étés plus secs.

Température

D'ici 2100, il faut compter avec la poursuite du réchauffement. Il a été tenu compte du développement des émissions de gaz à effet de serre. Les mesures politiques éventuelles n'ont pas été prises en compte. Elles ne pourraient avoir une influence décisive que sur la deuxième partie du siècle.

Tableau 3.4-68 : Scénario mondial. Réchauffement climatique moyen par rapport à 1990. La valeur médiane / moyenne est indiquée avec, entre parenthèses, l'intervalle de confiance à 95% de toutes les simulations

1990 – 2050	1990 – 2100
1.5 °C (0.8-2.4 °C)	3 °C (1.4 -5.8 °C)

Pour la Suisse, l'évolution de température suivante est attendue pour les différentes saisons. La tendance générale est à peu près semblable en hiver, au printemps et en automne. Pour l'été, elle est nettement plus forte.

Tableau 3.4-69 : Scénario régional d'augmentation de la température moyenne par rapport à 1990 pour le versant nord des Alpes suisses. Le tableau montre la valeur médiane / moyenne, l'intervalle de confiance à 95% de toutes les simulations étant indiqué entre parenthèses.

Année	Hiver	Printemps	Eté	Automne
2030	1.0 °C (0.4 -1.8 °C)	0.9 °C(0.4-1.8 °C)	1.4 °C (0.6-2.6 °C)	1.1 °C (0.5-1.8 °C)
2050	1.8 °C (0.9-3.4 °C)	1.8°C (0.8-3.3°C)	2.7°C (1.4-4.7 °C)	2.1 °C (1.1-3.5 °C)
2070	2.6 °C (1.2-4.7 °C)	2.5 °C (1.1-4.8 °C)	3.8 °C (1.9-7.0 °C)	3.0 °C (1.7-5.2 °C)

Précipitations

En ce qui concerne le volume des précipitations, il apparaît une augmentation en hiver (de plus de 10%), une diminution en été (de plus de 20%) et pratiquement pas de changement durant les mois de transition.

Tableau 3.4-70 : Scénario régional d'augmentation relative des précipitations annuelles en % par rapport à 1990 pour le versant nord des Alpes suisses. Le tableau montre la valeur médiane / moyenne, l'intervalle de confiance à 95% étant indiqué entre parenthèses. Les signes représentent une diminution (-) ou une augmentation (+)

Ann.	Hiver	Printemps	Eté	Automne
2030	+4% (-1 bis +11%)	0%(-6 bis +5%)	-9% (-18 bis -3%)	-3% (0 bis -8%)
2050	+8% (-1 bis +21%)	-1% (-11 bis +10%)	-17% (-31 bis -7%)	-6% (-14 bis -1%)
2070	+11% (-1 bis +30%)	-1% (-15 bis +13%)	-23% (-41 bis -9%)	-9% (-20 bis -1%)

Événements

Les estimations quantitatives relatives à la modification de la fréquence des événements extrêmes en Suisse sont encore très incertaines. Des constatations ont été faites en ce qui concerne les extrêmes de température sur les vagues de froid, les vagues de chaleur et les fortes précipitations. Pour ce qui est des autres événements extrêmes, notamment des tempêtes de grêle ou d'orage, l'influence du changement climatique n'a pas encore pu être mise en évidence [18].

3.4.5.11.3 Analyse de MétéoSuisse

MétéoSuisse a également comparé les scénarios d'évolution des températures (Fig. 3.4-31). Les prévisions d'évolution des températures pendant le trimestre d'hiver (DJF) et pendant le trimestre d'été (JJA) sont illustrées à la Fig. 3.4-32. Selon ce scénario, il faut s'attendre à une augmentation de température en hiver pouvant atteindre 4.7 °C environ d'ici 2070. Une augmentation de température encore plus importante est prévue pour le trimestre d'été.

Fig. 3.4-31 : Scénarios d'évolution future des températures (Versant nord des Alpes)

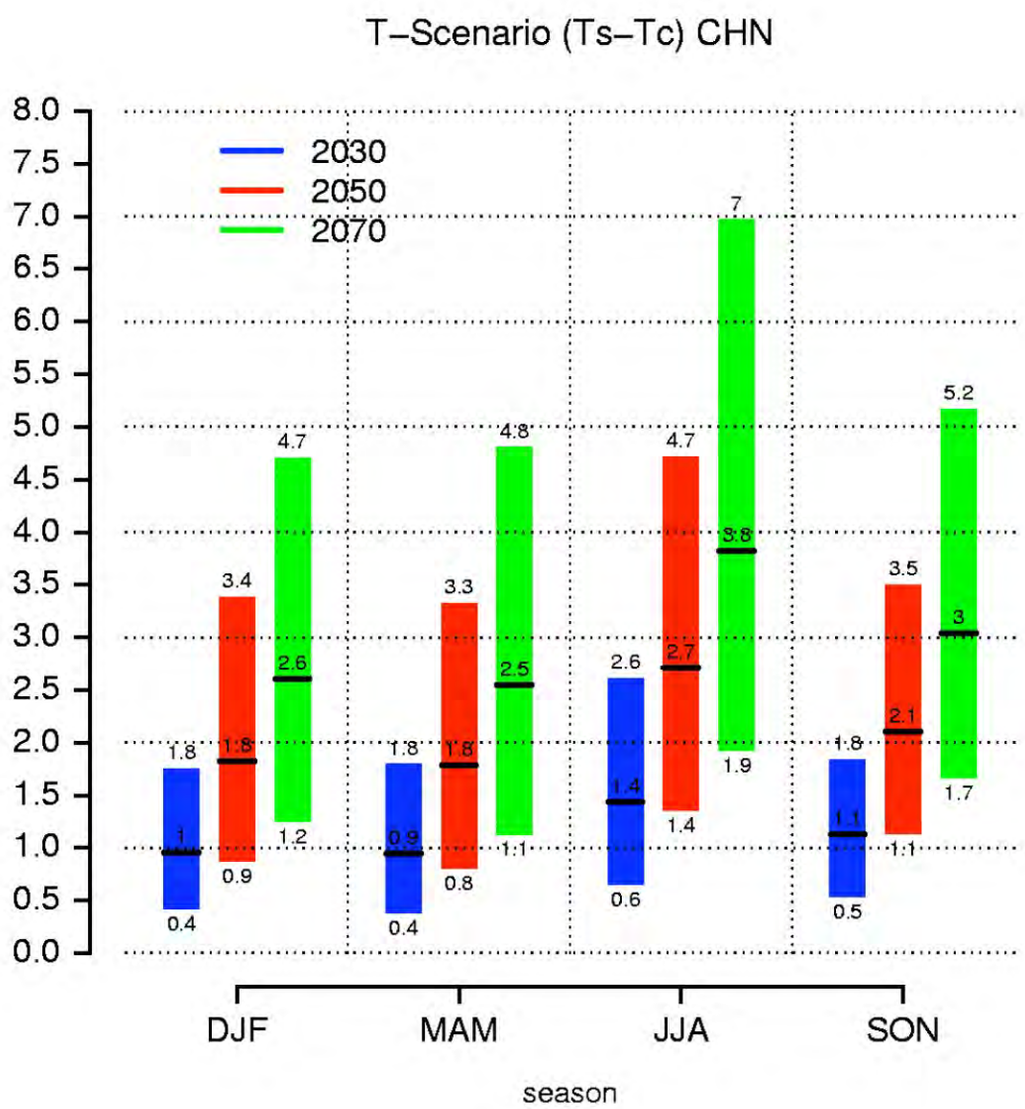
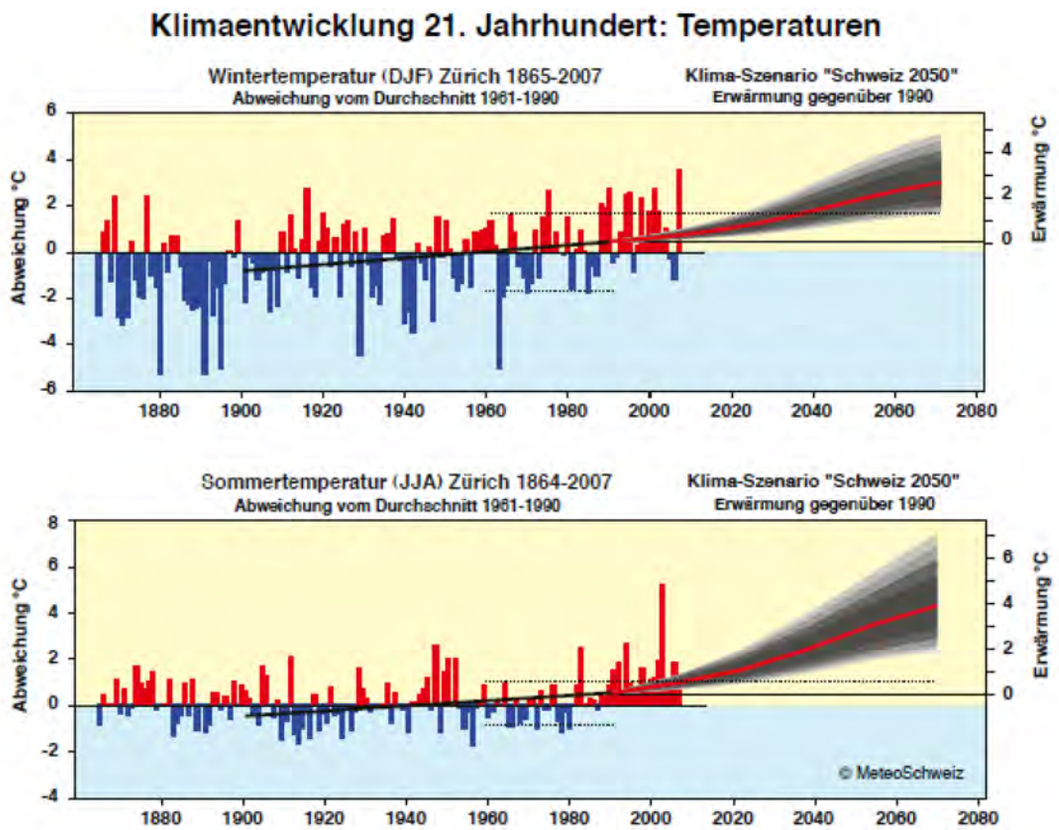


Fig. 3.4-32 : Scénarios d'évolution future des températures, DJF, données à partir de 1865 (voir Fig. 3.4-27)



3.4.5.11.4 Influences des changements climatiques sur les événements extrêmes[28,29]

Température : Le décalage de la répartition de la température vers des températures plus élevées décale également la probabilité d'apparition d'un événement météorologique à 50 et à 100 ans. Autrement dit : la température d'un événement à 100 ans sera plus élevée. Une canicule telle que celle de 2003 demeure rare en cas de faible changement climatique, alors qu'elle est susceptible de se produire beaucoup plus souvent en cas de forte élévation des températures. Simultanément, les périodes de froid se font de plus en plus rares.

Précipitations : Le réchauffement de l'atmosphère permet une plus grande absorption de vapeur d'eau dans l'air, ce qui provoque une accélération du cycle de l'eau. Il faut donc s'attendre à une augmentation de la fréquence des fortes précipitations. Les événements se produisant aujourd'hui une fois tous les 8 à 20 ans se produiront à l'avenir tous les 5 ans.

Neige : Le réchauffement a aussi pour conséquence de faire monter en altitude la limite des chutes de neige et de faire baisser la fréquence de chutes de neige sur le Plateau central (Mittelland). De plus, la neige tombée tiendra moins longtemps.

---

[28] OcCC, 2007: Changements climatiques et la Suisse 2050

[29] OcCC, 2003: Evénements extrêmes et changements climatiques

Sécheresse : Du fait de la diminution des précipitations en été, il faut s'attendre à une plus grande fréquence de périodes de sécheresse durant cette saison.

Tempêtes : Les fortes zones dépressionnaires sont devenues plus fréquentes depuis 1930, leurs trajectoires s'étant cependant décalées vers le nord. Le nombre de jours de forts vents (vents violents > 90 km/h) a diminué en Suisse du nord-est au cours des 150 dernières années. Il n'est pas encore possible d'établir des prévisions sûres sur leur évolution future.

Tornades : Il n'est pas possible d'énoncer des affirmations précises quant à l'évolution de l'activité des tornades en Suisse, les conditions orageuses ayant des caractéristiques différentes d'année en année.

3.4.5.12 Résumé

La topographie locale et l'environnement immédiat ont une influence directe sur les paramètres météorologiques des couches basses de l'atmosphère. Par exemple, des collines avoisinantes peuvent fortement influencer le champ de vent. De même, un fleuve ou un lac à proximité peuvent influencer l'humidité relative. Il faut donc être très prudent si l'on veut étudier un site avec des données statistiques prélevées à une distance de 30 km, si les conditions locales sont différentes. Ce n'est que pour la température et la température de bulbe humide que l'on a pu obtenir de bonnes corrélations entre des données statistiques provenant de sites différents. Les meilleures informations sont donc toujours obtenues par des mesures effectuées sur place.

Il convient également d'être prudent lors de l'interprétation de maxima et de minima historiques, lorsque les séries statistiques ne portent pas sur les mêmes durées. Par exemple, le minimum historique (Statistique S1) pour Bâle de 1981 à 2007 a été mesuré à -23.3 °C en janvier 1987, alors que le minimum observé à Beznau est de -13.3 °C. La série statistique relative à Beznau ne commence qu'en février 1987. Dans la période commune aux deux séries, aucune température inférieure à -15 °C n'a été mesurée à Bâle.

L'analyse des valeurs extrêmes a donné pour Beznau des températures extrêmes sur 100 ans de 37.6 °C (valeur maximale) et de -21.7 °C (valeur minimale). Ces valeurs sont utilisées comme base pour déterminer les paramètres de conception. Il est également tenu compte des résultats des prévisions climatiques, afin de garantir des marges suffisantes pour couvrir les changements climatiques. Les conditions climatologiques à Beznau doivent cependant être considérées comme tempérées, par rapport à d'autres régions comportant des centrales nucléaires (comme p. ex. le sud-ouest des États-Unis, la Finlande ou le Canada).

La combinaison de basses températures et de taux d'humidité élevé durant le semestre d'hiver est typique des vallées du Plateau central suisse et peut conduire à la formation de glace sur les composants et les bâtiments exposés à l'air. Cet aspect doit être pris en compte dans la conception des systèmes d'aération et des cellules et tours de refroidissement.

En ce qui concerne la conception et la réalisation des évacuations des eaux de toiture et autres écoulements d'eau, il est prévu de prendre des mesures afin de garantir leur fonctionnement en cas de conditions hivernales exceptionnelles (neige, givre).

En ce qui concerne les tornades, la région de Beznau / Leibstadt se trouve dans une zone active de la Suisse. Il a été observé dans les environs des tornades de force de niveau T4. Les pressions des rafales de vent se produisant lors des tempêtes ou des tornades dépassent les valeurs de la

norme SIA 261 pour la pression dynamique caractéristique. Malgré cela, l'intensité des tornades (probabilité / force) reste modérée par rapport à d'autres régions du monde. Pour la détermination des charges dues à l'action du vent, il existe suffisamment de données et de valeurs extrêmes obtenues à partir de ces données.

Les valeurs extrêmes relatives aux quantités de précipitation à court, moyen et long terme ont été obtenues à partir de cette base de données. Ces valeurs sont utilisées entre autres pour la conception des systèmes d'évacuation des eaux des bâtiments et du terrain occupé par la centrale. La moyenne annuelle des précipitations sur le Plateau Central (Mittelland) est d'environ 1 000 mm. Cette quantité doit être considérée, là encore, comme modérée par rapport à d'autres régions du monde.

Des données relatives à la répartition de la densité des phénomènes de foudre en Suisse sont disponibles depuis 2000. Les densités d'impacts de foudre qui en résultent pour le site sont plus faibles que la moyenne de l'ensemble de la Suisse. Il faut cependant tabler sur une fréquence d'environ 0.2 impactde foudre par an sur l'île de Beznau. L'installation sera protégée contre la foudre de manière à ce que les conséquences de pannes provoquées par la foudre soient maîtrisées.

Pour le calcul de propagations sur le site, il existe une abondante base de données météorologiques.

D'ici la fin du 21e siècle, il faut tabler sur un réchauffement qui s'étalera sur toutes les saisons, avec une augmentation de la sécheresse en été et des précipitations en hiver.

La périodicité des événements extrêmes a été calculée sur la base de séries de mesures effectuées jusqu'à présent. Il est parfaitement possible qu'un événement se produisant aujourd'hui tous les 50 ans ait à l'avenir une périodicité de 30 ans seulement. Dès les prochaines décennies, les changements climatiques provoqueront déjà des changements en ce qui concerne les événements extrêmes. Les modèles de climat actuels donnent essentiellement des valeurs moyennes et ne sont pas encore en mesure de prédire la variabilité avec suffisamment de précision pour pouvoir donner des résultats significatifs. C'est la raison pour laquelle les analyses sont répétées à intervalles réguliers, avec des séries de mesures de plus en plus longues.

3.4.6 Événements externes

Conformément aux exigences de l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire (article 8), l'installation est protégée contre les accidents de référence ayant leur origine à l'extérieur de la centrale. Cela inclut tous les événements susceptibles d'être causés directement par les conditions météorologiques. Il s'agit des événements suivants :

- Vents violents
- Foudre
- Tornade

D'autres accidents ayant une cause externe à la centrale peuvent être provoqués par des événements ou des conditions météorologiques :

- Inondation provoquée par des précipitations extrêmes ;

- Perte d'alimentation électrique externe en raison de coup de vent, de tornade ou de foudre. Ce type d'accident est traité au chapitre 3.8 « Raccordement au réseau » ;
- Panne de systèmes d'aération ou de refroidissement liés à la sécurité, par givrage des ouïes d'aspiration ou d'autres composants ;
- Entrave ou coupure de l'alimentation externe en eau de refroidissement, provoquée par des conditions météorologiques estivales difficiles ou par la sécheresse, par des conditions météorologiques hivernales particulièrement rigoureuses associées à des températures basses, de faibles apports d'eau et la formation de givre. Cette catégorie d'accident appelée « Entrave de l'alimentation externe en eau de refroidissement » est traitée au chapitre 3.5.

Les constructions et les équipements de la centrale liés à la sécurité sont conçus de telle manière que, en cas d'apparition de ces événements et de leurs conséquences (voir Tableau 2.4-2) , la centrale est mise en sécurité en respectant tous les objectifs de protection et les valeurs limites. Les justificatifs correspondants seront joints à la demande de l'autorisation de construire, comme l'exige l'annexe 4 de l'OENu.

D'autres événements ou conditions météorologiques sont importants pour la conception de bâtiments, de systèmes et de composants liés à la sécurité (voir chapitre 3.4.8), sans toutefois provoquer d'accident :

- Combinaisons de basses températures et d'humidité de l'air élevée, susceptibles de provoquer le givrage de systèmes et de composants de conduites d'aération ou le givrage de câbles d'alimentation électrique (lignes aériennes). La centrale sera protégée en conséquence contre de telles influences. Les accidents pouvant éventuellement en résulter seront traités dans le cadre des mesures contre les risques d'accidents internes à la centrale, puisqu'ils se produisent en cas de défaillance ou de dysfonctionnement de certains composants. Ces mesures de protection sont prises dans le cadre de l'élaboration de la demande de l'autorisation de construire.
- Les canalisations d'évacuation des eaux de la centrale (bâtiment et terrain occupé par la centrale) sont dimensionnées de manière à ce que des précipitations extrêmes et prolongées ne provoquent pas l'inondation du terrain ou des bâtiments.
- Lors de la conception des bâtiments et des composants exposés, il est tenu compte des résultats des analyses des valeurs extrêmes effectuées sur la température, le vent, la neige et la grêle.

3.4.7 Evaluation de l'adéquation du site compte tenu du climat

Les conditions météorologiques du site correspondent aux conditions météorologiques typiques d'Europe centrale pour des emplacements situés à faible altitude. Il n'existe aucune condition météorologique susceptible de remettre en question l'adéquation du site.

La situation dans une vallée du Plateau central, associée à une tendance à une forte humidité combinée à des températures basses, peut présenter un risque de formation de givre sur les composants exposés à l'air. Il convient de tenir compte de cette caractéristique lors de la conception des composants correspondants.

3.4.8 Mise en œuvre lors de la conception

3.4.8.1 Procédure pour l'autorisation de construire et l'autorisation d'exploitation

En fonction du type de réacteur qui sera choisi, le refroidissement des composants et des bâtiments liés à la sécurité devra faire appel à de l'air extérieur. Les conditions météorologiques conditionnent la conception des tours de refroidissement ou des autres installations d'évacuation de chaleur liés à la sécurité. Ces conditions propres au site ont été détaillées au chapitre 3.4.5. Les valeurs extrêmes de température de l'air et d'humidité sur site ne constituent pas des conditions marginales inhabituelles pour la conception des systèmes.

Les spécifications de conception correspondantes, relatives aux systèmes d'aération ou aux systèmes d'évacuation de chaleur et liées à la sécurité sont décrites dans le rapport de sécurité en vue de l'obtention de l'autorisation de construire, conformément à l'annexe 4 de l'OENu.

Les nuisances dues à la météorologie seront prises en compte, le cas échéant, lors de la conception des bâtiments, des structures et des composants. Ceci comprend les charges dues au vent et aux tempêtes, les volumes de précipitations et les charges dues à la température. Les valeurs de tels paramètres propres au site restent comprises à l'intérieur des valeurs limites fixées pour la conception de bâtiments et de structures.

Dans le cadre de l'élaboration de la demande de l'autorisation de construire, les données météorologiques et climatologiques seront mises à jour puis documentées et évaluées dans le rapport de sécurité.

Lors de la conception de la centrale dans le cadre de la demande de l'autorisation de construire, les risques seront décrits et classés (ingénierie du réacteur de type R1), en partant des conditions climatologiques. Les spécifications des risques seront préparées à partir de cet inventaire (centrale complète G1) et transformées en paramètres d'ingénierie (génie civil B1). Les équipements et les ouvrages seront classés (Ingénierie système S1, génie civil : B1). Les analyses préliminaires d'accident seront réalisées (ingénierie réacteurs R2).

La conception de la protection de la centrale contre la foudre sera traitée dans ce cadre. Conformément à la directive R-30 de la DSN, un concept de protection contre la foudre sera présenté avec la demande de l'autorisation de construire.

La détermination de la méthode permettant de justifier le calcul des ouvrages se fait dans le cadre de la première validation des bâtiments (annexe 4 B2 OENu). Cette étape comprendra également la définition des spécifications de conception, des critères de dimensionnement, des hypothèses

de charge, la modélisation des ouvrages porteurs, des solutions d'ancrage et des différents comportements des étages. Les charges induites par les conditions climatologiques seront spécifiées, prises en compte et documentées dans le calcul des bâtiments. Cette méthode comprend également les charges dues à la neige ainsi que les volumes de précipitations. Les spécifications tiendront compte des conditions extrêmes, permettant de couvrir avec une marge suffisante les valeurs extrêmes attendues sur la durée de vie de la centrale.

En ce qui concerne les équipements mécaniques et électriques, des spécifications de conception et des prescriptions de qualification seront également préparées et remises à l'organisme compétent (M2, E2). Les conditions climatologiques seront prises en compte si besoin est. Ceci s'applique notamment à la conception des installations de climatisation et des systèmes de refroidissement, qui dépendent de la température de l'air et de l'humidité. Les équipements exposés aux intempéries seront également conçus en fonction des conditions limites.

La détermination des paramètres de conception tiendra compte des influences des changements climatiques actuellement envisagées.

En vue d'obtenir l'accord de mise en exploitation, les justificatifs de mise en tension ou de portance et d'utilité admissibles des ouvrages seront communiqués pour la validation des bâtiments (B3), ainsi que les justificatifs correspondants pour les équipements.

Il sera également fait application des paramètres météorologiques calculés, en déterminant par calcul les doses de radiation dans les environs, en exploitation normale de la centrale et en cas d'accident.

Pour l'évaluation des conséquences radiologiques issues d'accidents de référence, les autorités de tutelle déterminent les conditions météorologiques limites à prendre en compte pour chaque site. Pour la conception des ouvrages ayant une influence sur la propagation, il sera également tenu compte des valeurs mesurées au plan local et régional.

Il n'est possible de déterminer les doses de radiation que sur la base de la connaissance précise des conditions de vents. Il est important de considérer, entre autres, le vecteur de vitesse, la turbulence ainsi que la stabilité thermique, lesquels dépendent à leur tour des gradients verticaux de température.

Les mesures réalisées simultanément pour la température de l'air, l'humidité de l'air et le volume des précipitations doivent donner une image complète du climat.

La connaissance des conditions météorologiques et climatologiques du site est suffisamment précise pour permettre d'estimer la propagation de matières radioactives en exploitation normale ainsi qu'en cas d'accidents majeurs et pour déterminer les secteurs à risques en cas d'accident.

Selon l'article 81, alinéa 4 ORaP, l'autorité d'autorisation ou de surveillance peut requérir une expertise météorologique et de mesures du niveau relatif à zéro, avant la mise en exploitation de l'installation. Pour le site de Beznau, ces opérations de contrôle et ces mesures seront effectuées au cours des trois années précédant lala mise en exploitation de EKKB.

3.4.8.2 Normes SIA

Pour les paramètres météorologiques relatifs à la neige et au vent, il convient de se reporter aux chapitres 5 et 6 de la norme SIA 261 de l'année 2003 : « Actions sur les structures porteuses ». En outre, on se reportera à la fiche technique SIA 2028 « Données climatiques pour la physique du bâtiment, l'énergie et les installations du bâtiment » et à la base de données météorologiques METEONORM.

Neige

Le chapitre 5.1.2 de la norme SIA 261 prévoit que : « La grandeur et la répartition de la charge de neige sont influencées par le climat, la topographie, l'emplacement et la forme de la construction, ainsi que par les effets du vent, la nature de la couverture du toit et les échanges thermiques à la surface de la toiture ».

La valeur caractéristique de la charge de neige q_k est définie par :

$q_k = \mu_i C_e C_T s_k$

μ_i : coefficient de forme de toiture. Ce coefficient dépend de la forme de la toiture.

C_e : exposition au vent. Cette valeur est comprise entre 1.2 (endroit protégé du vent) et 0.8 (endroit fortement exposé au vent).

C_T : coefficient thermique. En général, C_T = 1.0. Il est possible de choisir une valeur plus petite si le processus de la fonte des neiges est accéléré par une forte transmission de chaleur à la surface du toit.

s_k : charge de neige caractéristique sur un terrain horizontal. H_0 représente l'altitude au-dessus du niveau de la mer, plus une correction selon l'annexe D.

$$s_k = \left[1 + \left(\frac{h_0}{350}\right)^2\right] \cdot 0.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Pour Beznau, à 326 m d'altitude, on obtient sk = 0.75 kN/m2 La norme dit cependant qu'il faut compter au minimum sur 0.9 kN/m2.

En raison de l'analyse des données de hauteur de neige mesurées et des déductions effectuées à partir des valeurs sur 100 ans, il convient de tabler sur des charges de neige plus importantes.

Vent

Le chapitre 6.2.1.1 de la norme SIA 261 prévoit que : « La pression dynamique q_p dépend de la nature du vent, de la rugosité du sol, de la forme de la surface du terrain et de la hauteur de référence ». La pression dynamique du vent est également utilisée pour calculer les contraintes appliquées au bâtiment.

La valeur caractéristique est déterminée comme suit :

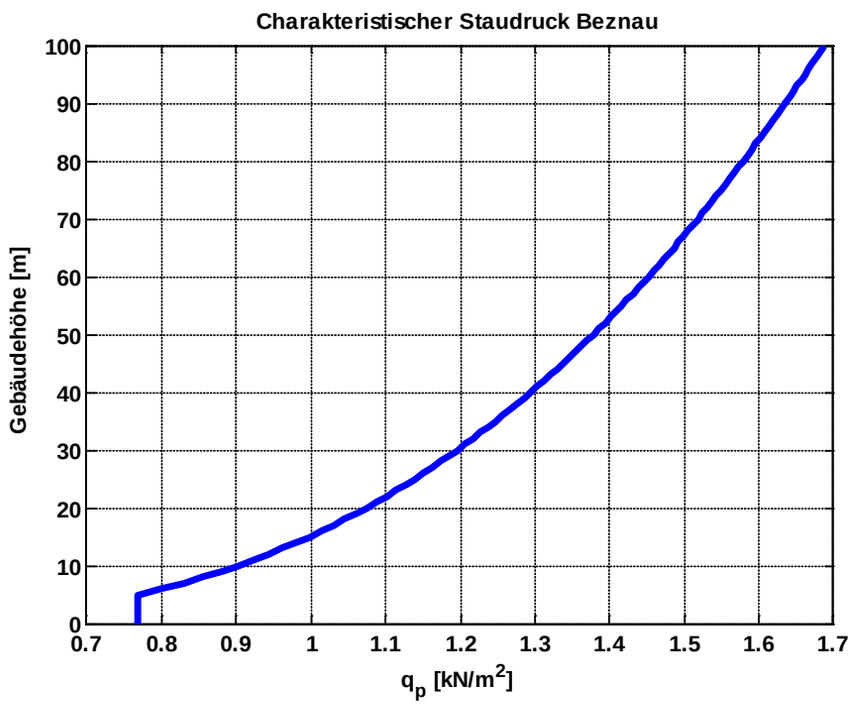
$q_p = c_h q_{p0}$

q_{p0} : valeur de référence, basée sur des rafales de vent observées sur une période de 50 ans, à 10 m de hauteur. Pour Beznau, on obtient, selon l'annexe E, q_{p0} = 0.9 kN/m^2.

C_h : Le coefficient de profil prend en compte la hauteur du vent, z_g étant le gradiant et α_r, le coefficient de rugosité du sol. Ces valeurs sont définies dans le tableau 4 de la norme. En ce qui concerne Beznau, la catégorie de terrain III a été considérée.

$$c_h = 1.6 \cdot \left[\left(\frac{z}{z_g} \right)^{\alpha_r} + 0.375 \right]^2$$

Fig. 3.4-33 : Valeur caractéristique de la pression dynamique pour Beznau selon la norme SIA 261



3.4.9 Annexe 7 : Paramètres relatifs à la sécurité résultant de l'analyse

Tableau 3.4-71 : Paramètres relatifs à la sécurité résultant de l'analyse

Paramètres météorologiques	Paramètres de sécurité
Température	S1 : Maxima et minima historiques S2 : Tableaux indiquant les valeurs maximales / minimales absolues, mois par mois pour l'année sur la période de mesure exploitable S3 : Tableaux indiquant les valeurs moyennes horaires maximales / minimales, mois par mois pour l'année sur la période de mesure exploitable S4 : Tableaux indiquant les valeurs moyennes journalières maximales / minimales, mois par mois pour l'année sur la période de mesure exploitable S5 : Tableaux indiquant les valeurs moyennes mensuelles maximales / minimales, mois par mois pour l'année sur la période de mesure exploitable S6 : Tableaux indiquant les valeurs moyennes mensuelles pour chaque mois de la période de mesure exploitable, calculées d'après les valeurs horaires existantes, ainsi que l'écart-type calculé à partir des valeurs horaires S7a : Tableaux indiquant les moyennes mensuelles des maxima journaliers sur la période de mesure exploitable, ainsi que l'écart-type moyen S7b : Tableaux indiquant les moyennes mensuelles des minima journaliers sur la période de mesure exploitable, ainsi que l'écart-type moyen S8 : Tableaux indiquant les maxima mensuels moyens sur la période de mesure exploitable, ainsi que l'écart-type moyen S9 : Tableaux indiquant les minima mensuels moyens sur la période de mesure exploitable, ainsi que l'écart-type moyen S10 : Maxima et minima historiques des valeurs horaires avec une périodicité de 100 ans
Température de bulbe humide	P4 : Comme pour la température
Humidité relative	P5 : Comme pour la température
Formation de givre	S11 : Bref rapport relatif au risque / potentiel de dépôt de givre sur les installations, y compris les conditions ayant une influence (température / humidité) et les probabilités correspondantes. Indication de toutes les normes applicables.
Pression de l'air	S12 : Valeurs historiques maxima et minima
Vent	S13 : Maxima historiques S14 : Tableaux indiquant les valeurs maximales absolues observées pour les vents violents, mois par mois et pour l'année sur la période de mesure exploitable S15-17 : Tableaux indiquant les valeurs moyennes horaires maximales, mois par mois et pour l'année sur la période de mesure exploitable S18 : Tableaux indiquant les valeurs moyennes mensuelles pour chaque mois de la période de mesure exploitable, calculées d'après les valeurs horaires existantes, ainsi que l'écart-type calculé à partir des valeurs horaires

Paramètres météorologiques	Paramètres de sécurité
	S19 : Tableaux indiquant les maxima mensuels moyens pour chaque mois de la période de mesure exploitable, calculés d'après les maxima horaires existants, ainsi que l'écart-type calculé à partir des maxima horaires (seulement pour les stations supplémentaires) S20 : Graphiques de GEV (distribution de la valeur extrême généralisée) pour les pointes de rafales maximales S21 : Graphiques de GEV pour la moyenne des valeurs maximales sur 10 minutes S22 : Graphiques de GEV pour la moyenne horaire maximale S23 : Tableaux indiquant les valeurs attendues pour un événement à 50, 100 ou 200 ans, ainsi que l'évaluation du domaine d'incertitude, pour les vents violents maximaux S2 : Tableaux indiquant les valeurs attendues pour un événement à 50, 100 ou 200 ans, ainsi que l'évaluation du domaine d'incertitude, pour la moyenne des valeurs maximales sur 10 minutes S25 : Tableaux indiquant les valeurs attendues pour un événement à 50, 100 ou 200 ans, ainsi que l'évaluation du domaine d'incertitude, pour la moyenne horaire maximale S26 : Vitesse de vent (Design windspeed) à considérer sur la base d'une périodicité de 100 ans S27 : Comparaison de la période de dépassement, pour un nombre d'années correspondant et probabilité d'occurrence d'un événement (générique) S28 : Identification des normes applicables et des valeurs normalisées
Précipitations	S29 : Tableaux indiquant les cumuls horaires maximums absolus, mois par mois pour l'année sur la période de mesure exploitable S30 : Tableaux indiquant les cumuls journaliers maximums absolus, mois par mois pour l'année sur la période de mesure exploitable S31 : Tableaux indiquant les cumuls sur 5 jours des maxima absolus, mois par mois pour l'année sur la période de mesure exploitable (seulement pour les stations supplémentaires) S32 : Tableaux indiquant les cumuls mensuels des maxima / minima absolus, mois par mois pour l'année sur la période de mesure exploitable (seulement pour les stations supplémentaires) S33 : Tableaux indiquant les valeurs moyennes mensuelles pour chaque mois de la période de mesure exploitable, calculées d'après les valeurs journalières et horaires existantes, ainsi que l'écart-type calculé à partir des valeurs mensuelles S34 : Tableaux indiquant le nombre d'heures moyen de précipitations, mois par mois sur la période de mesure exploitable, valeurs calculées d'après les valeurs horaires existantes, ainsi que l'écart-type S35 : Tableaux indiquant le nombre de jours moyen de précipitations, mois par mois sur la période de mesure exploitable, valeurs calculées d'après les valeurs journalières existantes, ainsi que l'écart-type (seulement pour les stations supplémentaires) S36 : Graphiques de GEV pour les précipitations sur une heure S37 : Graphiques de GEV pour les précipitations sur une journée S38 : Graphiques de GEV pour les précipitations sur 5 jours S39 : Tableaux indiquant les valeurs attendues pour un événement à 50, 100 ou

Paramètres météorologiques	Paramètres de sécurité
	200 ans, ainsi que l'évaluation du domaine d'incertitude, pour les précipitations sur une heure S40 : Tableaux indiquant les valeurs attendues pour un événement à 50, 100 ou 200 ans, ainsi que l'évaluation du domaine d'incertitude, pour les précipitations sur un jour S41 : Tableaux indiquant les valeurs attendues pour un événement à 50, 100 ou 200 ans, ainsi que l'évaluation du domaine d'incertitude, pour les précipitations sur 5 jours S42 : Précipitations sur une heure avec une périodicité de 100 ans et comparaison avec la valeur obtenue sur 5 minutes S43 : Hauteur de neige maximale sur la base d'une périodicité de 100 ans S44 : Bref rapport relatif au risque/potentiel de chute de certaines quantités de neige sur le site. Indication de toutes les normes applicables S45 : Brève analyse sur la grêle, consistant essentiellement en une recherche bibliographique. Fréquence de grêle éventuelle obtenue à partir d'enregistrements radars de ces dernières années
Rayonnement solaire	S46 : Rayonnement solaire moyen par mois et par heure
Tornades, fortes tempêtes	S47 : Probabilité et intensité des tornades dans la région de Beznau S48 : Rapport sur l'occurrence d'événements observés de type tornade S49 : Description des événements de type tempête violente survenus en Suisse dans le passé, mentionnant notamment les vitesses de vent et les pressions de vent constatées
Foudre	S50 : Graphiques de la répartition mensuelle et annuelle de la densité des impacts de foudre, basés sur les données de « Météorage » pour la période 2000-2007 S51 : Détermination de la densité annuelle moyenne d'impacts de foudre par kilomètre carré sur le site, basée sur les données de « Météorage » pour la période 2000-2007 (moyenne sur plusieurs kilomètres carrés pris autour du site) S52 : Probabilité et violence des impacts de foudre observés depuis 2000 en Suisse et dans la région de Beznau (graphiques et tableaux)
Classes de diffusion A à F	S53 : Classes de stabilité (A à F) d'après le document KTA 1508 S54 : Tableaux indiquant les fréquences totales des catégories de diffusion, par mois et par an, valeurs calculées à partir des valeurs horaires S55 : Tableaux indiquant les fréquences moyennes des catégories de diffusion, par mois et par an, valeurs calculées à partir des valeurs horaires (avec différenciation jour / nuit) S56 : Tableaux indiquant la répartition des vents et les catégories de diffusion pour l'ensemble de la période, valeurs différenciées en fonction de l'intensité des précipitations (RR = 0.0 mm, RR = < 0.5 mm, RR = < 3.0 mm, RR = > 3.0 mm), valeurs calculées à partir des valeurs horaires, alors qu'il peut être nécessaire de recourir éventuellement à une station supplémentaire pour les précipitations et qu'il se peut que seule une partie des données statistiques soit exploitable.

3.4.10 Annexe 8: Méthodes

3.4.10.1 Statistiques

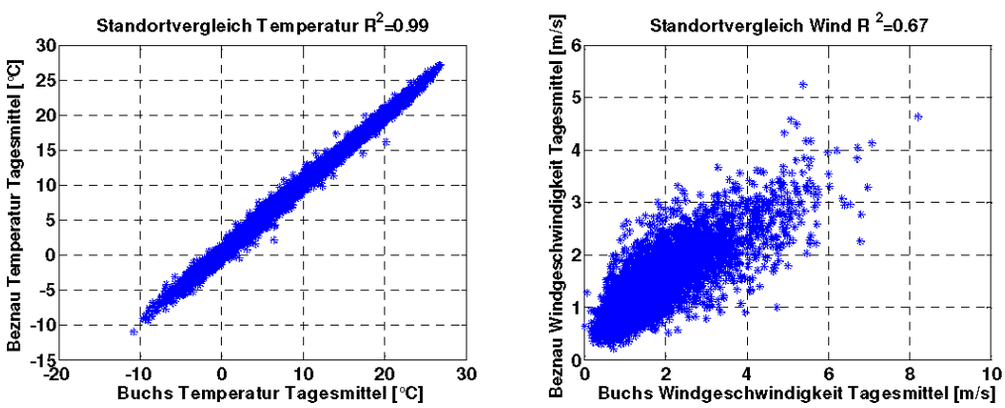
La Tableau 3.4-71 donne la liste des paramètres statistiques.

3.4.10.2 Comparaisons de sites

Le but des comparaisons de sites est de prolonger les séries statistiques de Beznau par des séries statistiques plus longues, relatives à d'autres sites. La comparaison a été effectuée à l'aide d'une analyse de corrélation et d'une régression linéaire. Une comparaison entre deux sites se base sur les valeurs journalières de séries statistiques parallèles dans le temps, X et Y. Le coefficient de détermination R^2 a été calculé comme le carré du coefficient de corrélation de Pearson R, pouvant prendre les valeurs suivantes :

- R = 1 : Les deux séries statistiques sont corrélées entre elles.
- R = 0 : Les deux séries statistiques ne sont pas corrélées entre elles.
- R = -1 : Les deux séries statistiques sont inversement corrélées.
- R^2 = 0.8: 80% des nuages de points Y peuvent être décrits par une fonction linéaire de X.

Fig. 3.4-34 : Exemple de comparaison entre les sites de Buchs et de Beznau. La température (à gauche) présente un coefficient de détermination élevé, de R^2 = 0.99 et la dépendance linéaire apparaît clairement. Pour le vent (à droite), le coefficient de détermination a pour valeur R^2 = 0.67 et aucune dépendance linéaire n'est visible.



Par régression linéaire, nous obtenons les deux coefficients A et B de l'équation linéaire y = B*x+A. Si, par exemple, nous appliquons la série statistique de Buchs à la valeur x, il est possible de prolonger la série de données y pour le cas de Beznau.

3.4.10.3 Generalized Extreme Value Distribution (GEV) - Répartition de valeur extrême généralisée

La détermination d'événements à 50, 100 ou 200 ans a été effectuée à l'aide de la distribution extrême GEV (distribution de valeur extrême généralisée). C'est la « méthode max par bloc » qui a été employée. Les 3 paramètres k (forme), σ (échelle) et μ (position) de la distribution GEV ont

été calculés à l'aide du logiciel MATLAB. Ces paramètres ont été à chaque fois appliqués aux statistiques.

La fonction de densité de probabilité *f(x|k,μ,σ)* (pdf : probability density function) s'exprime de la manière suivante :

$$f(x|k,\mu,\sigma) = \frac{1}{\sigma}\cdot\left(1+k\cdot\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{-1-\frac{1}{k}}\cdot e^{-\left(1+k\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{-\frac{1}{k}}}$$

Cette fonction est normalisée, de sorte que la surface en dessous de la fonction de densité de probabilité soit égale à 1 :

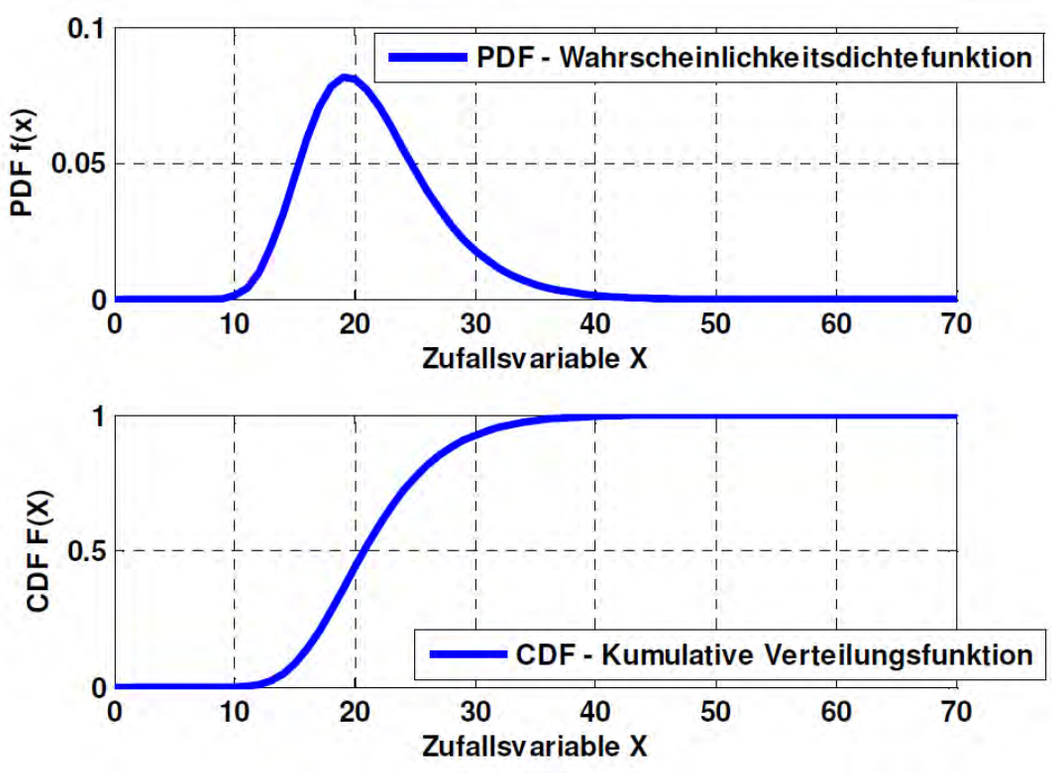
$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x|k,\mu,\sigma) = 1$$

La fonction de répartition cumulée (cdf : cumulative distribution function) *F(X)* s'obtient par intégration de la fonction de densité de probabilité de - ∞∞ à *X* pour toutes les valeurs de *X*. Elle sert au calcul de la périodicité.

$$F(X) = \int_{-\infty}^{X} f(x|k,\mu,\sigma)\cdot dx$$

La figure ci-après donne un exemple.

Fig. 3.4-35 : Exemple de fonction de densité de probabilité (pdf) et de fonction de répartition cumulée (cdf)



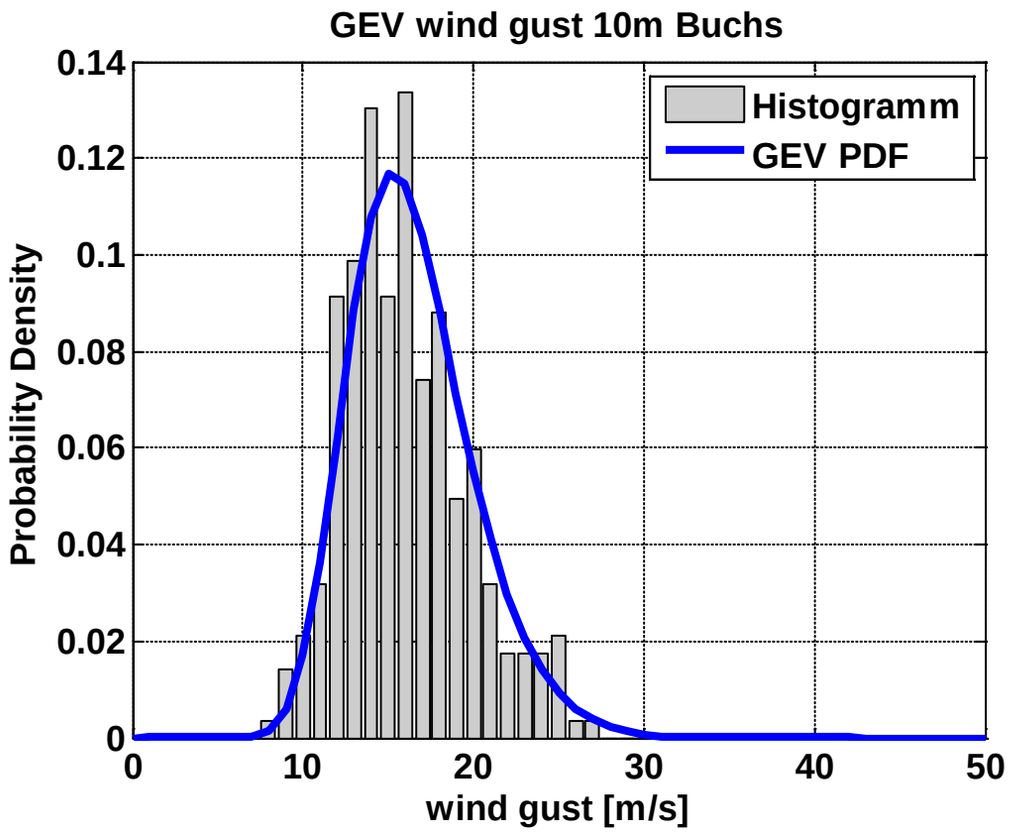
3.4.10.3.1 Méthode max par bloc

Par la méthode max par bloc, des blocs sont constitués à partir de la série statistique complète, la valeur extrême de chaque bloc étant ensuite prise en compte dans la statistique. Une taille de blocs d'1 an a été choisie pour la série statistique à 150 ans. Pour les séries statistiques courtes, à partir de 1980, les maxima mensuels ont été calculés car les données statistiques sont elles-mêmes très peu nombreuses et l'incertitude très grande.

La méthode max par bloc présente l'inconvénient de ne tenir compte que de la valeur maximale à l'intérieur de chaque bloc, même lorsque plusieurs événements extrêmes se sont produits à l'intérieur de ce bloc.

La Fig. 3.4-36 montre un exemple de représentation de la distribution GEV telle qu'elle a été utilisée dans le présent rapport. La fonction de densité de probabilité (pdf) a été systématiquement représentée par une ligne bleue. De plus, un histogramme des maxima de blocs a été enregistré afin de visualiser la qualité de la distribution GEV obtenue. L'histogramme a été normalisé par rapport au nombre de blocs.

Fig. 3.4-36 : Exemple de distribution GEV avec histogramme des maxima de blocs pris en compte dans le calcul statistique.



3.4.10.3.2 Périodicité

Les périodicités $T_{return}(\theta)$ ont été déterminées à l'aide de la fonction de répartition cumulée, θ désignant le niveau de retour (Return level).

$$T_{return}(\theta) = d \cdot \frac{1}{1 - F(\theta)}$$ [30,31]

Le niveau de retour (Return level) $\theta(T)$ s'exprime donc de la manière suivante :

$$\theta(T_{return}) = F^{-1}\left(1 - \frac{d}{T_{return}}\right)$$

F représente la fonction de répartition cumulée et F^{-1} la fonction de répartition cumulée inverse. Le paramètre d représente la durée séparant deux points de mesure. Avec la méthode max par

---

[30] M. Mudelsee, 2002, *Statistische Methoden in der Meteorologie – Extremwertverteilungen* (Méthodes statistiques en météorologie, distribution de valeur extrême généralisée), notes de cours, http://www.manfredmudelsee.com/

[31] M. Mudelsee, 2007, Fehlergrenzen von Extremwerten des Wetters (Tolérances sur les valeurs météorologiques extrêmes)

bloc, pour une taille de bloc égale à 1 an, d = 1 an et pour une taille de bloc égale à 1 mois, d = 1/12 an.

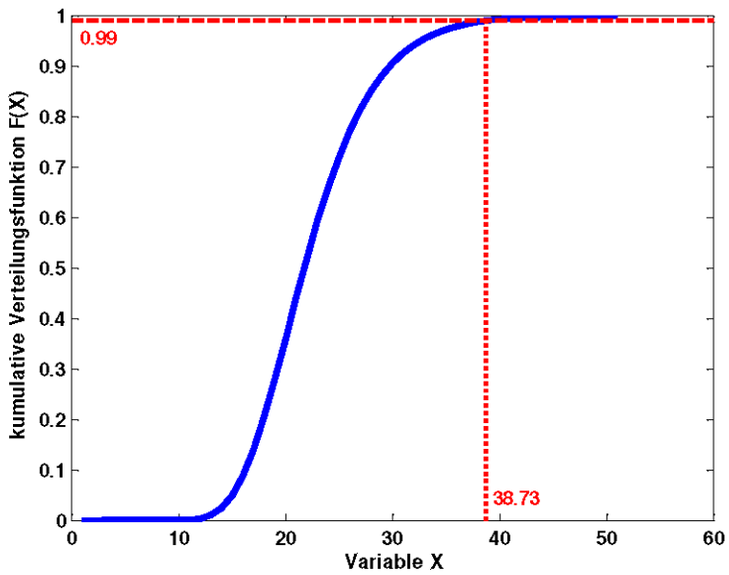
La Fig. 3.4-37 montre un exemple de relevé de l'événement à 100 ans d'une distribution GEV. L'événement 100 ans correspond à la valeur $F(\theta)$ = 0.99 (l'événement 50 ans correspondant à la valeur $F(\theta)$ = 0.98) de la fonction de répartition cumulée. Autrement dit : l'événement à 100 ans est caractérisé par une probabilité d'excédence de 1%.

Les intervalles de confiance pour les paramètres k, μ et σ 95% proviennent de MATLAB et servent de base pour calculer les intervalles de confiance d'événements extrêmes.

Plus les séries statistiques sont longues, meilleure est la précision de l'estimation des niveaux de retour.

Nous avons calculé dans le présent rapport l'événement à 1 000 ans et à 10 000 ans, conformément à ce qui était demandé. Cependant les séries statistiques sont trop courtes pour en tirer des conclusions pertinentes sur le plan statistique.

Fig. 3.4-37 : Détermination de l'événement à 100 ans d'après une distribution GEV avec un bloc max d'1 an. L'événement à 100 ans correspond à F(θ)=0.99. On obtient un niveau de retour θ égal à 38.73.



3.4.10.3.3 Probabilité d'excédance

La probabilité d'excédance (ou probabilité d'occurrence) *p(Z)*, qu'un événement dépasse une certaine valeur *Z* est donnée par l'intégrale *Z* à ∞∞ via la fonction de densité de probabilité (ce calcul étant utilisé dans la statistique S27) :

$$p(Z) = \int_{Z}^{\infty} f(x|k,\mu,\sigma) \cdot dx$$

3.4.10.4 Représentation des paramètres P1 à P6

Les représentations graphiques des paramètres P1 à P6 comprennent des fonctions de répartition. Celles-ci ont été normalisées de manière à ce que la valeur la plus fréquente soit égale à 1.

3.4.10.5 Calcul de la pression du vent

Le calcul des pressions de vent p_W sur une surface carrée *A* de 1 m², pour les événements à 50, 100 et 200 ans (statistiques S23 à S25) et pour l'observation de tornades (S48) et de fortes tempêtes (S49), fait appel à la formule physique suivante :

$$p_W = \frac{F}{A} = c_w \cdot \frac{\rho_{Luft}}{2} \cdot v^2$$

c_w : la valeur de la résistance de la surface carrée (c_w = 1.5) ; ρ_{Luft} la densité de l'air ; v : la vitesse du vent. La densité de l'air est fonction de la pression et de la température de l'air. C'est la raison pour laquelle la pression du vent sur le Plateau central est plus élevée que sur une haute montagne des Alpes, à vitesse de vent équivalente.

3.4.11 Annexe 9 : Statistique des températures

Statistique S4 : Valeurs moyennes journalières

Tableau 3.4-72 : Bâle 1865-1980, maxima et minima journaliers moyens de température [°C]

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-20.2	-18.1	-10.6	-1.5	2.7	5.4	9.7	8.9	3.9	-2.1	-8.2	-19.0	-20.2
Max	14.3	14.0	17.0	20.1	24.3	28.0	29.7	27.6	24.6	23.3	17.0	16.0	29.7

Tableau 3.4-73 : Bâle 1865-1980, maxima et minima journaliers moyens de température [°C]

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-18.5	-12.0	-7.6	-0.9	4.2	7.6	11.8	10.5	6.4	-0.1	-6.3	-12.1	-18.5
Max	13.7	14.6	17.2	19.9	23.5	27.1	28.1	29.0	22.9	20.3	16.4	15.8	29.0

Tableau 3.4-74 : Buchs 1984-2007, maxima et minima journaliers moyens de température [°C]

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-18.6	-12.1	-8.9	-1.5	4.2	7.6	10.7	10.6	5.7	-1.4	-7.8	-10.8	-18.6
Max	12.2	11.6	16.6	18.1	22.9	26.1	26.2	26.8	22.2	19.6	13.5	12.9	26.8

Tableau 3.4-75 : Beznau, 1987-2007, maxima et minima journaliers moyens de température [°C] à 10 m au-dessus du sol

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-9.2	-8.5	-7.6	1.1	4.4	7.4	11.0	10.4	5.5	-0.8	-6.4	-11.0	-11.0
Max	14.3	14.6	16.6	18.1	22.5	26.0	26.3	27.2	22.6	20.0	14.1	14.9	27.2

Tableau 3.4-76 : Beznau, 1987-2007, maxima et minima journaliers moyens de température [°C] à 70 m au-dessus du sol

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-9.7	-9.1	-7.8	0.4	3.8	7.2	10.5	10.0	5.0	-0.8	-6.8	-11.7	-11.7
Max	13.9	14.1	16.2	18.7	23.1	26.2	26.6	27.7	22.6	19.9	13.6	14.5	27.7

Tableau 3.4-77 : Leibstadt, capteur 1, 1987-2007, maxima et minima journaliers moyens de température [°C] à 10 m au-dessus du sol

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-9.6	-8.6	-7.5	1.0	3.9	7.4	10.7	10.3	5.4	-0.7	-6.5	-11.2	-11.2
Max	13.4	14.2	16.5	18.9	22.8	26.2	26.6	27.5	22.6	18.6	13.0	15.0	27.5

Statistique S5 : Valeurs moyennes mensuelles

Tableau 3.4-78 : Bâle 1865-1980, maxima et minima mensuels moyens de température [°C]

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-6.5	-9.3	1.6	6.0	9.8	13.2	15.7	14.8	9.9	5.3	1.4	-9.3	-9.3
Max	5.4	7.0	7.0	13.8	18.5	20.4	22.1	21.8	18.4	12.6	8.7	7.3	22.1

Tableau 3.4-79 : Bâle 1865-1980, maxima et minima mensuels moyens de température [°C]

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-4.7	-5.0	3.1	7.1	10.6	15.3	17.3	16.3	12.1	7.9	2.1	0.1	-5.0
Max	5.8	7.8	10.3	14.4	16.2	23.3	23.7	23.8	18.0	14.2	8.8	5.6	23.8

Tableau 3.4-80 : Buchs 1984-2007, maxima et minima mensuels moyens de température [°C]

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-5.4	-4.6	1.9	6.7	10.1	14.4	16.6	15.4	11.2	7.1	1.6	-0.2	-5.4
Max	4.8	5.7	9.2	13.7	15.6	23.0	22.8	22.8	17.0	13.4	8.2	4.4	23.0

Tableau 3.4-81 : Beznau, 1987-2007, maxima et minima mensuels moyens de température [°C] à 10 m au-dessus du sol)

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-1.4	-1.5	2.3	7.6	10.3	14.8	16.5	15.7	11.8	7.4	2.1	-0.2	-1.5
Max	5.6	6.0	9.5	13.8	15.7	22.8	23.1	23.0	17.3	13.2	8.6	5.0	23.1

Tableau 3.4-82 : Beznau, 1987-2007, maxima et minima mensuels moyens de température [°C] à 70 m au-dessus du sol)

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-1.9	-1.7	1.9	7.3	10.1	14.6	16.2	15.5	11.5	7.1	1.5	-0.7	-1.9
Max	5.4	6.1	9.3	14.3	15.7	22.7	23.0	23.1	17.3	13.0	8.2	4.6	23.1

Tableau 3.4-83 : Leibstadt, capteur 1, 1987-2007, maxima et minima mensuels moyens de température [°C] à 10 m au-dessus du sol

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Min	-1.8	-1.5	2.0	7.4	9.9	14.4	16.4	15.5	11.7	7.2	2.3	-0.5	-1.8
Max	5.1	6.1	9.7	14.2	15.8	22.9	23.1	23.1	17.3	12.9	8.3	5.0	23.1

Statistique S6 : Valeur moyenne et écart-type par mois

Tableau 3.4-84 : Bâle 1981-2007, valeur moyenne et écart-type par mois [°C]

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Moy.	1.7	2.6	6.7	9.9	14.1	17.4	19.6	19.1	15.2	11.0	5.4	2.8
Ec-tp.	5.1	5.0	5.0	5.0	5.0	5.1	4.8	4.8	4.4	4.2	4.2	4.4

Tableau 3.4-85 : Buchs 1984-2007, valeur moyenne et écart-type par mois [°C]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	0.7	1.7	5.7	9.1	13.9	16.9	19.0	18.4	14.4	10.2	4.5	1.9
Ec-tp.	4.8	4.8	5.1	5.1	5.1	5.3	5.0	5.0	4.5	4.2	4.0	4.0

Tableau 3.4-86 : Beznau, 1987-2007, valeur moyenne et écart-type par mois [°C] à 10 m au-dessus du sol

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	1.6	2.5	6.1	9.4	14.0	17.1	19.1	18.7	14.6	10.4	4.9	2.3
Ec-tp.	4.4	4.5	4.9	5.0	4.9	5.1	4.7	4.7	4.3	3.9	3.9	4.2

Tableau 3.4-87 : Beznau, 1987-2007, valeur moyenne et écart-type par mois [°C] à 70 m au-dessus du sol

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	1.3	2.3	6.0	9.3	13.9	16.9	18.9	18.5	14.5	10.2	4.6	1.9
Ec-tp.	4.5	4.5	4.9	5.0	4.9	5.0	4.6	4.7	4.2	4.0	3.9	4.3

Tableau 3.4-88 : Leibstadt, capteur 1, 1987-2007, valeur moyenne et écart-type par mois [°C] à 10 m au-dessus du sol:

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	1.3	2.3	6.1	9.5	14.0	17.1	19.1	18.7	14.6	10.2	4.7	1.9
Ec-tp.	4.4	4.4	4.9	5.0	5.0	5.2	4.8	4.9	4.3	3.9	3.8	4.1

Statistique S7a : Maxima journaliers moyens sur un mois

Tableau 3.4-89 : Bâle 1865-1980, maxima journaliers moyens sur un mois [°C]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	3.6	6.1	10.6	14.8	19.5	22.8	24.8	24.2	20.4	14.4	8.2	4.4

Ec-tp.	4.8	4.9	5.0	5.0	5.1	4.6	4.6	4.4	4.7	4.6	4.3	4.8

Tableau 3.4-90 : Bâle 1981-2007, maxima journaliers moyens sur un mois [°C]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	4.6	6.4	11.4	15.1	19.5	22.9	26.2	24.8	20.4	15.3	8.6	5.4
Ec-tp.	5.2	2.1	4.9	5.1	4.9	4.8	4.3	4.4	4.1	4.3	4.3	4.6

Tableau 3.4-91 : Buchs 1984-2007, maxima journaliers moyens sur un mois [°C]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	3.1	5.3	10.3	14.1	19.2	22.2	24.7	24.2	19.7	14.3	7.2	3.9
Ec-tp.	4.7	4.9	5.0	5.1	4.9	5.2	4.5	4.7	4.3	4.3	4.0	4.1

Tableau 3.4-92 : Beznau 1987-2007, maxima journaliers moyens sur un mois [°C], 10 m au-dessus du sol

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	4.0	6.0	10.7	14.4	19.1	22.0	24.2	24.0	19.4	14.1	7.5	4.3
Ec-tp.	4.6	4.7	5.0	5.1	4.7	5.1	4.4	4.6	4.1	4.0	4.0	4.4

Tableau 3.4-93 : Beznau 1987-2007, maxima journaliers moyens sur un mois [°C], 70 m au-dessus du sol

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	3.5	5.5	10.0	13.7	18.5	21.4	23.6	23.4	18.8	13.6	7.0	3.9
Ec-tp.	4.7	4.8	5.0	5.1	4.8	5.1	4.4	4.6	4.2	4.0	4.0	4.5

Tableau 3.4-94 : Leibstadt, capteur 1, 1987-2007, maxima journaliers moyens sur un mois [°C], 10 m au-dessus du sol

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	3.6	5.7	10.5	14.3	19.0	22.1	24.4	24.1	19.4	14.0	7.2	4.0
Ec-tp.	4.6	4.6	5.0	5.1	4.9	5.1	4.5	4.7	4.2	4.0	3.9	4.4

Statistique S7b : minima journaliers moyens sur un mois

Tableau 3.4-95 : Bâle 1865-1980, minima journaliers moyens sur un mois [°C]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	-2.2	-1.0	1.4	4.6	8.3	11.6	13.5	13.1	10.5	6.2	2.0	-1.1

Ec-tp.	4.9	4.7	3.7	3.3	3.4	2.9	2.8	2.8	3.3	3.6	3.5	4.7

Tableau 3.4-96 : Bâle 1981-2007, minima journaliers moyens sur un mois [°C]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	-1.0	-0.6	2.6	5.0	9.0	12.3	14.4	14.2	10.9	7.5	2.5	0.3
Ec-tp.	4.8	4.4	3.8	3.3	3.1	3.1	2.7	2.7	3.1	3.5	3.7	4.0

Tableau 3.4-97 : Buchs 1984-2007 minima journaliers moyens sur un mois [°C]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	-1.6	-1.5	1.5	4.3	8.8	11.8	13.7	13.3	10.0	6.9	2.0	-0.2
Ec-tp.	4.6	4.3	3.9	3.1	3.0	3.1	2.6	2.7	3.	3.4	3.6	3.7

Tableau 3.4-98 : Beznau, 10 m au-dessus du sol, minima journaliers moyens sur un mois [°C], sur la période 1987-2007

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	-0.6	-0.4	2.2	4.9	9.3	12.4	14.4	14.1	10.9	7.5	2.7	0.3
Ec-tp.	3.9	3.6	3.7	3.1	2.9	2.9	2.4	2.4	2.9	3.3	3.5	3.7

Tableau 3.4-99 : Beznau, 70 m au-dessus du sol, minima journaliers moyens sur un mois [°C], sur la période 1987-2007

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	-0.8	-0.5	2.3	5.0	9.4	12.4	14.3	14.1	10.8	7.4	2.4	0.0
Ec-tp.	4.0	3.7	3.8	3.2	3.0	3.0	2.4	2.5	2.9	3.3	3.5	3.8

Tableau 3.4-100 : Leibstadt, capteur 1, 10 m au-dessus du sol, minima journaliers moyens sur un mois [°C], sur la période 1987-2007

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	-0.8	-0.5	2.2	5.0	9.3	12.4	14.2	14.0	10.6	7.3	2.4	0.0
Ec-tp.	3.8	3.5	3.7	3.1	2.9	3.0	2.5	2.5	2.9	3.3	3.4	3.7

Statistique S8 : Maxima mensuels moyens

Tableau 3.4-101 : Bâle 1865-1980, maxima mensuels moyens [°C]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	11.8	13.9	18.8	23.4	28.1	30.5	32.6	31.7	27.7	22.2	15.8	13.0

Ec-tp.	2.8	3.1	2.4	2.7	2.5	2.4	2.6	2.5	3.1	3.0	2.6	3.0

Tableau 3.4-102 : Bâle 1981-2007, maxima mensuels moyens [°C]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	13.6	14.2	20.1	23.9	27.4	30.7	32.8	32.3	27.0	23.1	16.7	14.1
Ec-tp.	2.7	3.6	2.9	2.4	2.3	2.0	2.4	2.5	2.3	2.7	1.9	2.3

Tableau 3.4-103 : Buchs 1984-2007, maxima mensuels moyens [°C]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	10.9	12.8	18.9	22.7	26.8	30.1	32.1	31.5	26.2	21.5	14.4	11.5
Ec-tp.	2.5	2.9	2.4	2.6	2.7	2.3	2.0	2.3	2.3	2.4	1.8	2.2

Tableau 3.4-104 : Beznau, 10 m au-dessus du sol, maxima mensuels moyens [°C] sur la période 1987 à 2007

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	12.2	13.5	19.5	22.9	26.9	30.0	31.7	31.0	25.7	21.2	15.1	12.9
Ec-tp.	3.8	2.6	2.6	2.6	2.1	2.4	2.2	2.5	2.4	2.2	1.8	2.2

Tableau 3.4-105 : Beznau, 70 m au-dessus du sol, maxima mensuels moyens [°C] sur la période 1987 à 2007

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	11.9	13.1	18.8	22.4	26.5	29.5	31.2	30.6	25.3	20.8	14.6	12.5
Ec-tp.	3.7	2.6	2.6	2.6	2.1	2.4	2.2	2.6	2.4	2.3	1.8	2.2

Tableau 3.4-106 : Leibstadt, capteur 1, 10 m au-dessus du sol, maxima mensuels moyens [°C], sur la période 1987-2007

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	12.1	13.4	19.2	23.0	27.0	30.2	32.0	31.4	25.7	21.2	14.6	12.5
Ec-tp.	3.8	2.5	2.6	2.5	2.0	2.4	2.1	2.6	2.4	2.1	1.8	2.7

Statistique S9 : Minima mensuels moyens

Tableau 3.4-107 : Bâle 1865-1980, minima mensuels moyens [°C]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	-10.1	-8.2	-5.3	-1.2	1.7	6.3	8.4	7.7	4.3	-0.4	-4.3	-8.9
Ec-tp.	5.1	5.3	3.3	1.6	1.9	1.7	1.6	1.7	2.2	2.1	2.5	4.8

Tableau 3.4-108 : Bâle 1981-2007, minima mensuels moyens [°C]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	-8.8	-7.3	-3.6	-0.7	3.4	7.1	9.8	8.9	5.3	1.3	-3.5	-6.5
Ec-tp.	4.7	4.4	3.4	1.5	1.9	2.1	1.5	1.8	2.0	2.8	3.1	3.3

Tableau 3.4-109 : Buchs 1984-2007, minima mensuels moyens [°C]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	-9.6	-7.9	-5.0	-1.1	3.2	6.6	9.0	8.3	4.6	0.8	-3.9	-7.0
Ec-tp.	4.9	4.3	3.6	1.4	2.0	2.0	2.0	1.9	2.1	2.9	3.1	3.3

Tableau 3.4-110 : Beznau, 10 m au-dessus du sol, minima mensuels moyens [°C] sur la période 1987 à 2007

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	-7.5	-6.5	-3.8	-0.3	3.8	7.5	10.2	9.3	5.6	1.6	-2.8	-6.4
Ec-tp.	2.9	3.4	3.5	1.2	1.9	2.1	1.7	1.6	1.9	2.8	3.3	2.8

Tableau 3.4-111 : Beznau, 70 m au-dessus du sol, minima mensuels moyens [°C] sur la période 1987 à 2007

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	-7.8	-6.7	-3.9	-0.4	3.8	7.3	10.1	9.1	5.5	1.4	-3.0	-6.7
Ec-tp.	2.8	3.4	3.7	1.3	2.0	2.1	1.9	1.7	1.9	2.9	3.2	2.7

Tableau 3.4-112 : Leibstadt, capteur 1, 10 m au-dessus du sol, minima mensuels moyens [°C], sur la période 1987-2007

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	-7.6	-6.7	-3.8	-0.4	3.8	7.3	10.1	8.9	5.0	1.4	-3.0	-6.5
Ec-tp.	2.8	3.3	3.6	1.2	2.1	2.2	1.9	1.7	1.6	2.8	3.3	2.7

3.4.12 Annexe 10: Statistique de vitesse du vent

Statistique S18

Tableau 3.4-113 : Bâle 1981-2007, moyenne et écart-type mensuels calculés d'après les valeurs horaires à 16 m au-dessus du sol [m/s]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	3.0	2.9	2.8	2.1	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	2.2	2.1	2.9
Ec-tp.	1.5	1.5	1.5	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5

Tableau 3.4-114 : Buchs 1984-2007, moyenne et écart-type mensuels calculés d'après les valeurs horaires à 10 m au-dessus du sol [m/s]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	1.8	1.8	1.8	1.7	1.5	1.4	1.4	1.2	1.2	1.2	1.4	1.8
Ec-tp.	1.5	1.5	1.5	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5

Tableau 3.4-115 : Beznau 1987-2007, moyenne et écart-type mensuels calculés d'après les valeurs horaires à 10 m au-dessus du sol [m/s]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.5
Ec-tp.	1.0	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0

Tableau 3.4-116 : Beznau 1987à 2007, moyenne et écart-type mensuels calculés d'après les valeurs horaires à 70 m au-dessus du sol [m/s]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.0	1.8	1.9	1.8	2.1	2.5
Ec-tp.	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8

Tableau 3.4-117 : Leibstadt 1987 à 2007, moyenne et écart-type mensuels calculés d'après les valeurs horaires à 10 m au-dessus du sol [m/s]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	2.0	2.0	2.1	2.0	1.9	1.8	1.8	1.5	1.6	1.5	1.7	2.0
Ec-tp.	1.8	2.0	1.9	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.4	1.4	1.5	1.8

Tableau 3.4-118 : Leibstadt 1987 à 2007, moyenne et écart-type mensuels calculés d'après les valeurs horaires à 110 m au-dessus du sol [m/s]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	3.4	3.5	3.6	3.4	3.3	3.2	3.2	2.7	3.0	2.9	3.1	3.5
Ec-tp.	2.8	3.0	2.8	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.3	2.4	2.5	2.8

Tableau 3.4-119 : PSI (Institut Paul Scherrer), 1992-2007, moyenne et écart-type mensuels calculés d'après les valeurs horaires à 70 m au-dessus du sol [m/s]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	2.9	2.9	2.6	2.5	2.4	2.2	2.2	1.9	2.0	2.1	2.3	2.9
Ec-tp.	2.5	2.3	2.1	1.8	1.8	1.6	1.6	1.5	1.6	1.9	1.9	2.3

Statistique S19

Tableau 3.4-120 : Bâle 1981-2007, maxima mensuels moyens et écart-type calculés d'après les maxima horaires à 10 m au-dessus du sol [m/s]

Mean	25.2	23.3	22.9	20.4	19.3	20.9	20.6	19.6	18.5	21.9	21.2	24.0
Moy.	7.2	6.2	5.6	5.2	3.6	4.2	3.2	4.9	3.6	5.6	5.8	5.6
Ec-tp.	25.2	23.3	22.9	20.4	19.3	20.9	20.6	19.6	18.5	21.9	21.2	24.0

Tableau 3.4-121 : Buchs, 1984-2007, maxima mensuels moyens et écart-type calculés d'après les maxima horaires à 10 m au-dessus du sol [m/s]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	18.7	17.7	17.6	15.3	15.5	16.2	16.5	15.3	14.7	16.0	16.2	17.6
Ec-tp.	5.1	3.8	3.1	2.9	2.3	2.4	2.9	4.0	3.5	4.0	3.4	3.5

Tableau 3.4-122 : Leibstadt, 1987-2007, maxima mensuels moyens et écart-type calculés d'après les maxima horaires à 10 m au-dessus du sol [m/s]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	16.7	16.0	15.9	13.9	13.1	13.0	12.7	12.5	11.9	14.6	14.3	16.8
Ec-tp.	4.9	3.4	3.2	1.7	2.3	2.2	1.4	2.3	1.7	4.0	2.5	4.5

Tableau 3.4-123 : Leibstadt, 1987-2007, maxima mensuels moyens et écart-type calculés d'après les maxima horaires à 110 m au-dessus du sol [m/s]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	21.5	20.3	20.0	17.5	16.8	17.0	16.5	16.8	15.9	19.0	18.3	21.8
Ec-tp.	6.1	4.4	4.0	2.5	3.1	2.8	1.8	3.6	2.2	4.9	3.2	5.9

Tableau 3.4-124 : PSI, 1992-2007, maxima mensuels moyens et écart-type calculés d'après les maxima horaires à 70 m au-dessus du sol [m/s]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Moy.	21.0	19.7	19.4	17.8	18.8	18.6	17.4	15.6	16.7	18.4	18.7	21.5
Ec-tp.	6.2	2.7	3.8	2.5	2.6	3.4	2.7	5.5	3.3	4.9	3.6	4.7

3.4.13 Annexe 11 : Roses des vents pour chaque mois sur les sites de Bâle, Buchs, Beznau et PSI

Fig. 3.4-38 : Rose des vents de la direction des vents dominants, Bâle 1981-2007, mois par mois (janvier-mars, avril-juin, juillet-septembre, octobre-décembre)

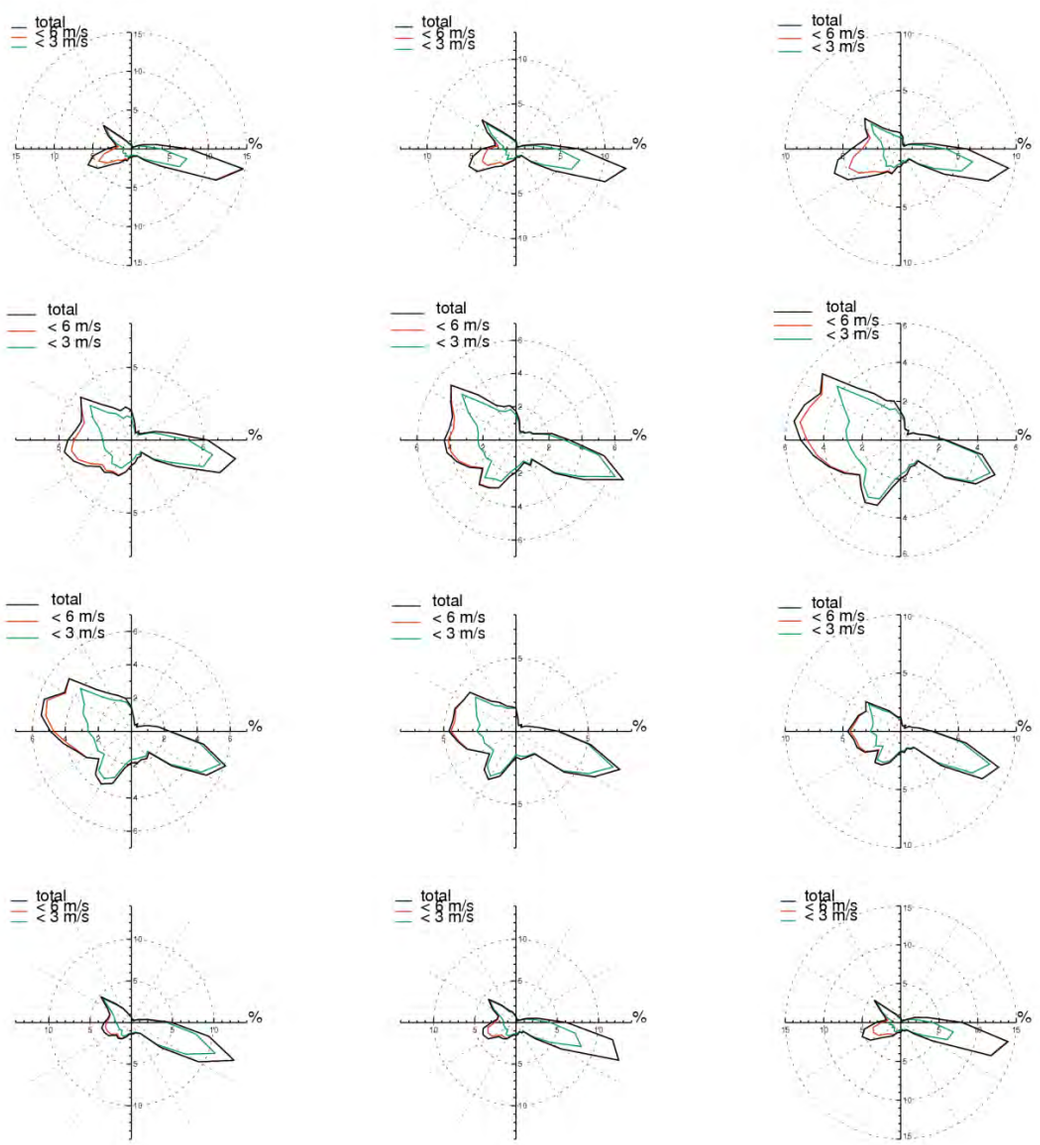


Fig. 3.4-39 : Rose des vents de la direction des vents dominants, Buchs 1984-2007, mois par mois (janvier-mars, avril-juin, juillet-septembre, octobre-décembre)

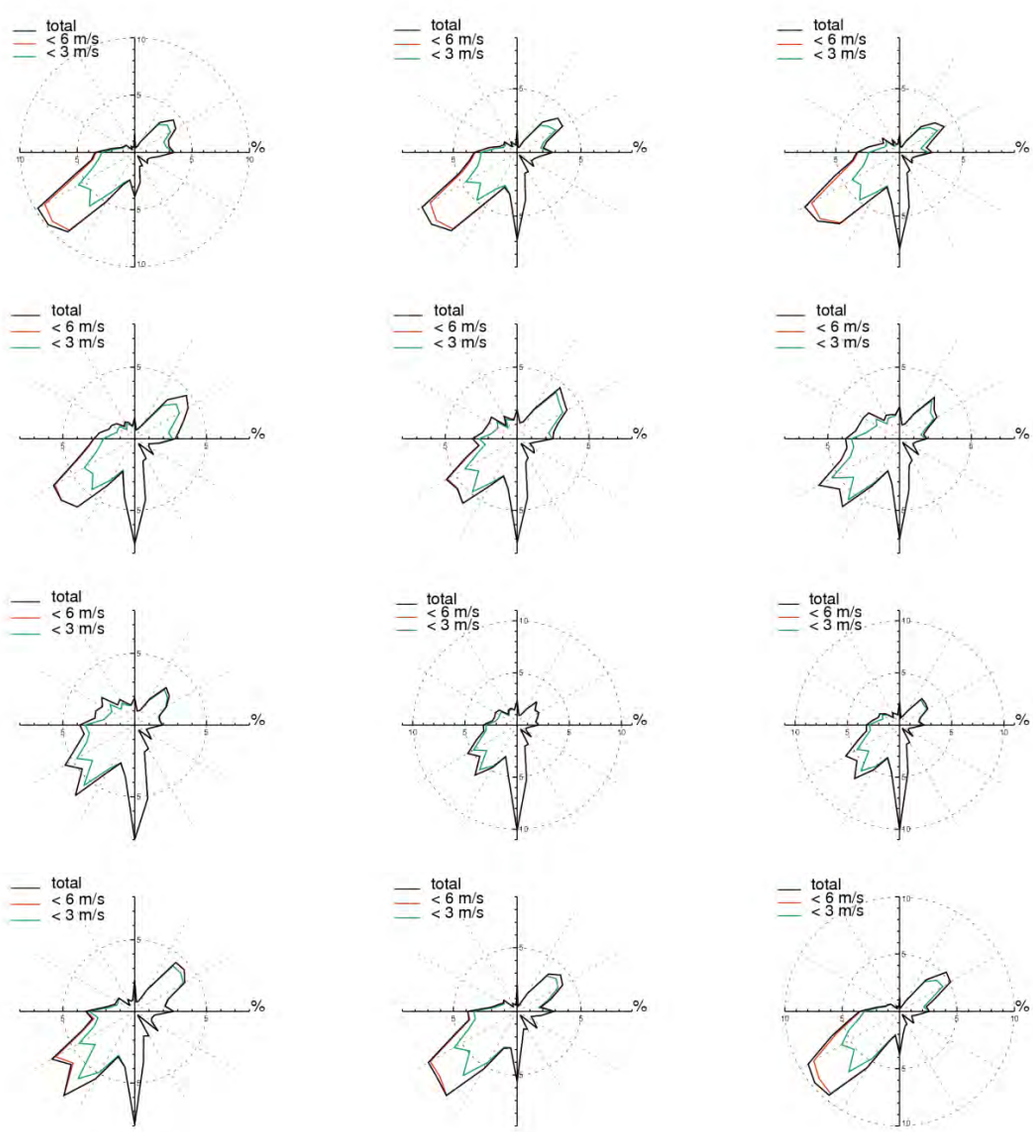


Fig. 3.4-40 : Rose des vents de la direction des vents dominants, Beznau 1987-2007 à 10 m au-dessus du sol, mois par mois (janvier-mars, avril-juin, juillet-septembre, octobre-décembre)

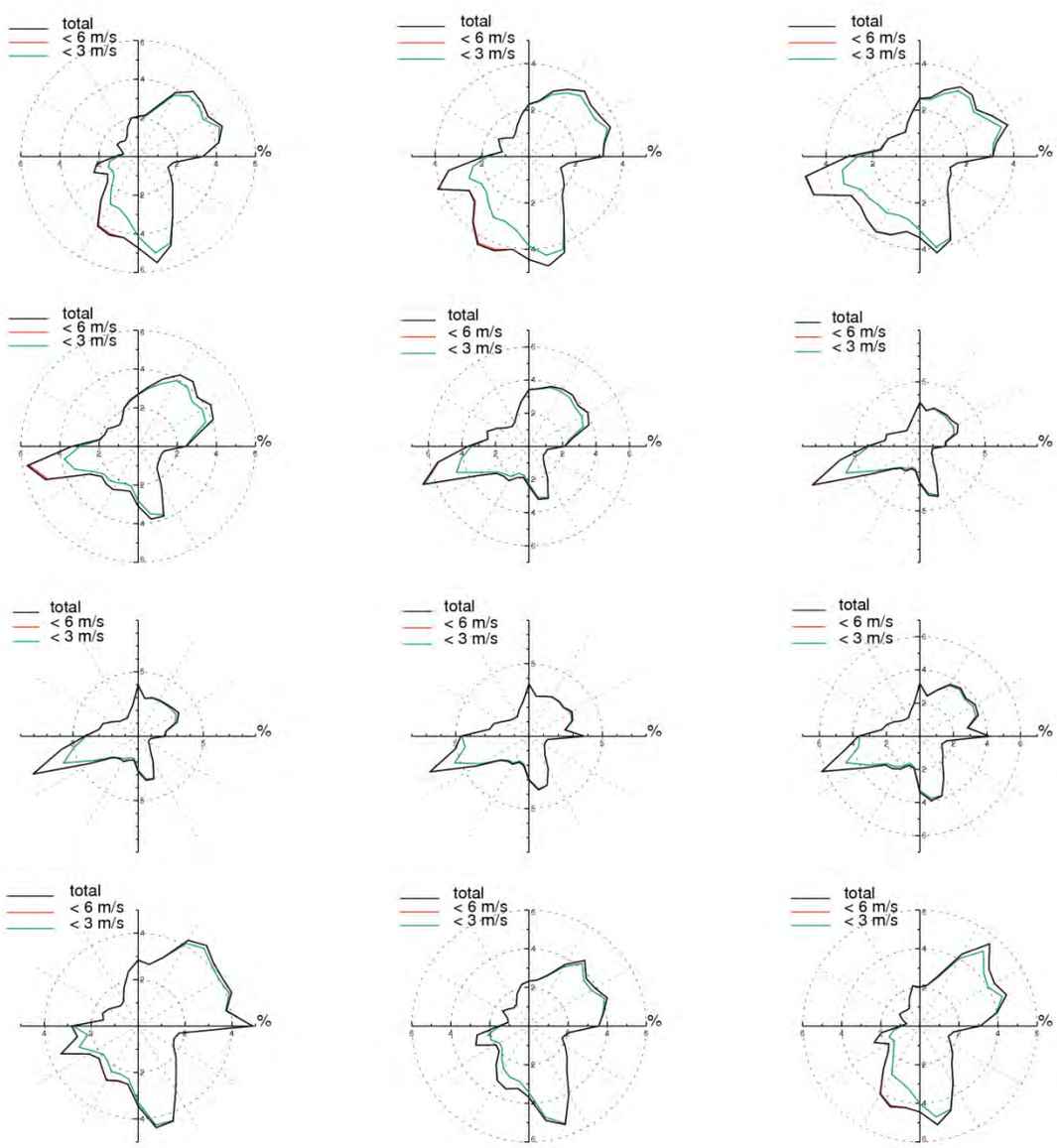


Fig. 3.4-41 : Rose des vents de la direction des vents dominants, Beznau 1987-2007 à 70 m au-dessus du sol, mois par mois (janvier-mars, avril-juin, juillet-septembre, octobre-décembre)

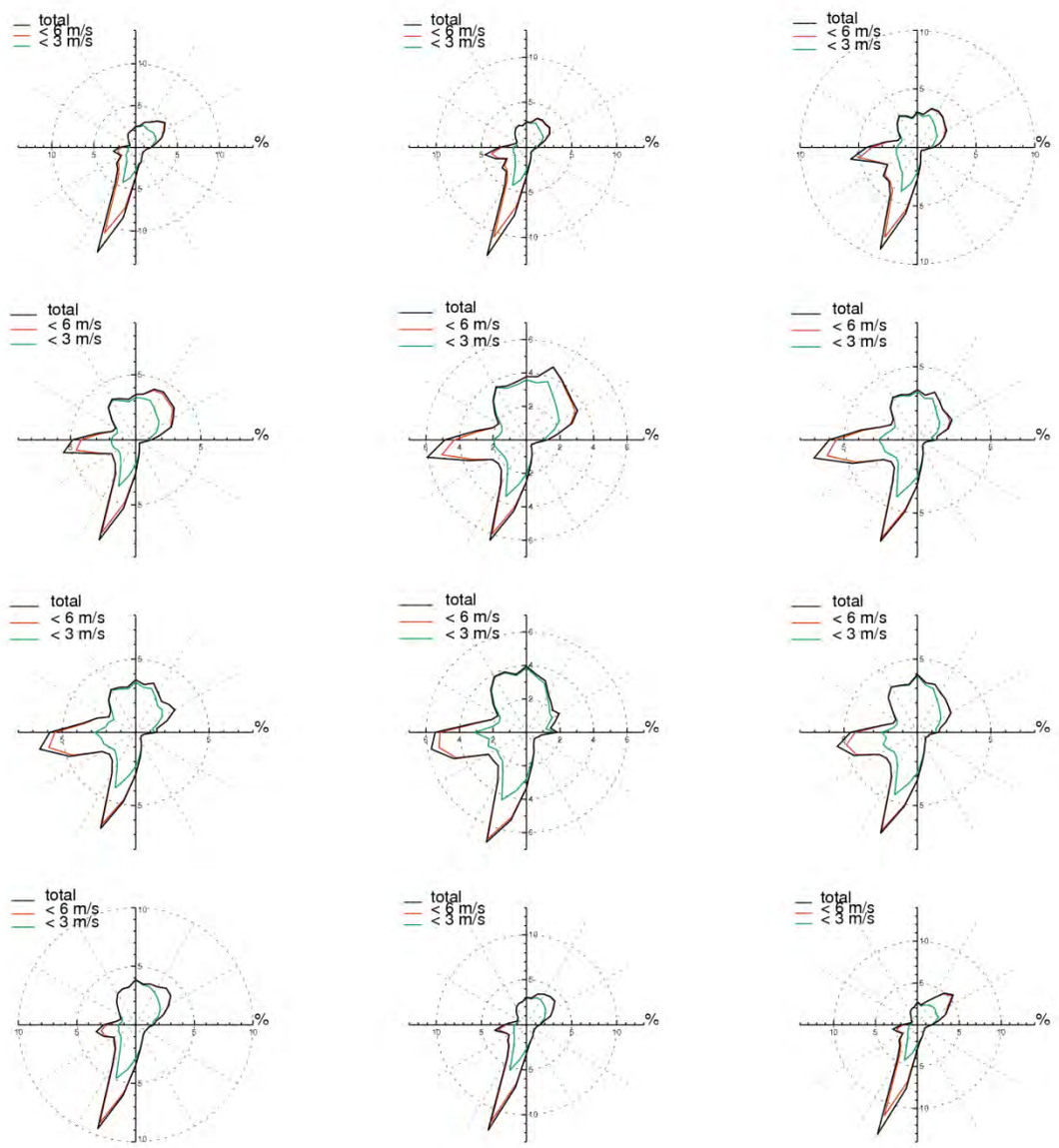
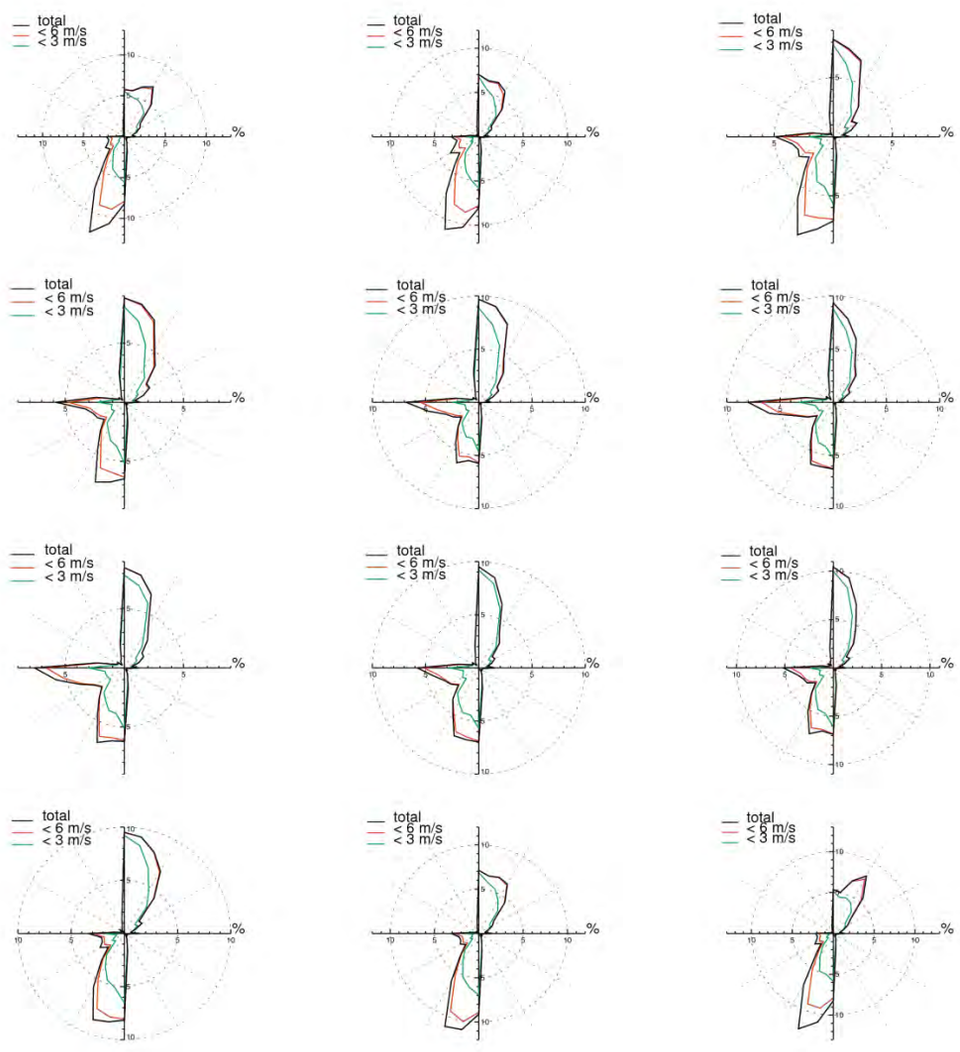


Fig. 3.4-42 : Rose des vents de la direction des vents dominants, PSI 1992-2007 à 70 m au-dessus du sol, mois par mois (janvier-mars, avril-juin, juillet-septembre, octobre-décembre)



3.4.14 Annexe 12 : Corrélation entre la répartition des vents, les catégories de diffusion et le volume des précipitations / classes de diffusion selon le document KTA 1508

Statistique S56

Nombre d'heures de la période de temps analysée : 168 572 h

(du 10 octobre 1988 au 31 décembre 2007)

Classes de diffusion ou précipitations manquantes : 4 401 h

« sans précipitations » : 142 808 h

« peu de précipitations » : 11 830 h

« précipitations » : 8 470 h

« fortes précipitations » : 1 018 h

Statistique à 4 paramètres : les valeurs reportées sur le tableau représentent le nombre d'heures [h] sur la période de 1989 à 2007

Tableau 3.4-125 : Pas de précipitations ; classe de diffusion A

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
A	15-45	905	1426	418	218	24	0	0	0	0	0	2991	1.8
A	45-75	860	1166	979	686	118	4	0	0	0	0	3813	2.3
A	75-105	465	691	417	179	0	0	0	0	0	0	1752	1.1
A	105-135	264	389	36	3	0	0	0	0	0	0	692	0.4
A	135-165	208	416	105	17	1	0	0	0	0	0	747	0.4
A	165-195	118	384	338	463	167	13	0	0	0	0	1483	0.9
A	195-225	97	195	98	125	47	3	0	0	0	0	565	0.3
A	225-255	123	226	241	166	10	0	0	0	0	0	766	0.5
A	255-285	209	238	234	172	9	0	0	0	0	0	862	0.5
A	285-315	216	143	45	22	0	0	0	0	0	0	426	0.3
A	315-345	448	268	22	2	1	0	0	0	0	0	741	0.4
A	345-15	900	1119	125	38	2	0	0	0	0	0	2184	1.3
Total		4813	6661	3058	2091	379	20	0	0	0	0		
%		2.9	4.0	1.8	1.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-126 : Pas de précipitations ; classe de diffusion B

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
B	15-45	21	527	532	401	99	3	0	0	0	0	1583	1.0
B	45-75	30	612	839	652	193	17	0	0	0	0	2343	1.4
B	75-105	8	403	348	117	9	0	0	0	0	0	885	0.5
B	105-135	1	186	39	0	1	0	0	0	0	0	227	0.1
B	135-165	2	340	205	33	0	0	0	0	0	0	580	0.3
B	165-195	6	228	348	646	270	43	1	0	0	0	1542	0.9
B	195-225	2	153	185	243	149	23	0	0	0	0	755	0.5
B	225-255	5	193	390	430	90	2	0	0	0	0	1110	0.7
B	255-285	9	151	335	383	79	1	0	0	0	0	958	0.6
B	285-315	7	53	44	33	1	0	0	0	0	0	138	0.1
B	315-345	7	86	61	15	0	0	0	0	0	0	169	0.1
B	345-15	25	449	197	58	7	0	0	0	0	0	736	0.4
	Total	123	3381	3523	3011	898	89	1	0	0	0		
	%	0.1	2.0	2.1	1.8	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-127 : Pas de précipitations ; classe de diffusion C

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
C	15-45	524	669	575	1473	220	11	0	0	0	0	3472	2.1
C	45-75	523	724	653	1575	306	26	2	0	0	0	3809	2.3
C	75-105	347	557	332	242	2	0	0	0	0	0	1480	0.9
C	105-135	245	345	32	2	0	0	0	0	0	0	624	0.4
C	135-165	195	625	362	96	1	0	0	0	0	0	1279	0.8
C	165-195	86	447	557	1462	519	56	4	0	0	0	3131	1.9
C	195-225	64	320	451	1082	452	79	11	0	0	0	2459	1.5
C	225-255	54	382	930	2243	454	19	4	0	0	0	4086	2.5
C	255-285	107	310	630	1538	360	53	3	0	0	0	3001	1.8
C	285-315	128	169	92	76	0	0	0	0	0	0	465	0.3
C	315-345	227	280	75	34	0	0	0	0	0	0	616	0.4
C	345-15	426	617	234	193	16	2	0	0	0	0	1488	0.9
	Total	2926	5445	4923	10016	2330	246	24	0	0	0		
	%	1.8	3.3	3.0	6.0	1.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-128 : Pas de précipitations ; classe de diffusion D

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
D	15-45	1375	947	447	892	224	9	0	0	0	0	3894	2.3
D	45-75	2074	814	367	549	174	17	2	0	0	0	3997	2.4
D	75-105	1428	591	239	81	1	0	0	0	0	0	2340	1.4
D	105-135	1042	515	69	1	0	0	0	0	0	0	1627	1.0
D	135-165	887	1618	1132	422	19	0	0	0	0	0	4078	2.4
D	165-195	308	966	1244	1838	494	116	13	0	0	0	4979	3.0
D	195-225	134	584	968	1397	581	204	46	3	0	0	3917	2.4
D	225-255	157	668	1333	2242	793	153	30	0	0	0	5376	3.2
D	255-285	262	384	802	1532	595	150	48	0	0	0	3773	2.3
D	285-315	448	396	200	126	8	0	0	0	0	0	1178	0.7
D	315-345	552	619	201	52	2	0	0	0	0	0	1426	0.9
D	345-15	837	921	354	350	32	0	0	0	0	0	2494	1.5
	Total	9504	9023	7356	9482	2923	649	139	3	0	0		
	%	5.7	5.4	4.4	5.7	1.8	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-129 : Pas de précipitations, classe de diffusion E

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
E	15-45	1455	1152	186	108	0	0	0	0	0	0	2901	1.7
E	45-75	2504	930	111	35	0	0	0	0	0	0	3580	2.1
E	75-105	2452	395	54	8	0	0	0	0	0	0	2909	1.7
E	105-135	1914	345	45	3	0	0	0	0	0	0	2307	1.4
E	135-165	1409	789	353	118	7	0	0	0	0	0	2676	1.6
E	165-195	403	531	496	588	100	19	1	0	0	0	2138	1.3
E	195-225	219	274	254	181	21	6	1	0	0	0	956	0.6
E	225-255	234	349	264	123	16	0	0	0	0	0	986	0.6
E	255-285	590	338	253	169	12	3	0	0	0	0	1365	0.8
E	285-315	914	765	221	62	1	0	0	0	0	0	1963	1.2
E	315-345	863	769	214	59	0	0	0	0	0	0	1905	1.1
E	345-15	929	763	262	133	2	0	0	0	0	0	2089	1.3
	Total	13886	7400	2713	1587	159	28	2	0	0	0		
	%	8.3	4.4	1.6	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-130 : Pas de précipitations, classe de diffusion F

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
F	15-45	937	2251	154	20	0	0	0	0	0	0	3362	2.0
F	45-75	1008	1146	68	4	0	0	0	0	0	0	2226	1.3
F	75-105	1056	519	36	10	0	0	0	0	0	0	1621	1.0
F	105-135	1124	237	32	8	0	0	0	0	0	0	1401	0.8
F	135-165	1036	260	73	31	1	0	0	0	0	0	1401	0.8
F	165-195	580	234	158	161	18	1	0	0	0	0	1152	0.7
F	195-225	503	299	132	48	2	0	0	0	0	0	984	0.6
F	225-255	903	616	174	27	0	0	0	0	0	0	1720	1.0
F	255-285	1792	1066	240	54	0	0	0	0	0	0	3152	1.9
F	285-315	934	1106	400	46	0	0	0	0	0	0	2486	1.5
F	315-345	440	946	239	44	0	0	0	0	0	0	1669	1.0
F	345-15	473	1242	180	27	0	0	0	0	0	0	1922	1.2
	Total	10786	9922	1886	480	21	1	0	0	0	0		
	%	6.5	6.0	1.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-131 : Précipitations jusqu'à 0.5 mm, classe de diffusion A

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
A	15-45	21	16	1	1	0	0	0	0	0	0	39	0.0
A	45-75	24	9	1	3	1	0	0	0	0	0	38	0.0
A	75-105	16	8	0	2	0	0	0	0	0	0	26	0.0
A	105-135	14	4	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0.0
A	135-165	8	11	2	3	0	0	0	0	0	0	24	0.0
A	165-195	5	6	6	31	14	1	0	0	0	0	63	0.0
A	195-225	2	3	8	28	13	0	0	0	0	0	54	0.0
A	225-255	2	4	13	17	6	2	0	0	0	0	44	0.0
A	255-285	5	7	9	7	1	0	0	0	0	0	29	0.0
A	285-315	4	7	2	2	0	0	0	0	0	0	15	0.0
A	315-345	4	6	1	1	0	0	0	0	0	0	12	0.0
A	345-15	18	18	2	0	0	0	0	0	0	0	38	0.0
	Total	123	99	45	95	35	3	0	0	0	0		
	%	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-132 : Précipitations jusqu'à 0.5 mm, classe de diffusion B

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
B	15-45	0	8	13	6	0	0	0	0	0	0	27	0.0
B	45-75	0	7	10	1	0	0	0	0	0	0	18	0.0
B	75-105	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	4	0.0
B	105-135	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0.0
B	135-165	0	3	6	2	0	0	0	0	0	0	11	0.0
B	165-195	0	5	26	67	32	11	0	0	0	0	141	0.1
B	195-225	0	6	39	74	55	2	0	0	0	0	176	0.1
B	225-255	0	12	46	77	52	1	0	0	0	0	188	0.1
B	255-285	0	5	22	35	20	1	1	0	0	0	84	0.1
B	285-315	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0.0
B	315-345	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	8	0.0
B	345-15	0	8	3	3	0	0	0	0	0	0	14	0.0
	Total	0	63	172	266	160	15	1	0	0	0		
	%	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-133 : Précipitations jusqu'à 0.5 mm, classe de diffusion C

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
C	15-45	54	34	25	57	6	0	0	0	0	0	176	0.1
C	45-75	39	24	9	15	0	0	0	0	0	0	87	0.1
C	75-105	26	14	3	2	0	0	0	0	0	0	45	0.0
C	105-135	14	9	2	0	0	0	0	0	0	0	25	0.0
C	135-165	18	31	16	15	0	0	0	0	0	0	80	0.0
C	165-195	3	22	52	257	93	14	4	0	0	0	445	0.3
C	195-225	6	23	106	415	160	33	7	0	0	0	750	0.5
C	225-255	7	35	128	488	137	20	3	0	0	0	818	0.5
C	255-285	5	24	57	159	57	15	1	0	0	0	318	0.2
C	285-315	12	10	7	9	0	0	0	0	0	0	38	0.0
C	315-345	18	25	10	8	0	0	0	0	0	0	61	0.0
C	345-15	45	54	22	11	1	0	0	0	0	0	133	0.1
	Total	247	305	437	1436	454	82	15	0	0	0		
	%	0.1	0.2	0.3	0.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-134 : Précipitations jusqu'à 0.5 mm, classe de diffusion D

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
D	15-45	139	92	19	20	6	0	0	0	0	0	276	0.2
D	45-75	198	33	11	3	0	0	0	0	0	0	245	0.1
D	75-105	164	37	7	1	0	0	0	0	0	0	209	0.1
D	105-135	144	47	6	1	0	0	0	0	0	0	198	0.1
D	135-165	152	333	265	114	1	0	0	0	0	0	865	0.5
D	165-195	37	183	364	500	113	16	2	0	0	0	1215	0.7
D	195-225	22	105	225	384	172	66	13	1	0	0	988	0.6
D	225-255	17	64	181	250	142	20	7	0	0	0	681	0.4
D	255-285	28	49	61	104	46	18	4	0	0	0	310	0.2
D	285-315	45	55	27	24	0	0	0	0	0	0	151	0.1
D	315-345	50	79	33	8	0	0	0	0	0	0	170	0.1
D	345-15	100	91	41	28	1	0	0	0	0	0	261	0.2
	Total	1096	1168	1240	1437	481	120	26	1	0	0		
	%	0.7	0.7	0.7	0.9	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-135 : Précipitations jusqu'à 0.5 mm, classe de diffusion E

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
E	15-45	80	58	5	1	0	0	0	0	0	0	144	0.1
E	45-75	132	31	1	0	0	0	0	0	0	0	164	0.1
E	75-105	78	36	5	2	0	0	0	0	0	0	121	0.1
E	105-135	70	42	2	0	0	0	0	0	0	0	114	0.1
E	135-165	75	121	54	13	0	0	0	0	0	0	263	0.2
E	165-195	25	80	82	102	7	4	0	0	0	0	300	0.2
E	195-225	12	40	63	47	5	0	0	0	0	0	167	0.1
E	225-255	17	31	28	18	2	1	0	0	0	0	97	0.1
E	255-285	46	40	15	7	1	0	0	0	0	0	109	0.1
E	285-315	41	55	21	3	1	0	0	0	0	0	121	0.1
E	315-345	37	32	14	2	0	0	0	0	0	0	85	0.1
E	345-15	56	31	8	2	0	0	0	0	0	0	97	0.1
	Total	669	597	298	197	16	5	0	0	0	0		
	%	0.4	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-136 : Précipitations jusqu'à 0.5 mm, classe de diffusion F

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
F	15-45	23	36	7	0	0	0	0	0	0	0	66	0.0
F	45-75	16	17	4	1	0	0	0	0	0	0	38	0.0
F	75-105	3	7	1	0	0	0	0	0	0	0	11	0.0
F	105-135	2	4	2	1	0	0	0	0	0	0	9	0.0
F	135-165	1	10	5	0	0	0	0	0	0	0	16	0.0
F	165-195	3	9	10	8	0	0	0	0	0	0	30	0.0
F	195-225	2	8	5	7	0	0	0	0	0	0	22	0.0
F	225-255	4	13	6	4	0	0	0	0	0	0	27	0.0
F	255-285	4	8	6	3	0	0	0	0	0	0	21	0.0
F	285-315	6	11	3	2	0	0	0	0	0	0	22	0.0
F	315-345	3	3	2	1	0	0	0	0	0	0	9	0.0
F	345-15	12	6	5	1	0	0	0	0	0	0	24	0.0
	Total	79	132	56	28	0	0	0	0	0	0		
	%	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-137 : Précipitations : hauteur comprise entre 0.5 mm et 3 mm, classe de diffusion A

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
A	15-45	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0.0
A	45-75	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	8	0.0
A	75-105	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0.0
A	105-135	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0.0
A	135-165	3	3	5	2	0	0	0	0	0	0	13	0.0
A	165-195	0	3	11	32	12	6	0	0	0	0	64	0.0
A	195-225	0	2	11	53	9	0	0	0	0	0	75	0.0
A	225-255	2	2	4	19	4	1	0	0	0	0	32	0.0
A	255-285	1	2	0	9	0	0	0	0	0	0	12	0.0
A	285-315	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0.0
A	315-345	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	8	0.0
A	345-15	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0	6	0.0
	Total	33	29	33	117	25	7	0	0	0	0		
	%	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-138 : Précipitations : hauteur comprise entre 0.5 mm et 3 mm, classe de diffusion B

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
B	15-45	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	5	0.0
B	45-75	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0.0
B	75-105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
B	105-135	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
B	135-165	0	3	4	3	0	0	0	0	0	0	10	0.0
B	165-195	0	6	11	50	20	4	0	0	0	0	91	0.1
B	195-225	0	4	28	97	61	8	0	0	0	0	198	0.1
B	225-255	0	4	31	76	45	2	0	0	0	0	158	0.1
B	255-285	0	0	6	22	8	4	0	0	0	0	40	0.0
B	285-315	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	4	0.0
B	315-345	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	4	0.0
B	345-15	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	6	0.0
	Total	0	23	96	249	134	18	0	0	0	0		
	%	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-139 : Précipitations : hauteur comprise entre 0.5 mm et 3 mm, classe de diffusion C

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
C	15-45	20	24	9	14	5	0	0	0	0	0	72	0.0
C	45-75	17	11	5	0	0	0	0	0	0	0	33	0.0
C	75-105	16	8	2	0	0	0	0	0	0	0	26	0.0
C	105-135	9	7	1	1	0	0	0	0	0	0	18	0.0
C	135-165	10	19	20	12	0	0	0	0	0	0	61	0.0
C	165-195	2	21	41	168	89	12	1	0	0	0	334	0.2
C	195-225	0	17	61	382	153	38	5	0	0	0	656	0.4
C	225-255	1	14	71	326	120	27	8	0	0	0	567	0.3
C	255-285	6	13	21	130	51	16	1	0	0	0	238	0.1
C	285-315	3	5	7	5	0	0	0	0	0	0	20	0.0
C	315-345	10	11	7	3	0	0	0	0	0	0	31	0.0
C	345-15	25	25	15	14	1	0	0	0	0	0	80	0.0
	Total	119	175	260	1055	419	93	15	0	0	0		
	%	0.1	0.1	0.2	0.6	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-140 : Précipitations : hauteur comprise entre 0.5 mm et 3 mm, classe de diffusion D

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
D	15-45	83	49	21	12	1	0	0	0	0	0	166	0.1
D	45-75	86	38	10	0	0	0	0	0	0	0	134	0.1
D	75-105	79	29	5	1	0	0	0	0	0	0	114	0.1
D	105-135	65	42	4	1	1	0	0	0	0	0	113	0.1
D	135-165	82	215	152	59	2	0	0	0	0	0	510	0.3
D	165-195	39	154	265	411	98	27	4	0	0	0	998	0.6
D	195-225	11	102	207	346	172	60	12	0	0	0	910	0.5
D	225-255	10	53	152	216	93	29	5	0	0	0	558	0.3
D	255-285	21	38	61	85	31	11	2	0	0	0	249	0.1
D	285-315	22	48	28	15	0	0	0	0	0	0	113	0.1
D	315-345	35	62	37	13	0	0	0	0	0	0	147	0.1
D	345-15	57	77	53	34	3	0	0	0	0	0	224	0.1
	Total	590	907	995	1193	401	127	23	0	0	0		
	%	0.4	0.5	0.6	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-141 : Précipitations : hauteur comprise entre 0.5 mm et 3 mm, classe de diffusion E

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
E	15-45	38	24	1	0	0	0	0	0	0	0	63	0.0
E	45-75	44	23	1	0	0	0	0	0	0	0	68	0.0
E	75-105	50	23	0	0	0	0	0	0	0	0	73	0.0
E	105-135	35	29	3	0	0	0	0	0	0	0	67	0.0
E	135-165	29	62	25	7	0	0	0	0	0	0	123	0.1
E	165-195	9	65	75	65	19	1	0	0	0	0	234	0.1
E	195-225	4	36	52	44	5	0	0	0	0	0	141	0.1
E	225-255	4	31	34	31	2	1	0	0	0	0	103	0.1
E	255-285	17	13	15	16	6	0	0	0	0	0	67	0.0
E	285-315	15	20	15	2	0	0	0	0	0	0	52	0.0
E	315-345	14	26	12	2	0	0	0	0	0	0	54	0.0
E	345-15	26	29	10	1	1	0	0	0	0	0	67	0.0
	Total	285	381	243	168	33	2	0	0	0	0		
	%	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-142 : Précipitations : hauteur comprise entre 0.5 mm et 3 mm, classe de diffusion F

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
F	15-45	7	22	4	1	0	0	0	0	0	0	34	0.0
F	45-75	8	6	1	0	0	0	0	0	0	0	15	0.0
F	75-105	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0.0
F	105-135	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	4	0.0
F	135-165	0	2	3	1	0	0	0	0	0	0	6	0.0
F	165-195	0	6	6	4	1	0	0	0	0	0	17	0.0
F	195-225	1	5	7	5	0	1	0	0	0	0	19	0.0
F	225-255	0	4	4	1	0	0	0	0	0	0	9	0.0
F	255-285	0	4	5	1	0	0	0	0	0	0	10	0.0
F	285-315	0	4	1	2	0	0	0	0	0	0	7	0.0
F	315-345	1	0	5	0	0	0	0	0	0	0	6	0.0
F	345-15	0	8	3	0	0	0	0	0	0	0	11	0.0
	Total	17	66	41	15	1	1	0	0	0	0		
	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-143 : Précipitations > 3 mm, classe de diffusion A

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
A	15-45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
A	45-75	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
A	75-105	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
A	105-135	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
A	135-165	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.0
A	165-195	0	0	3	4	3	0	0	0	0	0	10	0.0
A	195-225	0	2	5	12	2	1	0	0	0	0	22	0.0
A	225-255	0	1	3	8	6	1	0	0	0	0	19	0.0
A	255-285	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0.0
A	285-315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
A	315-345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
A	345-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
	Total	0	6	13	25	11	2	0	0	0	0		
	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-144 : Précipitations > 3 mm, classe de diffusion B

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
B	15-45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
B	45-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
B	75-105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
B	105-135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
B	135-165	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
B	165-195	0	1	1	2	0	1	0	0	0	0	5	0.0
B	195-225	0	0	3	10	7	1	0	0	0	0	21	0.0
B	225-255	0	1	4	11	16	4	0	0	0	0	36	0.0
B	255-285	0	0	2	1	7	3	0	0	0	0	13	0.0
B	285-315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
B	315-345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
B	345-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
	Total	0	2	11	24	30	9	0	0	0	0		
	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-145 : Précipitations > 3 mm, classe de diffusion C

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
C	15-45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
C	45-75	1	3	0	1	0	0	0	0	0	0	5	0.0
C	75-105	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
C	105-135	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0.0
C	135-165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
C	165-195	0	5	3	12	7	0	0	0	0	0	27	0.0
C	195-225	0	1	6	36	11	4	1	0	0	0	59	0.0
C	225-255	0	0	5	41	19	9	2	0	0	0	76	0.0
C	255-285	0	1	5	15	18	7	0	0	0	0	46	0.0
C	285-315	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0.0
C	315-345	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
C	345-15	0	2	3	2	0	0	0	0	0	0	7	0.0
	Total	2	12	23	110	55	20	3	0	0	0		
	%	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-146 : Précipitations > 3 mm, classe de diffusion D

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
D	15-45	2	8	4	2	1	0	0	0	0	0	17	0.0
D	45-75	4	6	1	0	0	0	0	0	0	0	11	0.0
D	75-105	2	5	1	0	0	0	0	0	0	0	8	0.0
D	105-135	5	5	2	0	1	0	0	0	0	0	13	0.0
D	135-165	6	14	12	4	0	0	0	0	0	0	36	0.0
D	165-195	3	13	29	30	8	4	0	0	0	0	87	0.1
D	195-225	0	10	23	51	21	7	2	0	0	0	114	0.1
D	225-255	0	10	16	35	18	3	1	0	0	0	83	0.0
D	255-285	2	6	13	22	12	4	0	0	0	0	59	0.0
D	285-315	3	4	5	5	0	0	0	0	0	0	17	0.0
D	315-345	5	7	9	4	0	0	0	0	0	0	25	0.0
D	345-15	4	8	9	2	0	0	0	0	0	0	23	0.0
	Total	36	96	124	155	61	18	3	0	0	0		
	%	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-147 : Précipitations > 3 mm, classe de diffusion E

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
E	15-45	5	9	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0.0
E	45-75	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0.0
E	75-105	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.0
E	105-135	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0.0
E	135-165	1	10	1	0	0	0	0	0	0	0	12	0.0
E	165-195	0	10	6	4	3	0	0	0	0	0	23	0.0
E	195-225	0	4	4	2	1	0	0	0	0	0	11	0.0
E	225-255	0	3	6	2	0	0	0	0	0	0	11	0.0
E	255-285	1	5	1	8	0	1	0	0	0	0	16	0.0
E	285-315	1	2	9	5	2	0	0	0	0	0	19	0.0
E	315-345	1	3	3	0	0	0	0	0	0	0	7	0.0
E	345-15	2	6	3	1	2	0	0	0	0	0	14	0.0
	Total	16	61	33	22	8	1	0	0	0	0		
	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Tableau 3.4-148 : Précipitations > 3 mm, classe de diffusion F

Cl. diff.	Direction du vent [°]	Vitesse du vent [m/s]											
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	15-18	>18	Total	%
F	15-45	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0.0
F	45-75	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0.0
F	75-105	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0.0
F	105-135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
F	135-165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
F	165-195	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.0
F	195-225	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	5	0.0
F	225-255	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
F	255-285	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	3	0.0
F	285-315	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	0.0
F	315-345	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
F	345-15	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0
Total		2	8	5	6	2	0	0	0	0	0		
%		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

3.4.15 Annexe 13 : Événements météorologiques violents de type tornade en Suisse

3.4.15.1 L'événement du 19.08.1890

La tornade du 19 août 1890 survenue dans la Vallée de Joux a ceci de particulier qu'elle s'est reproduite pratiquement dans les mêmes conditions le 26 août 1971. Les deux tornades ont suivi le même chemin à partir du Brassus. La tornade de 1890 avait toutefois déjà pris naissance au-dessus du Jura français, où elle avait alors causé de gros dégâts et avait coûté la vie à plusieurs personnes. Elle avait franchi la frontière suisse le matin vers 8h 00 environ. Elle avait parcouru en tout une distance d'environ 80 km, dont environ un tiers sur le territoire suisse. Des photos des bâtiments et des forêts dévastés, prises en 1890, montrent que la Vallée de Joux a été frappée avec quasiment la même violence en 1890 et en 1971 [16]. L'événement avait atteint la puissance F-3, soit T-6.

3.4.15.2 L'événement du 12.06.1926

Une violente tornade s'est produite l'après-midi du 12 juin 1926 non loin de la ville de La Chaux-de-Fonds. La tornade s'était formée au-dessus d'une chaîne de collines au nord-est de la ville pour s'éloigner ensuite vers le nord en direction des Franches Montagnes [17]. Son chemin avait encore suivi la direction caractéristique SO-NE, presque en ligne droite. La tornade avait parcouru une distance de 22 km mais s'était élevée au-dessus du sol au bout de 7 km pour redescendre 3 km plus loin. Un garçon de huit ans, qui marchait accompagné de sa mère, avait été projeté en l'air avec une telle violence qu'il avait succombé à ses blessures. Sa mère et plusieurs autres personnes avaient été grièvement blessées. Après la tempête, même spectacle de maisons dévastées et de portions de forêt abattues [16], [17]. Il faut également noter la photographie, très révélatrice, d'un épicéa isolé dont les branches dans la partie centrale de

l'arbre s'étaient enroulées plusieurs fois autour du tronc [17]. Il n'est pas possible d'exprimer d'une manière plus impressionnante le caractère de tornade qui avait marqué cette tempête du 12 juin 1926. Cet événement avait atteint au minimum la puissance F-2, soit T-4 à T-5.

3.4.15.3 L'événement du 23.08.1934

Le 23 août 1934, plusieurs tornades s'étaient produites, divisées en deux groupes, dans le Jura neuchâtelois et l'ancien Jura bernois (aujourd'hui Canton du Jura). L'un des groupes avait touché une fois de plus la région de La-Chaux-de-Fonds (Jura neuchâtelois) et l'autre la région de Saignelégier (Canton du Jura). Les deux groupes de tornades avaient laissé derrière eux des dégâts de l'ampleur de ceux qui ont caractérisé les autres tornades [16]. Ces événements ont probablement atteint la puissance F-2, soit T-4.

3.4.15.4 L'événement du 26.08.1971

La violente tornade du 26 août 1971, très bien documentée, s'était formée au-dessus de la Vallée de Joux l'après-midi vers 15h 00. Elle s'était déplacée, selon les déclarations de Piaget [16], à une vitesse d'environ 60 km/h. Le tourbillon avait touché le sol pour la première fois au fond de la vallée dans la localité du Brassus à 1000 m d'altitude, il était monté le long du flanc du Mont Tendre jusqu'à une altitude d'environ 1400 m, pour finir sa trajectoire à Romainmôtier, à une altitude de 600 m. Sans avoir été influencée sensiblement par cette orographie, la tornade avait laissé derrière elle une percée dans la forêt, rectiligne et presque complète, sur une longueur d'environ 20 km. Les photos aériennes prises à la suite de l'événement montrent de manière impressionnante la disposition des troncs d'arbre couchés sur le sol en forme de tourbillon. La tornade avait touché en tout 79 bâtiments, dont 18 très lourdement. Trois granges avaient été complètement détruites. En traversant un camping, la tornade avait projeté une caravane à 30 m d'où elle se trouvait, en passant par-dessus la cime de grands épicéas. Elle avait laissé plusieurs voitures, qui se trouvaient sur sa trajectoire, complètement écrasées et pour certaines, réduites en pièces [16]. L'événement avait atteint au minimum la puissance F2, soit T-5.

3.4.15.5 L'événement du 22 juillet 1995

Des méthodes modernes ont permis d'observer des caractéristiques de type tornade lors du violent orage du 22 juillet 1995 au-dessus d'Oberhofen dans le canton d'Argovie. Les enregistrements du radar météo de l'ETH de Zurich ont nettement montré des mouvements de rotation à l'intérieur de la cellule orageuse, analogues à ce que l'on connaît des tornades se produisant en Amérique [14]. L'entonnoir, invisible au sol, avait parcouru une distance d'environ 15 km. Un anémomètre traversé par l'orage a enregistré pendant un court instant une vitesse maximale de vent égale à 158 km/h. Cela permet d'expliquer pourquoi, dans l'une des localités touchées par l'orage, 70% des toitures des maisons avaient subi des dégâts parfois très importants. Dans certaines des parties de forêt dévastées, les arbres présentaient des torsions caractéristiques, permettant d'en déduire des mouvements de rotation du vent. L'événement avait atteint la puissance F-1, soit T-3.

3.5 Eaux de surface

3.5.1 Introduction

Le chapitre sur les eaux de surface traite des propriétés hydrologiques des eaux superficielles du site. Les propriétés du site en ce qui concerne la nappe phréatique sont décrites au chapitre 3.6.

En ce qui concerne l'analyse des propriétés hydrologiques, une étude a été réalisée (chapitre 3.5.4) pour déterminer la périodicité annuelle et la valeur des débits de crue.

Pour l'exploitation des crues rares, il a été procédé à différentes analyses partielles, complémentaires les unes des autres, ayant donné lieu à une synthèse finale. Des approches probabilistes et déterministes ont été combinées. Cette méthode confère une plus grande fiabilité à l'estimation des crues et détermine le domaine d'incertitude applicable à l'estimation. L'estimation des crues se base sur les analyses partielles suivantes :

- Combinaison des caractéristiques du bassin de réception et des modifications de structure hydraulique (chapitre 3.5.2).
- Les rapports niveau/débit ont été vérifiés pour les niveaux importants. La fiabilité des données de débit dans le cas des crues est une condition préalable importante pour les analyses statistiques ultérieures.
- La prospection des crues historiques a permis de rassembler les informations sur les grandes crues antérieures au début des mesures et les pointes de débit ont été reconstituées, dans la mesure du possible. Cela permet d'en déduire la fréquence des crues extrêmes.
- L'analyse des mesures de débit, complétée par les crues historiques, permet d'obtenir une meilleure base en vue d'effectuer des extrapolations statistiques.
- Sur la base des événements de crues observés, il a été possible de développer des scénarios de crues extrêmes de l'Aar à Beznau.
- Les résultats obtenus à partir des séries statistiques, des événements de crues historiques et des scénarios ont été rassemblés au sein de la synthèse.

Par ailleurs, cette étude a considéré les probabilités d'apparition de conditions d'étiage (chapitre 3.5.5) et de phénomènes de givre (chapitre 3.5.9). De plus, les valeurs moyennes de débits et de températures de l'Aar auxquelles on peut s'attendre sur le site ont été étudiées.

Il a été également réalisé une étude des inondations (chapitre 3.5.7), dans le but de déterminer les cotes d'inondation à prévoir dans les différents scénarios. Les débits en cas de crue décrits au chapitre 3.5.4 ont servi de données d'entrée pour le calcul des inondations.

Les analyses mentionnées plus haut ainsi que les constatations et les résultats qui en découlent sont présentés dans le présent chapitre. Enfin, les caractéristiques du site décrites dans le présent chapitre sont évaluées et les conséquences qui en découlent pour la conception font l'objet d'une description.

3.5.2 Caractéristiques du bassin de réception

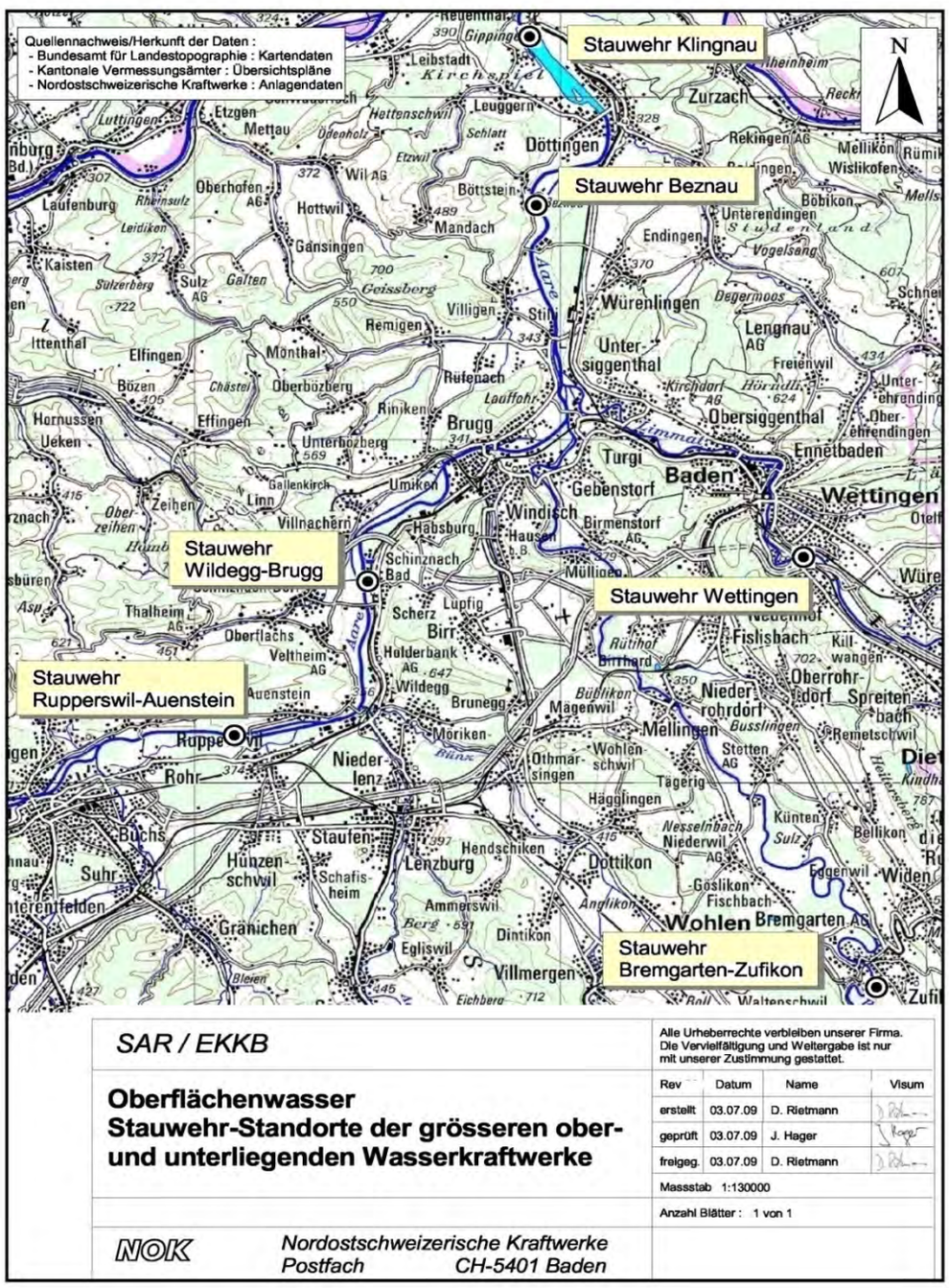
3.5.2.1 Le bassin de réception de l'Aar

La Fig. 3.5-1 montre les caractéristiques actuelles d'écoulement de l'Aar et de ses affluents, la Reuss et la Limmat, dans un large rayon autour de l'île de Beznau, ainsi que celles des grandes centrales hydrauliques en amont et en aval sur l'Aar, la Reuss et la Limmat.

La Fig. 3.5-2 montre le bassin de réception de l'Aar à Brugg (Surface du bassin de réception : 17 504 km², 100%) avec les affluents constitués de l'Aar en amont de Brugg pour 11 726 km² (67%), la Reuss en amont de Mellingen pour 3 382 km² (19%) et la Limmat en amont de Baden pour 2 396 km² (14%). Il vient s'ajouter à cela une superficie supplémentaire de 97 km² jusqu'à la station d'Aar-Untersiggenthal.

Pendant et après la dernière période glaciaire, il y a environ 10 000 ans, la morphologie de la zone de l'Aar en aval d'Aarberg a été profondément marquée par les phénomènes glaciaires et fluviaux. Entre 14 000 et 5 000 ans, l'Aar se jetait en majorité dans le lac de Neuchâtel. A Aarberg, l'Aar a pendant des millénaires déversé un énorme cône de déjection et, pour cette raison, son lit a plusieurs fois changé de place. Pour finir, l'Aar a déplacé son lit et créé l'« ancien lit de l'Aar », qui allait jusqu'à Soleure par le Grenchenwiti. Lors des crues, les eaux butaient contre le cordon de moraine de Soleure et il se formait alors par moment dans le Grenchenwiti le « lac de Soleure ». Lors des crues, les immenses zones de plaines entre les lacs du pied du Jura étaient également inondées. Ces zones d'inondation atténuaient autrefois les pointes de débit des crues de l'Aar.

Fig. 3.5-1 : Eaux de surface, emplacements des barrages régulateurs des grandes centrales hydroélectriques situées en amont et en aval



3.5.2.2 Modifications de structure hydraulique dans le bassin de réception de l'Aar

Sur le bassin de réception de l'Aar, différentes modifications de structure hydraulique ont été réalisées en raison de modifications de l'occupation des sols ou pour assurer une protection contre les inondations. Avant la première correction des eaux du Jura (CEJ I : 1868-1887), l'Aar coulait le long des lacs du pied du Jura (Fig. 3.5-3, ancien Aar) et les crues de l'Aar rencontraient les crues des affluents (Emme, Wigger, Reuss et Limmat). Depuis la CEJ I, l'Aar coule dans le lac de Bienne. La CEJ II (1962-1972) avait pour objectif de faire baisser le niveau des crues des lacs et de faire monter leurs niveaux d'étiage, de créer une unité hydraulique entre les trois lacs et de faire baisser le niveau des crues de l'Aar entre le lac de Bienne et le confluent de l'Emme.

Lors des périodes de crue, le système constitué des lacs de Bienne, de Neuchâtel et de Morat forme aujourd'hui une grande réserve de rétention de 280 km², avec la possibilité d'assurer une régulation des eaux déversées à l'exutoire du lac de Bienne. D'après la « condition de Murgenthal », l'exutoire du lac de Bienne à Port ne peut laisser passer qu'une quantité d'eau telle que le débit à Murgenthal ne dépasse pas la valeur de 850 m^3/s.

L'exutoire du lac des Quatre Cantons peut être régulé d'une manière archaïque au moyen du barrage à aiguilles de Lucerne, construit de 1859 à 1861 et qui existe toujours. Le lac permet d'atténuer les crues des cours d'eau alpins (Reuss, Sarneraa, Engelbergeraa, Muota). En aval de Lucerne, la Petite Emme se jette dans la Reuss sans bénéficier de cet effet d'atténuation des crues.

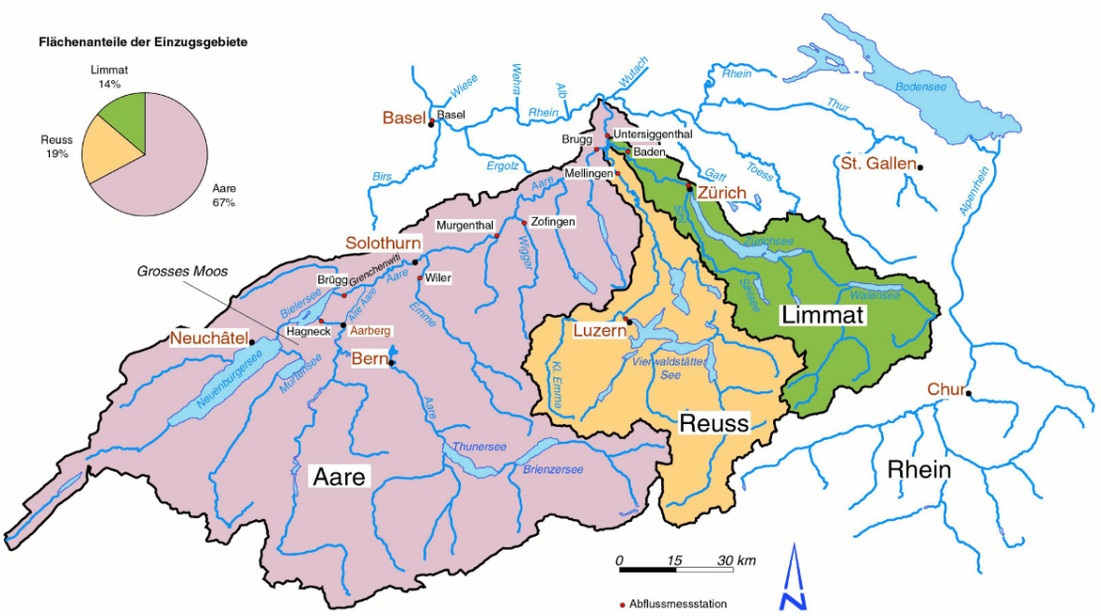
Sur le bassin de réception de la Limmat, il a été procédé à différentes modifications de structure hydraulique. A l'époque romaine, le lac de Zurich s'étendait sur une grande distance dans ce qui est aujourd'hui la plaine de Linth (« lac de Tuggen ») [83]. Avec la correction de la Linth (1807-1816), la Linth a été redirigée vers le lac de Walen et le canal de la Linth a été creusé entre les lacs de Walen et de Zurich. L'exutoire du lac de Zurich près de la ville de Zurich était jusqu'au 19e siècle partiellement recouvert de moulins et d'autres bâtiments. Ces bâtiments formaient un obstacle à l'écoulement et ont été supprimés apparemment jusqu'au milieu du 20e siècle. L'ouvrage sur la Limmat à l'exutoire du lac de Zurich n'a été construit qu'en 1949-1951 à Zurich, où il a également remplacé un ancien barrage à aiguilles.

Le débit de la Limmat est régulé par le lac de Zurich. En aval du lac de Zurich, la Sihl vient se jeter dans la Limmat à Zurich. Depuis la mise en service de la centrale d'Etzel en 1937 (lac de Sihl près d'Einsiedeln), la Sihl réagit moins violemment aux fortes pluies.

La correction de l'Aar entre Beznau et le Rhin, réalisée de 1886 à 1904, a modifié le paysage fluvial dynamique par la construction de digues de protection contre les crues et par la canalisation de l'Aar. La centrale hydroélectrique de Beznau a été construite entre 1898 et 1902. Située à l'extrémité d'un canal supérieur artificiel, la centrale a été transformée en 1930. La centrale fluviale de Klingnau a été mise en service en 1935. Depuis cette date, l'Aar est retenue en aval de Döttingen dans le lac de retenue de Klingnau.

Ces exemples de modifications de structure hydraulique montrent que le bassin de réception de l'Aar a connu des modifications importantes au cours des 150 dernières années. L'influence de ces modifications sur le débit de crue des fleuves sera commentée au chapitre 3.5.2.3.

Fig. 3.5-2 : Le bassin de réception de l'Aar



3.5.2.3 L'influence des modifications de structure hydraulique sur le débit des crues

L'influence des constructions hydrauliques (p. ex. la correction des eaux du Jura) sur les crues du fleuve en aval peut être observée d'après les crues annuelles du Rhin à Bâle. Après l'achèvement de la CEJ I en 1887, on n'a plus observé dans le Rhin à Bâle que rarement des débits > 4000 m^3/s, c'est-à-dire que les crues ont été moins fréquentes et moins importantes. Il faut cependant objecter que le 19e siècle est connu dans toute la Suisse pour avoir été un siècle de crues importantes, alors que le 20e siècle entre 1910 et 1990 a connu relativement peu de crues importantes.

Différentes recherches hydrologiques se sont intéressées au débit de l'Aar en crue ([84] ; [85] ; [86] ; [87]). Aucune étude systématique de l'influence de la CEJ en période de crues extrêmes (> débits de la crue centenaire) n'a encore été effectuée. C'est pourquoi l'influence de la CEJ et des autres effets tampons sur le volume des crues extrêmes dans le cours inférieur de l'Aar a été évaluée ici avec des réflexions mitigées.

Les corrections des eaux du Jura ont un effet d'atténuation sur les pointes de débit des crues importantes, cette atténuation pouvant être régulée à l'exutoire du lac de Bienne. En cas d'événements de crues extrêmes, il convient en revanche de tenir compte d'une modification de l'efficacité de cette atténuation (voir Fig. 3.5-3) :

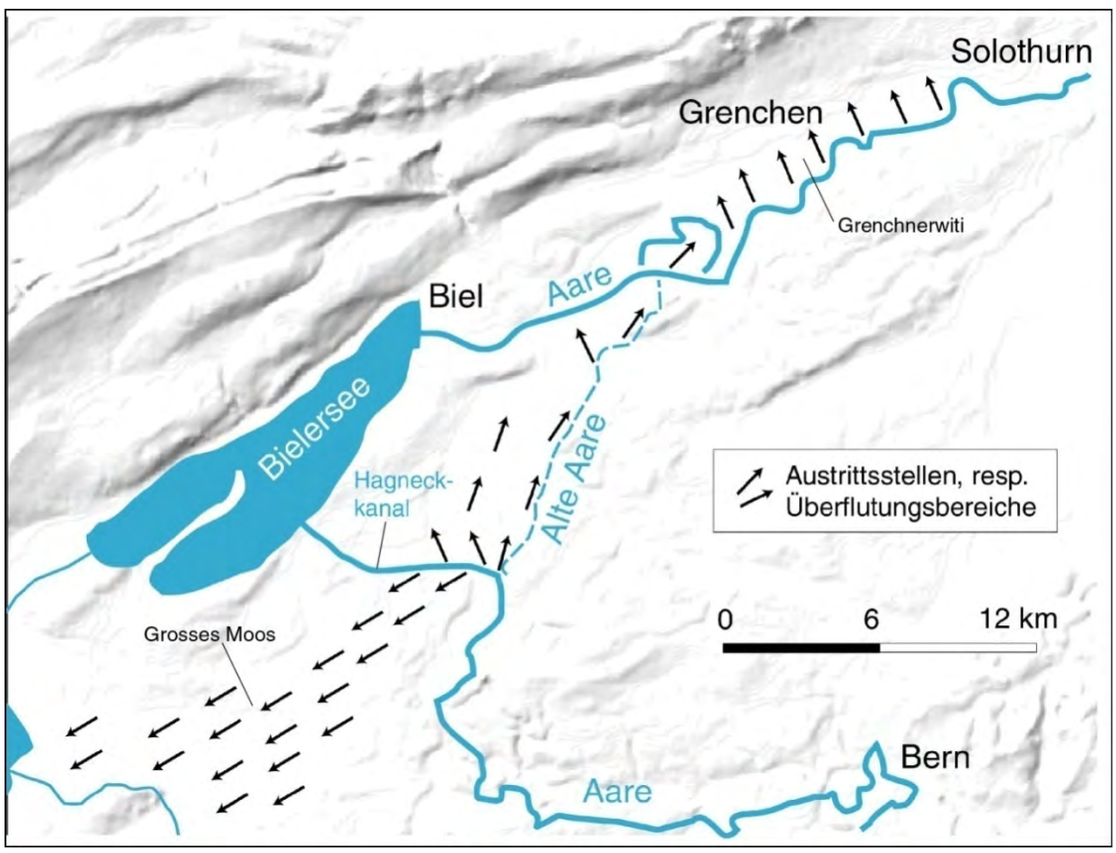
- En cas d'événements de crues extrêmes, l'Aar peut déborder à Aarberg et reprendre le lit de l'« ancienne Aar » d'avant la CEJ en rompant la digue du côté droit du canal de Hagneck (Fig. 3.5-3). L'efficacité de l'atténuation du bassin de rétention constitué des lacs de Morat, de Bienne et de Neuchâtel serait ainsi affaiblie.

Il faut toutefois s'attendre à ce que les crues extrêmes soient également atténuées dans le cours inférieur de l'Aar entre Aarberg et Soleure :

- En plus du bassin de rétention des lacs de Morat, Bienne et Neuchâtel (280 km²), il existe encore d'autres surfaces de rétention d'environ 100 km² (p. ex. Grand Marais, Grenchenwiti) immédiatement en amont et en aval du lac de Bienne. La rupture de la digue du côté gauche du canal de Hagneck permettrait d'activer les surfaces du Grand Moos.
- Le Grenchenwiti s'étend entre le lac de Bienne et Soleure. Sur ce parcours, l'Aar bénéficie d'une grande capacité de débit depuis la CEJ II. Les premiers débordements commencent à un débit d'environ 600 m³/s. Les grandes inondations concernant de larges surfaces s'étendant sur des kilomètres carrés ne commencent qu'à partir d'un débit d'environ 1 000 m³/s et sont en mesure d'atténuer grandement le débit de l'Aar lors d'événements de crues extrêmes.
- Les petites surfaces de rétention en aval de Soleure ne peuvent mettre en jeu aucune véritable capacité d'atténuation.

Les pointes de débit de l'Aar à Brugg sont dans tous les cas atténuées (avant et après la CEJ).

Fig. 3.5-3 : Points de débordement et zones d'inondation potentiels entre canal de Hagneck, lac de Bienne et Soleure en cas d'événements de crues extrêmes

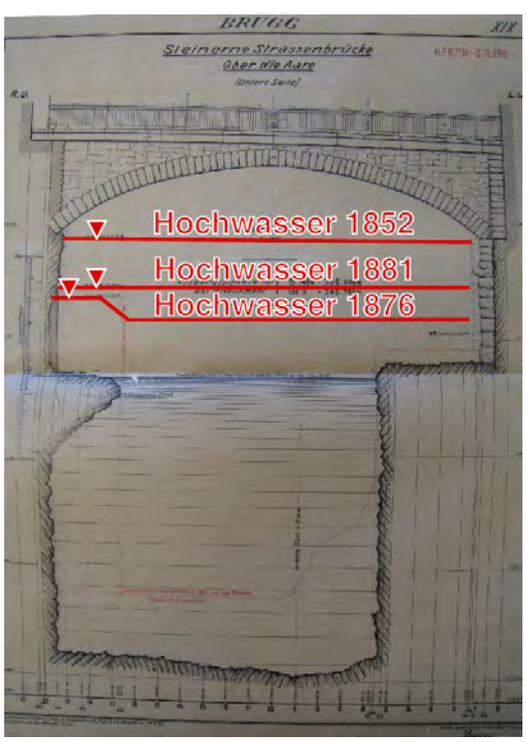


3.5.3 Mesures de niveaux et crues historiques

3.5.3.1 Crues historiques

Afin de permettre une meilleure classification des crues observées au cours du 20e siècle et au début du 21e siècle, des informations sur les crues historiques ont été rassemblées et exploitées. Il a été conservé jusqu'à présent des marques de la grande crue de septembre 1852 en plusieurs endroits (Fig. 3.5-4). La marque de crue visible à Brugg immédiatement en amont du pont sur l'Aar est située environ 1.90 m au-dessus d'une marque de crue qui n'est plus visible aujourd'hui et qui est située juste en aval du pont sur l'Aar. Les deux marques ont été relevées autour de 1900 par le Service hydrologique national [88]. La différence de hauteur s'explique par la retenue en amont du pertuis du pont et correspond en gros à la charge dynamique. La vitesse moyenne de flux pouvant ainsi être estimée est d'environ 6 m/s. La section traversée par l'écoulement a pu être estimée, d'après des vues du profil transversal des environs de 1900 [88] , à 280 m^2 et 240 m^2 (profil de La Nicca). La pointe de débit du 18/09/1852 était donc d'environ 1 500 à 1 700 m^3/s. Tout comme Zschokke ([89], 1 540 m^3/s), Flussbau AG ([87] 1 700 m^3/s) a également évalué le débit de cette crue en aboutissant au même ordre de grandeur. De la même façon, un certain nombre de débits de crues historiques de l'Aar, de la Reuss et de la Limmat ont été reconstitués.

Fig. 3.5-4 : Le pont routier en pierre au-dessus de l'Aar à Brugg avec les trois marques de crues de 1852, 1881 et 1876 [88]

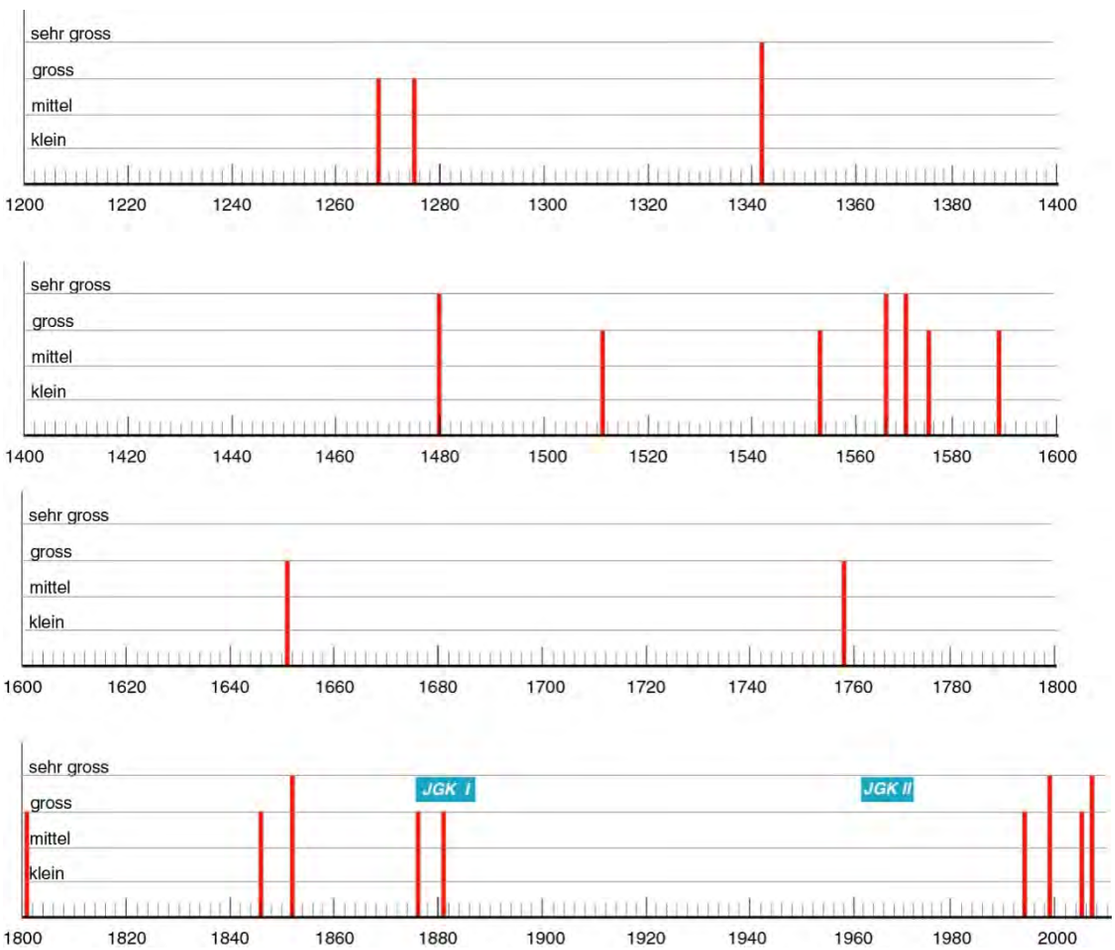


Les crues étudiées ont été classées en fonction de leur importance, sur la base de leurs descriptions et de la comparaison des marques de crues de l'Aar à Untersiggenthal (Tableau 3.5-1), et ont ensuite été reportées sur l'axe du temps (Fig. 3.5-5). Cette méthode donne une vue d'ensemble de l'historique des crues des 800 années écoulées. Sept crues très importantes sont connues sur cette période. Les derniers événements les plus importants ont eu lieu en 1852, 1999 et 2007. Les informations détaillées concernant les crues historiques figurent au 3.5.13.

Tableau 3.5-1 : Critères de classification des crues de l'Aar à Untersiggenthal sur la base des descriptions données par des sources historiques et de la comparaison des marques de crues

Classification	Débit de l'Aar à Untersiggenthal	Description
très important	> 2 600 m^3/s	vastes inondations, dégâts très importants, ponts détruits
important	2 300 – 2 600 m^3/s	inondations, dégâts

Fig. 3.5-5 : Crues historiques de l'Aar depuis l'an 1200 environ, caractérisation de chacune des crues sur la base des descriptions provenant des sources exploitées



3.5.3.2 Mesures des niveaux

De nombreuses informations disponibles sur les relevés de niveau du cours inférieur de l'Aar, de la Limmat à Baden et de la Reuss à Mellingen ont été rassemblées et visualisées. Les relations niveau-débit des stations de mesure de Reuss-Mellingen, Limmat-Baden, Aar-Brugg et Aar-Untersiggenthal ont été vérifiées par calcul hydraulique d'après les profils transversaux et les profils en long de l'OFEV. Leur qualification va de « utilisable » à « bon ». Tous les niveaux sont accompagnés de mesures d'étalonnage des crues. Il arrive parfois que des marques de crues soient présentes sur des échelles limnimétriques anciennes, datant d'avant les véritables mesures.

Les niveaux de l'eau de l'Aar à Döttingen ont été observés dès 1866 ([88] , stations supprimées). Un limnigraphe est resté en service à cette station depuis 1879 jusqu'à la mise en service de la centrale fluviale de Klingnau en 1935 et la montée des eaux du lac de retenue de Klingnau. En 1934, cette station a été remplacée en aval du fleuve par la station Aar-Stilli. Elle était située en amont du village de Stilli, environ 250 m en amont du pont. Elle a été remplacée en 1975 et a été déplacée à 250 m en aval du pont. Elle s'appelle depuis lors Aar-Untersiggenthal-Stilli.

La centrale de Beznau influence les relations niveau-débit de la station de Stilli. C'est la raison pour laquelle la précision des mesures effectuées entre 1935 et 1992 est limitée. Les relations niveau-débit plus anciennes, allant jusqu'à mi 1963, mentionnent ce problème et conditionnent par conséquent leur validité à l'hypothèse d'un niveau de retenue normal à la centrale de Beznau. Des mesures d'étalonnage ont été effectuées régulièrement durant la période de 1945 à 1992.

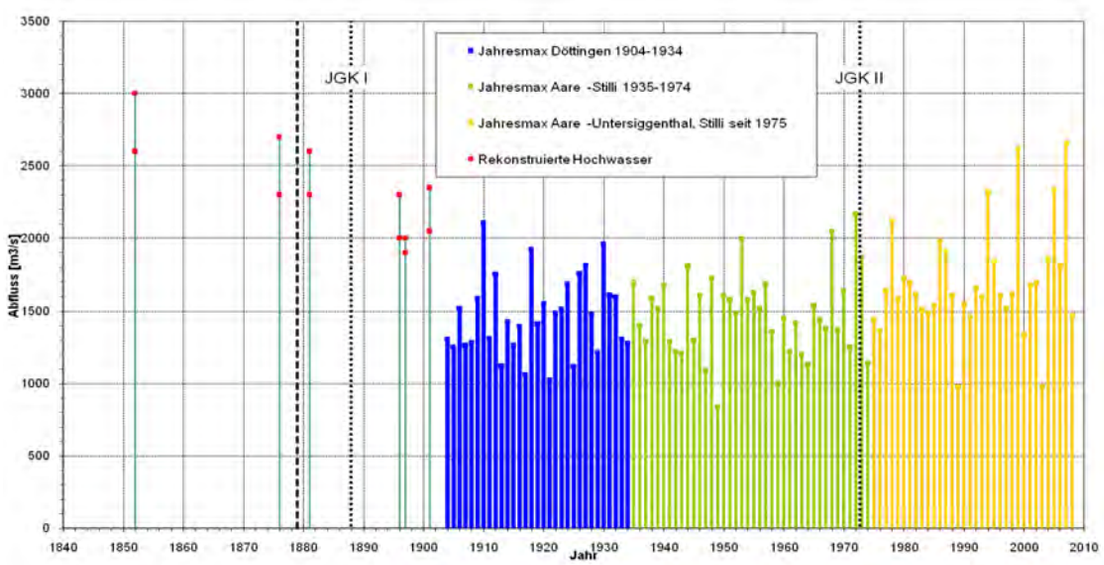
Depuis 1992, le débit est déterminé par la superposition des valeurs des stations de Aar-Brugg, Reuss-Mellingen et Limmat-Baden. Le Tableau 3.5-2 donne la liste des stations avec les bassins de réception correspondants et leur durée d'activité.

Tableau 3.5-2 : Stations de mesure des niveaux et bassins de réception

Nom des stations	N° de station	Coordonnées	Hauteur m alt.	Bass. de réc. [km^2]	Etat des niveaux	Débit
Aar-Brugg	2016	657000 / 259360	332	11 726	depuis 1866	depuis 1916
Reuss-Mellingen	2018	662830 / 252580	345	3 382	depuis 1866	depuis 1904
Limmat-Baden	2243	665640 / 258690	351	2 396	depuis 1904	1904-1921, depuis 1951
Aar-Stilli, puis. Untersiggenthal-Stilli	2205	659970 / 263180	326	17 601	depuis 1934	depuis 1934
Aar-Döttingen		661450 / 269110	315	17 752	Août 1866 jusqu'à décembre 1937	1904-1934

En combinant les trois séries de mesures Aar-Döttingen, Aar-Stilli et Aar-Untersiggenthal, on obtient une série statistique sur 100 ans (Fig. 3.5-6).

Fig. 3.5-6 : Crues annuelles aux stations de mesure des niveaux d'Aar-Döttingen, Stilli et Untersiggenthal (OFEV), complétées par les valeurs de débits de crues reconstituées sur la base des lectures de niveaux ou des marques de crues



3.5.4 Exploitation des crues ayant une annualité déterminée

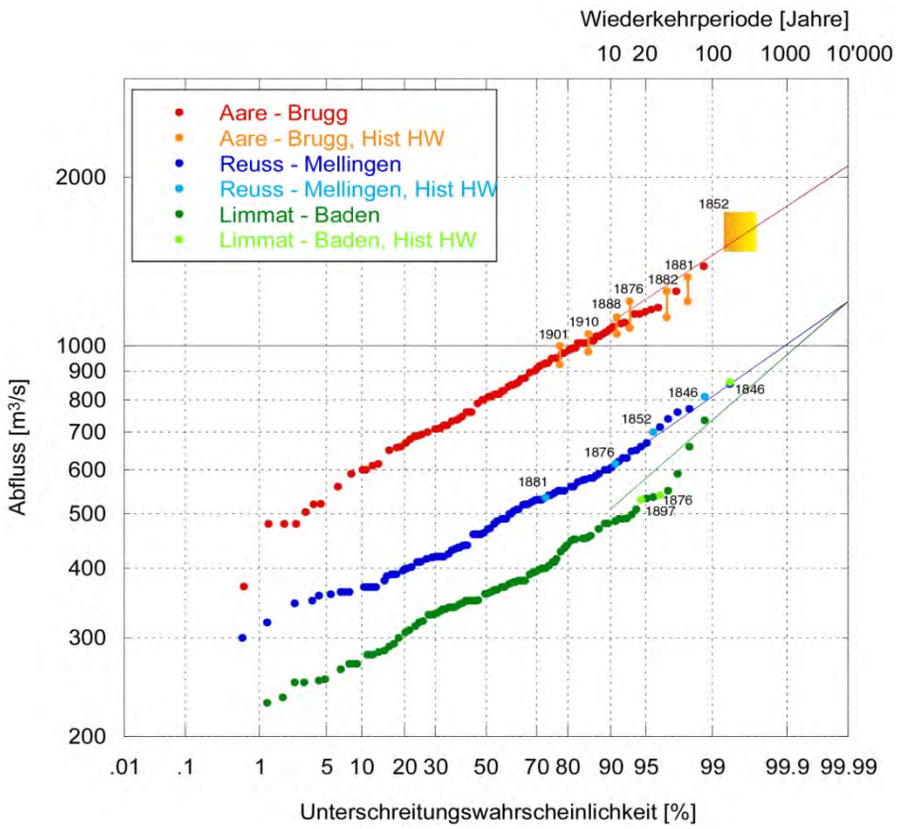
3.5.4.1 Point de départ des scénarios

Il est possible d'obtenir un aperçu de l'histoire des crues des 160 dernières années à l'aide des mesures de niveaux et des reconstitutions des valeurs de débits. Les descriptions de crues anciennes disponibles ainsi que la comparaison avec les marques de crues permettent d'élargir d'environ 800 ans la période pouvant être observée. Pour obtenir des informations sur les crues extrêmes caractérisées par une faible probabilité d'apparition (HQ1 000, HQ10 000), des scénarios sont construits à partir des statistiques de crues des principaux affluents, provenant des stations d'Aar-Brugg, Limmat-Baden et Reuss-Mellingen. Cette méthode combine les approches probabilistes et déterministes.

Les débits de crues des principaux affluents ont été déterminés de la façon suivante : A Mellingen, le niveau de la Reuss est enregistré depuis 1904. De plus, il a été possible de reconstituer les débits des crues de 1846, 1852, 1876 et 1881. La crue du 22/08/2005 a représenté l'événement le plus important des 160 dernières années. Les statistiques (diagrammes de fréquences) relatives aux stations de Reuss-Mellingen, Aar-Brugg et Limmat-Baden ont été élaborées à partir de mesures et de reconstitutions de crues historiques (Fig. 3.5-7).

L'extrapolation à des crues rares (droites rouge, bleue et verte sur la Fig. 3.5-7) a été effectuée graphiquement, seules les crues les plus importantes ayant été retenues. Dans une procédure standardisée, toutes les crues, petites et grandes, sont considérées de la même manière, ce qui n'a aucun intérêt pour effectuer une extrapolation aux crues rares [90][32].

Fig. 3.5-7 : Diagramme de fréquences des crues annuelles aux stations de mesure des niveaux d'Aar-Brugg, Reuss-Mellingen et Limmat-Baden, complété par les valeurs de débits de crues reconstituées sur la base des lectures de niveaux ou des marques de crues.



Le carré jaune-orangé représente la largeur de bande de l'événement de la crue de 1852.

Le diagramme 3.5-7 permet de déduire les débits de crues de différentes annualités, repris au Tableau 3.5-3.

[32] Si les crues historiques ayant la même magnitude sont placées dans un diagramme de fréquence, la spécification d'un intervalle de confiance n'est pas possible.

Tableau 3.5-3 : Débits de crues de différentes annualités, pour les stations de mesure des niveaux d'Aar-Brugg, Reuss-Mellingen et Limmat-Baden

Périodicité en années	Aare-Brugg Débit [m^3/s]	Reuss-Mellingen Débit [m^3/s]	Limmat-Baden Débit [m^3/s]
100	1 450	810	735
1'000	1 800	1 000	950
10'000	2 100	1 200	1 200

Les séries de mesures élargies par la prospection des crues historiques (Fig. 3.5-5) constituent la base de cette méthode. Sur la période d'environ 800 ans qu'il est ainsi possible d'étudier, il s'est produit un certain nombre de crues très importantes. L'estimation basée sur les connaissances actuelles de leur volume n'a pas permis d'en déduire un comportement aggravé (« non linéaire ») du débit de l'Aar sur la base des événements de crues rares. La prise en considération des événements de crues survenus au cours de la 2e moitié du 19e siècle, avant et pendant la correction des eaux du Jura (CEJ), a permis de tenir compte du comportement prévisible du débit de l'Aar lors de crues extrêmes (voir explications aux chapitres 3.5.2.3 et 3.5.4.3). En ce qui concerne la Reuss, dont les crues sont atténuées par le lac des Quatre Cantons, le lac de Zougue, le lac de Lauerz et le lac de Sarnen, il n'y a pas non plus à s'attendre à une aggravation lors d'événements de crues extrêmes. Pour ce qui concerne la Limmat à Baden, l'hypothèse a été faite d'une aggravation modérée en raison du lac de Sihl créé dans les années 1930, pouvant servir d'élément de régulation supplémentaire.

3.5.4.2 Création des scénarios

Avant d'exposer le processus de création des scénarios de crues, nous ferons les observations suivantes :

- Les pointes de crue d'Aar-Brugg, de Reuss-Mellingen et de Limmat-Baden peuvent être superposées, sur la base des observations d'anciennes crues (1999, 2005, 2007), puisque les pointes de crue des trois rivières durent plusieurs heures.
- Il est très improbable que, lors d'une crue extrême, l'ensemble du bassin de réception de l'Aar à Untersiggenthal d'environ 17 600 km², soit arrosé de manière uniforme.

On a donc établi un scénario « ouest » et un scénario « est » pour estimer chacune des $HQ_{1\,000}$ et $HQ_{10\,000}$ (Tableau 3.5-4). Dans le scénario « ouest », les plus grosses précipitations tombent sur le bassin de réception de l'Aar en amont de Brugg et de la Reuss. La $HQ_{1\,000}$ de l'Aar-Untersiggenthal est formée par la somme des $HQ_{1\,000}$ de l'Aar-Brugg et de la Reuss-Mellingen, tandis que la Limmat-Baden n'est que partiellement touchée, contribuant à une HQ_{100}. De même, dans le scénario « est », les bassins de réception de la Reuss et de la Limmat sont pleinement affectés. Les scénarios pour une crue $HQ_{1\,000}$ donnent des débits de 3400 à 3535 m^3/s à Untersiggenthal. Les valeurs des scénarios $HQ_{10\,000}$ s'élèvent à environ 4 200 m^3/s.

Tableau 3.5-4 : Scénarios crues extrêmes pour l'Aar-Untersiggenthal

Scénario	Aar-Brugg Débit [m^3/s]	Reuss-Mellingen Débit [m^3/s]	Aar-Brugg Débit [m^3/s]	Aar-Untersiggenthal Débit [m^3/s]
$HQ_{1\,000}$ ouest	1 800	1 000	735	3 535
$HQ_{1\,000}$ est	1 450	1 000	950	3 400
$HQ_{10\,000}$ ouest	2 100	1 200	950	4 250
$HQ_{10\,000}$ est	1 800	1 200	1 200	4 200

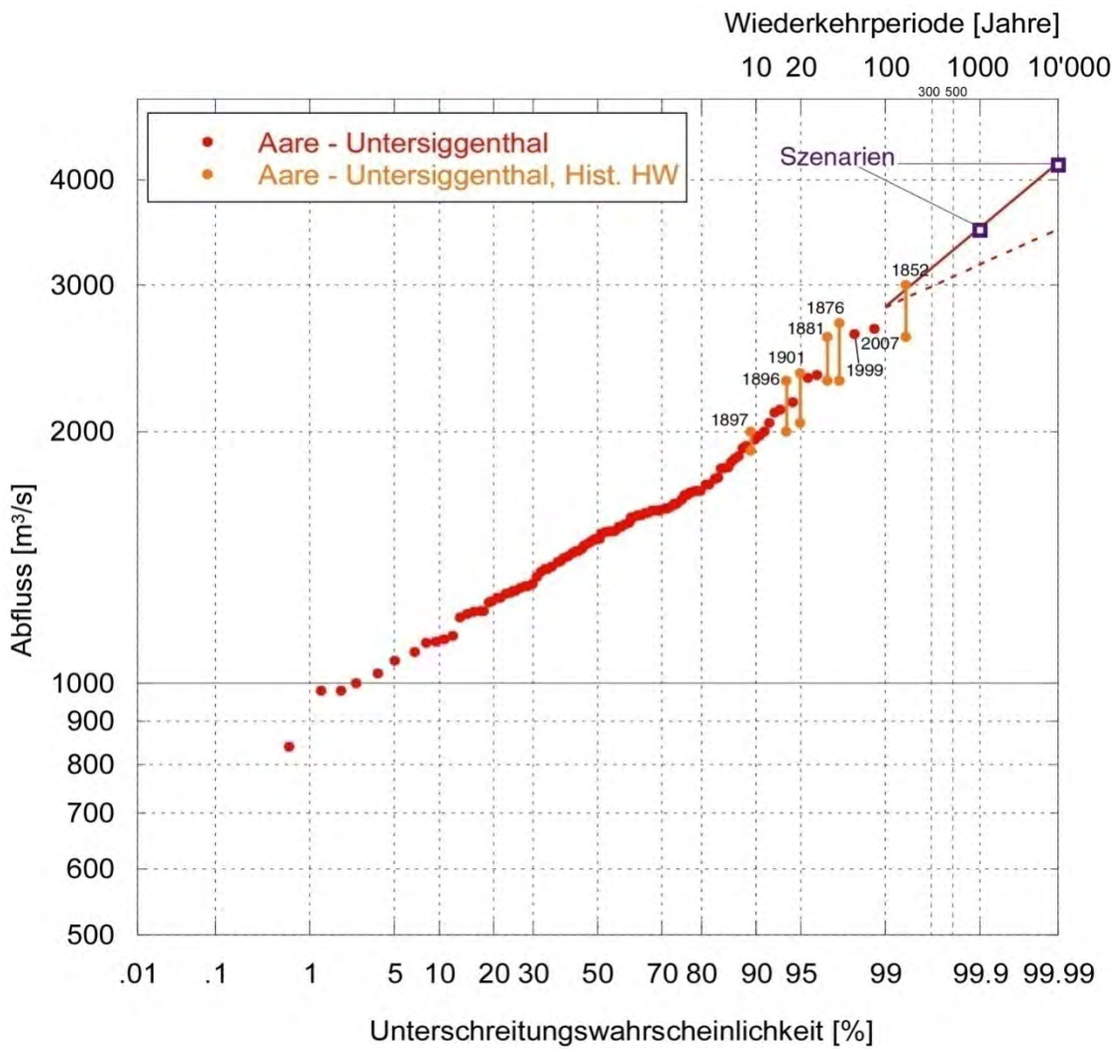
3.5.4.3 Crue d'une annualité définie de l'Aar à Untersiggenthal

La Fig. 3.5-8 montre le diagramme de fréquence des crues annuelles de la station Aar-Untersiggenthal (en rouge) complété des débits de crues historiques reconstitués (en orangé) et des débits déterminés à partir des scénarios (en violet).

La crue du 09.08.2007 a été probablement moins forte que la crue de 1852. Selon la présente série de mesures, (Fig. 3.5-6) la crue de 1852 a été classée comme la plus grosse crue des 160 dernières années. Comme dans les 800 dernières années (voir Fig. 3.5-5), l'Aar a connu d'autres grosses et très grosses crues, lesquelles dépassaient sans doute la crue de 1852, aucune période de retour supérieure n'a été attribuée à la crue de 1852.

La ligne tracée en rouge indique la limite supérieure de l'extrapolation à des crues rares ($HQ_{1\,000}$ et $HQ_{10\,000}$), compte tenu des scénarios (chapitre 3.5.4.1). Les scénarios $HQ_{1\,000}$ donnent des débits de 3 400 à 3 535 m^3/s de l'Aar à Untersiggenthal. Les valeurs des scénarios $HQ_{10\,000}$ s'élèvent à environ 4 200 m^3/s. Pour les crues de cet ordre de grandeur, les débits seront, en outre, éventuellement réduits par la large inondation des fonds de vallée (ligne pointillée rouge).

Fig. 3.5-8 : Diagramme de fréquence des crues annuelles de l'Aar à Untersiggenthal (1904 à 2007) complété des débits de crues historiques reconstitués (en orangé) et des débits déterminés à partir des scénarios (en violet). Les lignes rouges indiquent la zone probable des débits de crues ayant différentes annualités.



Alors que des crues moyennes à grosses seront atténuées par les lacs du pied du Jura, le cours de « l'ancienne Aar » peut, dans des situations de crues extrêmes, être réactivé par une rupture de la digue du canal de Hagneck, et le Grand Marais peut aussi être inondé (voir aussi chapitre 3.5.2.3). L'atténuation par les lacs du pied du Jura s'en trouve ainsi moins forte. Au lieu de cela, le débit de l'Aar sera atténué dans le Grand Marais inondable et dans le « Grenchenwiti » (surface inondable, environ 100 km²). Les pointes de débit de l'Aar à Brugg seront en tous cas atténuées de manière déterminante. La série de données élargie par la reconstitution de crues historiques est ainsi « quasi homogène », puisqu'aujourd'hui, en cas de crues très rares de l'Aar (par ex. $HQ_{1\,000}$) en aval de l'Aarberg, de semblables inondations devraient se produire comme avant la CEJ (correction des eaux du Jura). Il est donc possible d'extrapoler la série de mesures de débit en y ajoutant les crues historiques du 19e siècle.

La ligne rouge de la Fig. 3.5-8 indique la limite inférieure supposée de l'extrapolation aux crues rares, en supposant une atténuation idéale des trois rivières. La ligne tracée indique le cas le plus défavorable. La Fig. 3.5-8 permet de conclure, pour l'Aar à Untersiggenthal, les débits de crue ci-dessous pour diverses annualités (Tableau 3.5-5). Les effets dus au changement climatique ne sont pas pris en compte dans la présente étude ; cependant, les augmentations de débit dues aux effets du climat dans l'intervalle de temps de 1200 à aujourd'hui sont bien incluses dans l'étude.

Tableau 3.5-5 : Débits de crue de diverses annualités pour l'Aar à Untersiggenthal

Période de retour	Débit [m^3/s]
100	2800
1000	3200-3500
10 000	3500-4200

Les débits de différentes annualités, déterminés ici, sont nécessaires à l'évaluation de l'aptitude du site de la centrake nucléaire. En Suisse, de plus en plus d'informations sont exigées sur les cas de surcharge, lors de la planification des mesures de protection contre les crues. Des installations de protection importantes ne doivent pas tomber en panne lorsque les débits dépassent la valeur de dimensionnement. La limite supérieure de la $HQ_{10\,000}$ déterminée ici se base déjà sur la crue la plus défavorable.

Pour ce qui est de l'adéquation du site, se pose la question de savoir quelles sont les caractéristiques des inondations (hauteur et étendue), lorsque les débits sont > $HQ_{10\,000}$. Pour analyser la sensibilité hydraulique du site, la $HQ_{10\,000}$ a encore été augmentée de 20% (chapitre 3.5.7.6)[33]. Cette étude supplémentaire indique la robustesse du site par rapport à des quantités d'eau encore supérieures. Aucune période de retour ne peut être attribuée à cette crue extrême.

3.5.4.4 Effets du changement climatique sur les débits à Beznau

Lors de l'estimation des crues, se pose la question de savoir dans quelle mesure le changement climatique aura une répercussion sur ce type de phénomènes. Dans le cadre de l'analyse de la crue de 2005 [22], Naef et al. ont examiné la multiplication des crues de ces dernières années.

Citation : « Selon l'analyse globale des crues historiques, les périodes de plus grande fréquence de crues alternent au cours des siècles avec des périodes plus calmes. Le milieu du 20e siècle était plutôt calme, mais depuis la fin du 20e siècle, la fréquence des crues a fortement augmenté. Jusqu'à présent, elles n'ont cependant pas dépassé le cadre des fortes crues des époques plus anciennes. Il faut également s'attendre à ce que les crues apparaissent en outre selon une distribution purement hasardeuse. La régularité avec laquelle elles sont apparues au cours des siècles montre cependant des composantes cycliques. L'expérience actuelle et les mesures réalisées sont marquées par les périodes plus calmes du milieu du 20e siècle. C'est aussi pour cette raison que la multiplication actuelle des crues est considérée comme si inhabituelle. »

[33] Les directives de sécurité des ouvrages de rétention (2002) [91] exigent, par exemple, que les cas de surcharge de ce genre soient pris en considération. Pour faire ceci, la $HQ_{1'000}$ est multipliée par le facteur n (n = 1.3 – 1.5).

Si la multiplication de grosses crues de l'Aar observée ces dernières années (1994, 1999, 2005 et 2007) correspond à un phénomène cyclique, alors une phase plus calme devrait suivre. Les données hydrologiques ne permettent pas de prédire dans quelle mesure le changement climatique a provoqué et/ou aggravé la multiplication des crues observée ces dernières années et quelle influence il aura à l'avenir. Par contre, le procédé choisi ici (exploitation des données complétées de crues historiques de périodes de grandes crues) permet d'estimer de manière réaliste l'ampleur des crues rares.

3.5.5 Débit caractéristique et étiage

Le débit caractéristique de l'Aar est mesuré par le Service hydrologique national de Untersiggenthal. Le bassin de réception au point de mesure correspond pratiquement au bassin de rétention du barrage régulateur de Beznau. Les courbes des débits moyens de l'Aar à Untersiggenthal de 1904 à 1961 (avant la Correction des eaux du Jura II) et de 1973 à 2007 (après la Correction des eaux du Jura II) ne présentent que des différences minimes, comme le montre la Fig. 3.5-9. La courbe de la période 1904 à 2007 donne un débit moyen de 565 m^3/s. La Fig. 3.5-10 présente les courbes des débits de l'Aar à Untersiggenthal durant les années sèches et les années pluvieuses. Les valeurs moyennes mensuelles du débit (1904 à 2007) de l'Aar à Untersiggenthal et son amplitude de variation sont présentées danls la Fig. 3.5-11. Le débit momentané le plus bas s'élevait à 138 m^3/s en janvier 1963. La Fig. 3.5-12 montre le diagramme de fréquence du débit annuel minimum. L'étiage séculaire est d'environ 130 m^3/s. La Fig. 3.5-13 montre la fréquence des périodes d'étiage (débits < 300 m^3/s) de différentes durées de l'Aar à Untersiggenthal de 1904 à 2007. L'Aar a connu deux périodes d'étiage avec un débit < 300 m^3/s de plus de 160 jours et douze périodes d'étiage d'une durée de 41 à 60 jours. La Fig. 3.5-14 montre les débits des années 1912, 1979 et 1994. Ils correspondent sur une courbe de longue durée à une année moyenne.

Fig. 3.5-9 : Courbes des débits de l'Aar à Untersiggenthal avant et après la CEJ II et moyennes (1904 à 2007)

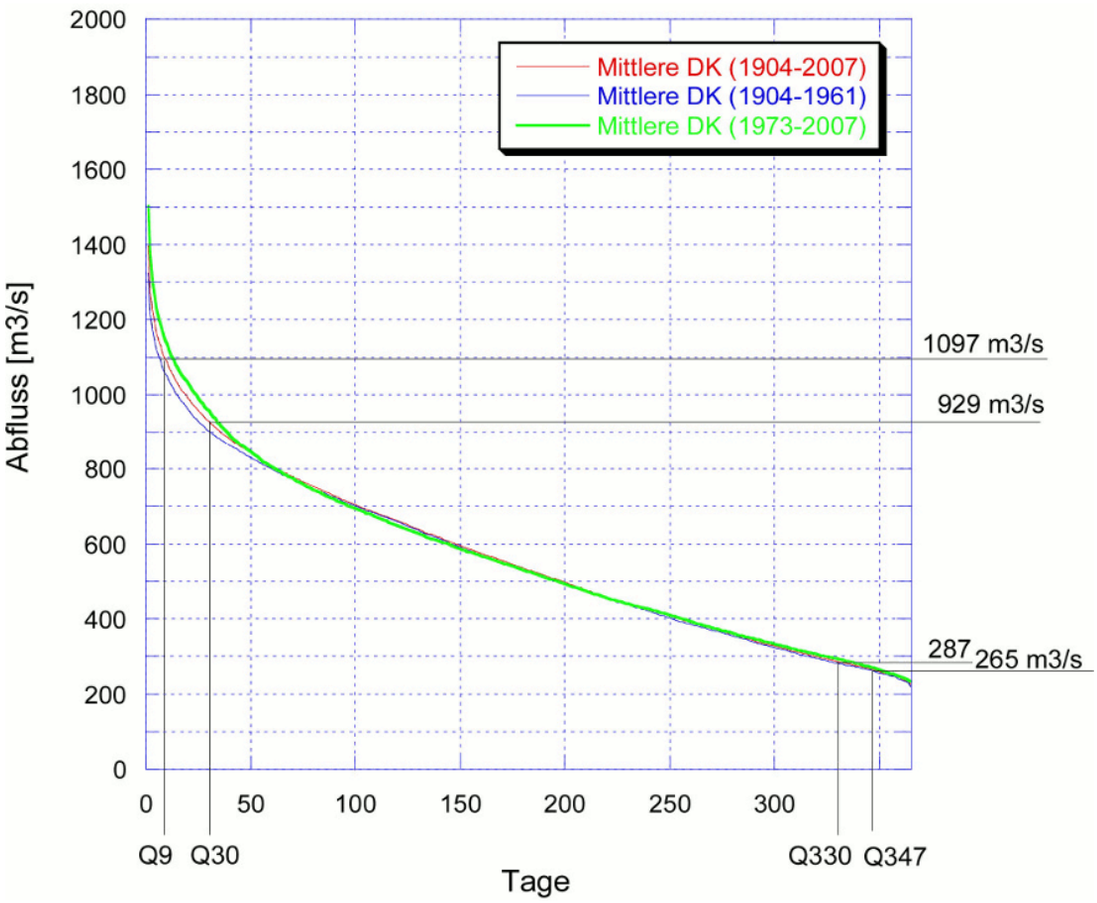


Fig. 3.5-10 : Courbes des débits de l'Aar à Untersiggenthal durant les années sèches (1921.1949 et 2003) et durant les années humides (1970 et 1999)

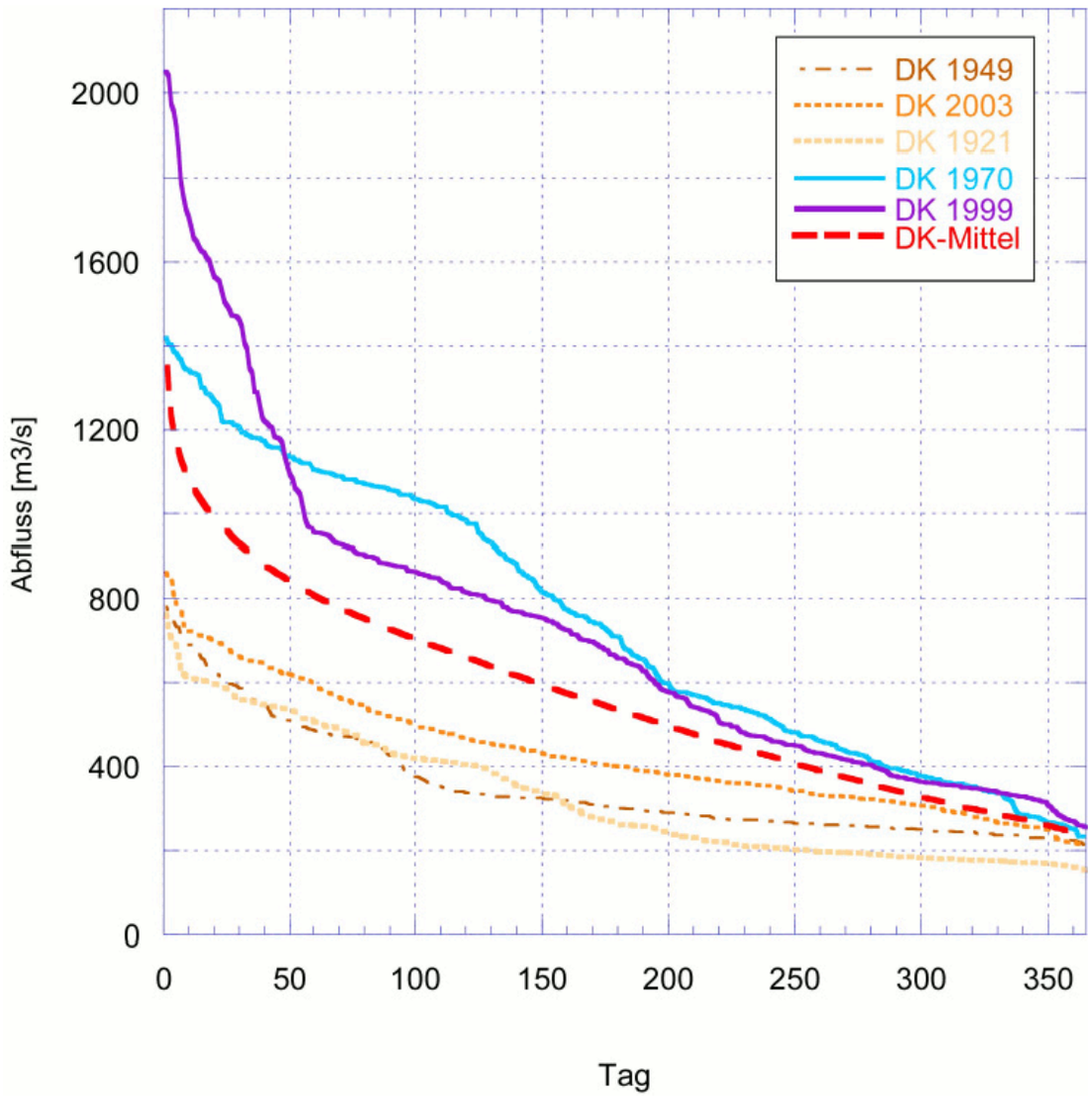


Fig. 3.5-11 : Moyenne mensuelle du débit de la station de Aar-Untersiggenthal de 1904 à 2007 (1904 à 1934 : Döttingen, 1935 à 1974 : Stilli) et son amplitude de variation

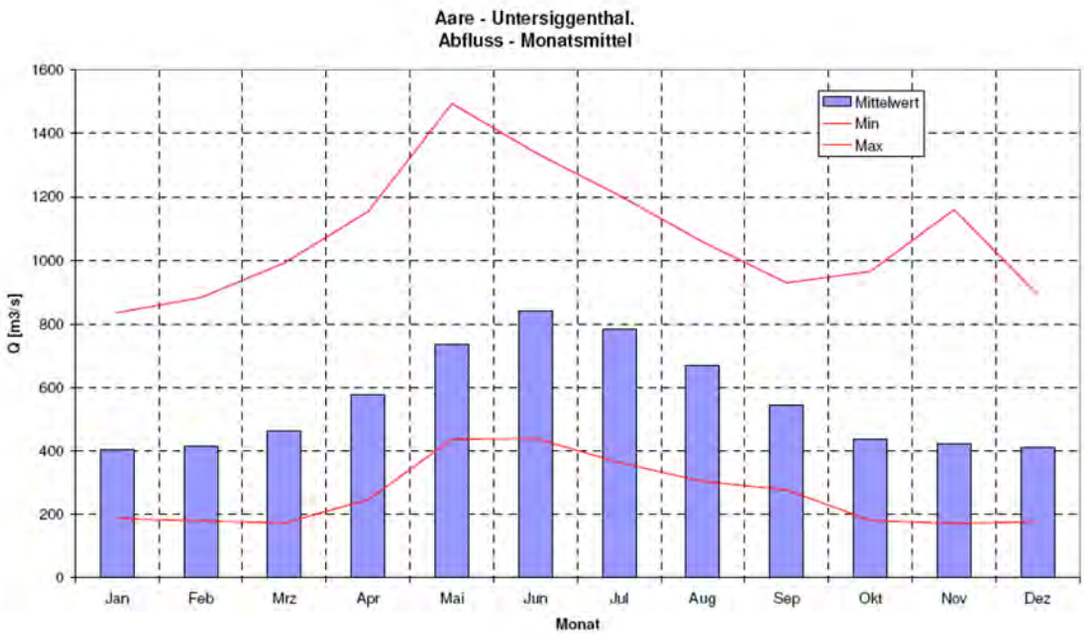


Fig. 3.5-12 : Diagramme de fréquence des minima du débit annuel de Aar-Untersiggenthal

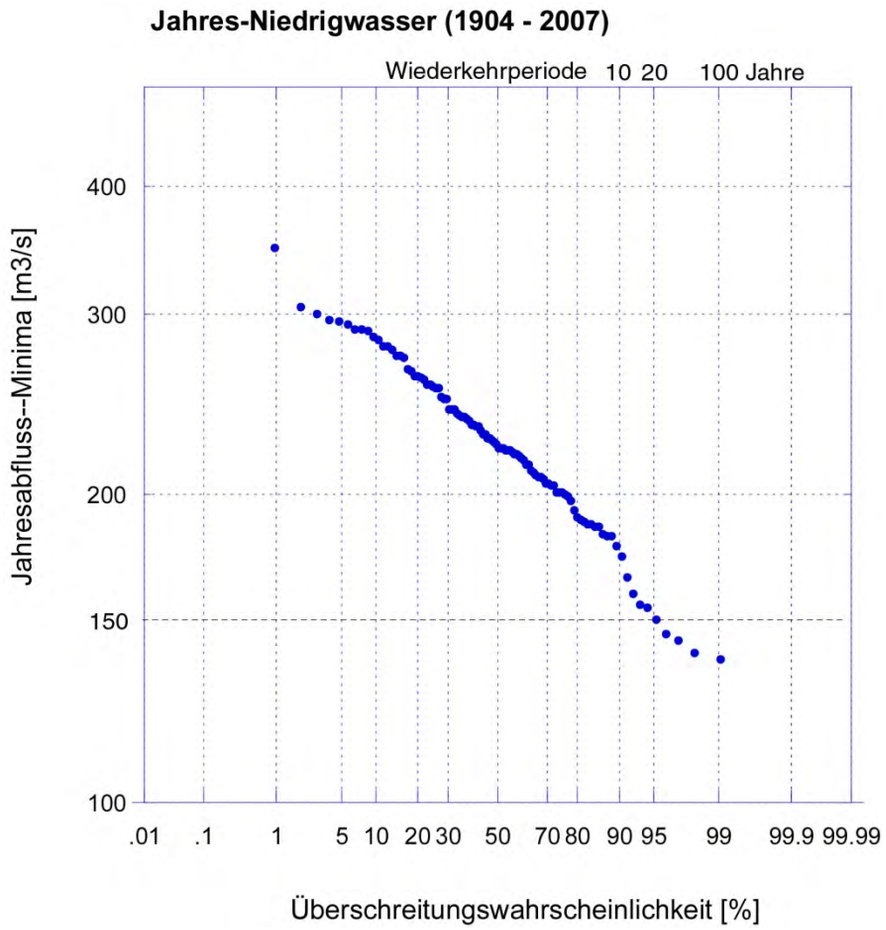


Fig. 3.5-13 : Fréquence des périodes d'étiage (débits < 300 m^3/s) de différentes durées de l'Aar à Untersiggenthal de 1904 à 2007

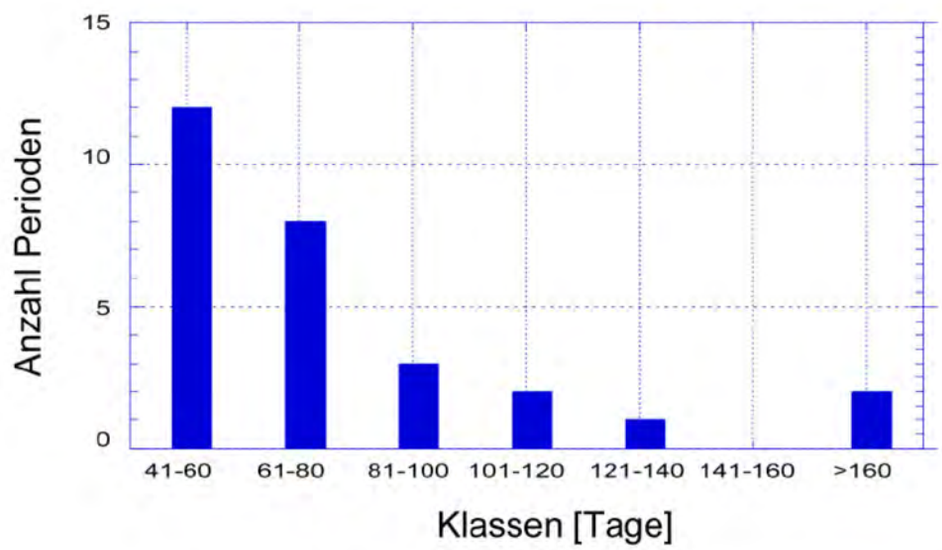
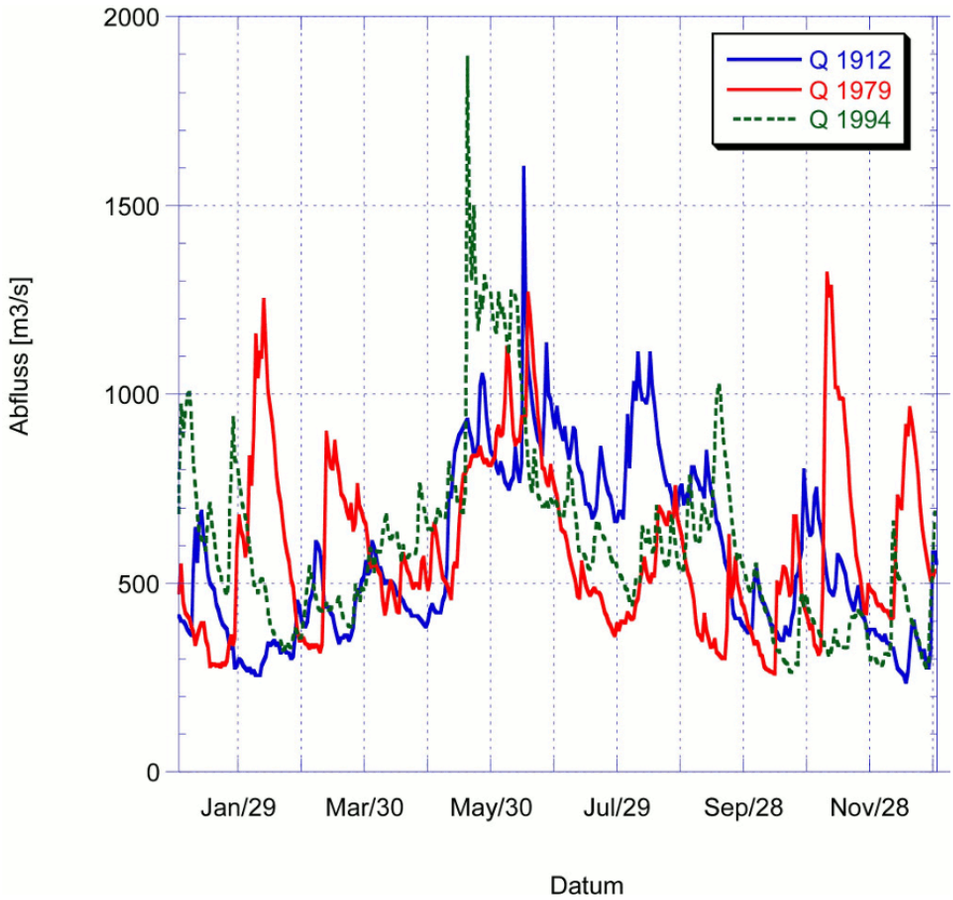


Fig. 3.5-14 : Débits des années 1912, 1979 et 1994 qui correspondent à la courbe d'une année moyenne



3.5.6 Barrage

Le niveau d'eau du barrage au sud de l'île de Beznau sera constamment maintenu par une régulation automatique à 325.25 m au-dessus du niveau de la mer. De ce fait, le niveau d'eau varie à peine, au niveau de la station de prise d'eau de refroidissement de KKB 1 et 2, entre 325.15 et 325.25 m au-dessus du niveau de la mer. Il est cependant influencé au niveau de la sortie d'eau de refroidissement de KKB 1 et 2 par l'apport d'eau et également par la retenue d'eau de Klingnau. Il varie d'environ 318.6 m, dans des conditions d'étiage extrêmes, à 324.2 m au-dessus du niveau de la mer pour un débit de 2 800 m^3/s. Sur une année moyenne, ce niveau d'eau est situé entre 321.9 et 318.8 m au-dessus du niveau de la mer, ce qui correspond à une hauteur de chute utilisable, entre prélèvement et restitution, de 3.35 à 6.45 m. Des différences de chute inférieures à 4 m se produisent sur environ neuf jours par an. La suppression du barrage de Klingnau augmenterait cette hauteur de chute en particulier en cas de faibles débits, et une influence négative sur la restitution des eaux de refroidissement de KKB ne serait pas à attendre.

Une suppression de la retenue, par une défaillance de la centrale hydroélectrique de Beznau ou du barrage régulateur conduit, en principe, à un événement de basses eaux, lequel, à son tour, peut avoir pour conséquence une panne éventuelle ou un préjudice concernant l'apport extérieur en eau de refroidissement. L'installation est dimensionnée pour lutter contre un préjudice et/ou

une panne de l'apport extérieur en eau de refroidissement. Ainsi, en cas de perte du barrage, la sécurité nucléaire de l'installation est garantie.

Avec la nouvelle construction de la centrale hydraulique de Beznau (HKB), une modification des caractéristiques du site tels que les eaux de surface, avec une éventuelle modification de la cote de retenue, n'est pas à exclure. On ne pourra juger de ces modifications que lorsque toute la clarté sera faite sur leur mise en application.

3.5.7 Inondation

Aux fins d'obtenir la procédure d'autorisation générale d'une nouvelle centrale sur le site de l'île de Beznau, il convient d'intégrer également les calculs de l'inondation dans les événements extrêmes.

A cet effet, un modèle d'inondation en deux dimensions d'Aarau jusqu'au Rhin a été établi et différents scénarios de ruptures et de crues ont été calculés.

3.5.7.1 Principes et méthodologie

Les calculs en deux dimensions ont été réalisés avec le modèle Modell Basement. Ce programme est développé par le Laboratoire d'hydraulique, d'hydrologie et de glaciologie de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ). Il ne comporte que le calcul hydraulique proprement dit, mais pas de possibilités de Pre- et Postprocessing. Par conséquent, nous utiliserons le progiciel SPRING de TK Consult AG permettant la préparation des données, la génération de réseau et la représentation finale des résultats, qui est en fait un modèle pour les eaux souterraines. Pour les calculs de la Limmat, le programme FLUX / FLORIS 2000 sera en outre utilisé, puisque dans le couloir d'écoulement étroit de la Limmat une modélisation unidimensionnelle est suffisante.

3.5.7.1.1 Modèle de terrain

Swisstopo (Office fédéral de topographie de Suisse) propose des modèles de terrain numériques, qui ont été établis avec Airborne Laser Scanning. La densité de points de ce modèle est d'environ 1 P/m^2. Comme les donnés présentent une trop grande densité, il convient de les « diluer ». Nous utiliserons pour cela le Programm SIMP. Cependant, il faudra tenir compte du fait que, dans les régions régulières et plates, peu de points suffisent, alors que les régions à topographie variable nécessitent de multiples points d'appui.

Pour la zone du fleuve proprement dite et pour le lac artificiel de Klingnau, des coupes transversales de mesures terrestres seront utilisées. Celles-ci seront d'abord diluées, puis reliées à des lignes de rupture dans le sens longitudinal. Puis, le couloir d'écoulement de la rivière sera mis en réseau avec le MNT. Si l'on souhaite inclure les barrages de protection contre les crues dans les coupes transversales, il conviendra de les relier par des lignes de rupture à la coupe transversale suivante. Les barrages devront donc, s'ils sont mesurés dans les coupes transversales, être reproduits avec une grande exactitude. Les problèmes surgissent lorsqu'un barrage n'est pas inclus dans le calcul par coupe transversale. C'est le cas, par exemple, dans la zone du lac artificiel de Klingnau, où les coupes transversales les plus récentes n'incluent que les sections mouillées. Dans de tels cas, le barrage doit être intégré manuellement, en raison des données trop denses du MNT-MO. La précision altimétrique du MNT-MO indiquée par Swisstopo est de ±50 cm (écart-type simple).

3.5.7.1.2 Programme Basement

Basement est un programme de volumes finis qui permet de résoudre les équations des eaux peu profondes moyennées selon la profondeur, en deux dimensions, sur des réseaux non structurés. Il se caractérise par une reconnaissance automatique des zones alternativement pluvieuses et sèches. Une régulation automatique du barrage n'étant pas possible, les positions des barrages doivent être intégrées à la main, ce qui demande un procédé itératif.

La grille de calcul réelle composée de triangles ou de quadrilatères est créée avec le programme SPRING et la mise en réseau réelle des points de surface dans une grille à mailles triangulaires s'effectue avec le programme TRIANGLE et avec le générateur de réseau de SPRING. A partir du réseau de triangulation, un réseau mixte de triangles et de quadrilatères est ensuite établi. Les parties de terrain plus marquées peuvent y être représentées comme des lignes de rupture.

3.5.7.1.3 Modèle de Aarau à Klingnau

Le programme Basement repose sur une discrétisation numérique avec triangles et quadrilatères, ce qui permet un ajustement souple aux bords, quels qu'ils soient. Le modèle global commence à la centrale électrique d'Aarau. Pour la partie supérieure, on a repris et reformaté un modèle existant de l'entreprise suisse NOK. A partir de la centrale électrique de Wildegg-Brugg, un nouveau modèle a dû être créé. D'un côté, nous avons utilisé des données de sections transversales qui ont été mises en réseau en un couloir d'écoulement. Pour le terrain environnant la centrale, nous avons utilisé les données de scanning au laser proposées par Swisstopo. Pour optimiser le temps de calcul, nous avons conçu le réseau le plus régulier possible, avec une largeur de quadrillage classique de 20 m. Les données du modèle d'altitude ont été interpolées à ce quadrillage. Le modèle global comprend au total 130 000 éléments. Le plus petit modèle de la chambre de compensation jusqu'à Klingnau n'a que 33 000 éléments, ce qui réduit considérablement le temps de calcul. Malgré cela, le calcul des crues persistantes de type $HQ_{10\,000}$ nécessite néanmoins plusieurs jours.

3.5.7.2 Calculs relatifs au scénario d'inondation de l'île de Beznau

Pour le calcul de l'inondation de l'île de Beznau, les scénarios suivants ont été étudiés, en collaboration avec NOK Hydro :

a Crues extrêmes, HQ10 000 = 4200 m3/s (correspondant à la valeur la plus élevée de la plage de valeurs indiquée au chapitre 3.5.4.3 pour HQHQ10 000 von 3500-4200 m^3/s)

b Rupture séquentielle des barrages des centrales électriques de Rupperswil-Auenstein (KRA) et de Wildegg-Brugg (KWWB)

c Rupture du barrage de KW Wettingen

d Rupture combinée des barrages de KRA, KWWB et KW Wettingen.

Une rupture du barrage de la centrale de Bremgarten-Zufikon n'est pas pertinente pour le site. La centrale de Bremgarten-Zufikon est presque deux fois plus éloignée de l'île de Beznau que la centrale de Wettingen. Or, l'expérience montre qu'un long chemin hydrologique atténue fortement une pointe de crue. Ainsi, on renoncera à intégrer dans l'étude les effets d'une rupture du barrage de la centrale de Bremgarten-Zufikon.

Le scénario d'une rupture simultanée combinée vise à étudier les conséquences d'un tremblement de terre de grande ampleur, qui causerait la rupture simultanée des trois barrages concernés.

L'étude relative à la rupture séquentielle ne concerne que les centrales se trouvant sur le même chemin hydrologique.

Le scénario « rupture séquentielle » prend en compte les ruptures consécutives des centrales de l'Aar, KWA et KWWB, dont les raz-de-marée se superposent à Wildegg-Brugg. Dans son cheminement ultérieur et jusqu'à l'EKKB, cette pointe de crue sera néanmoins considérablement atténuée. Ce scénario ne prévoit pas d'autre raz-de-marée venant d'un cours d'eau latéral (KW Wettingen).

Le scénario « rupture simultanée de barrages » prévoit 3 lames individuelles qui arrivent l'une après l'autre à l'EKKB. Néanmoins, le raz-de-marée venant de Wettingen, qui est assez élevé en raison de la hauteur d'eau/du volume d'eau de cette retenue et qui rencontre en outre dans la chambre de compensation le débit élevé de l'Aar, atteint une pointe de crue plus haute que le raz-de-marée combiné « rupture séquentielle ». Une superposition des pointes de crue venant de Wettingen et de Wildegg-Brugg dans la chambre de compensation peut néanmoins être exclue en raison des diverses durées de propagation des ondes de crue.

Le Tableau 3.5-6 donne un aperçu des éloignements, des volumes des retenues, des hauteurs de chute de chaque barrage, ainsi que des durées de propagation des ondes de crues jusqu'à l'île, des barrages de grande capacité de retenue situés en amont. La Figure 3.5-1 donne la situation des centrales présentées dans le Tableau 3.5-6.

Les caractéristiques des eaux d'aval sont identiques pour tous les scénarios de ruptures de barrages, y compris l'hypothèse de panne de la régulation automatique des barrages.

Tableau 3.5-6 : Caractéristiques des barrages de grandes capacité de retenue situés en amont

Barrage	Distance par rapport à l'EKKB	Durée d'écoulement jusqu'à l'EKKB	Volume d'eau stocké	Hauteur de chute (à l'étiage)
	(km)	(min)	millions de m^3	(m)
HKB (Centrale hydroélectrique de Beznau)	0	-	2.1	6.0
KRA (Centrale de Rupperswil-Auenstein)	23.2	104	1.0	8.9
KWWB (Centrale de Wildegg-Brugg)	15.6	72	0.8	7.2
KWW (Centrale de Wettingen)	18.1	35[34]	6.0	18.4
KWBZ (Centrale de Bremgarten-Zufikon)	35.8	-[35]	2.2	11.2

Il n'a pas été jugé nécessaire de présenter ici les caractéristiques des barrages intermédiaires plus petits (puissance < 10 MW). Il s'agit par ex. de la centrale de Windisch sur la Reuss et des centrales d'Aue, de Kappelerhof et de Schiffmühle, sur la Limmat.

3.5.7.2.1 Paramètres du modèle

Les coefficients de rugosité de Strickler connus et calibrés pour le couloir d'écoulement ont été introduits comme base dans le modèle. Ont ensuite été intégrées les valeurs relatives aux surfaces cultivées et à la forêt avoisinantes, qui n'ont pu être calibrées par manque de données de mesure. Les coefficients de rugosité des talus n'ont pas été différenciés ; ils seront assimilés à ceux de l'avant-pays:

- Couloir d'écoulement 42.0 $m^{1/3}/s$
- Terres cultivées 25.0 $m^{1/3}/s$
- Forêts, prairies 20.0 $m^{1/3}/s$

Il est difficile de fixer des valeurs pour les surfaces cultivées, car elles dépendent de la plantation de chaque parcelle, ainsi que de la saison. La valeur utilisée est donc une valeur moyenne. Un calibrage ne serait possible que si des inondations de même ampleur avait déjà eu lieu.

Dans le modèle Basement, les valeurs réciproques des coefficients de rugosité de Strickler ont été utilisées.

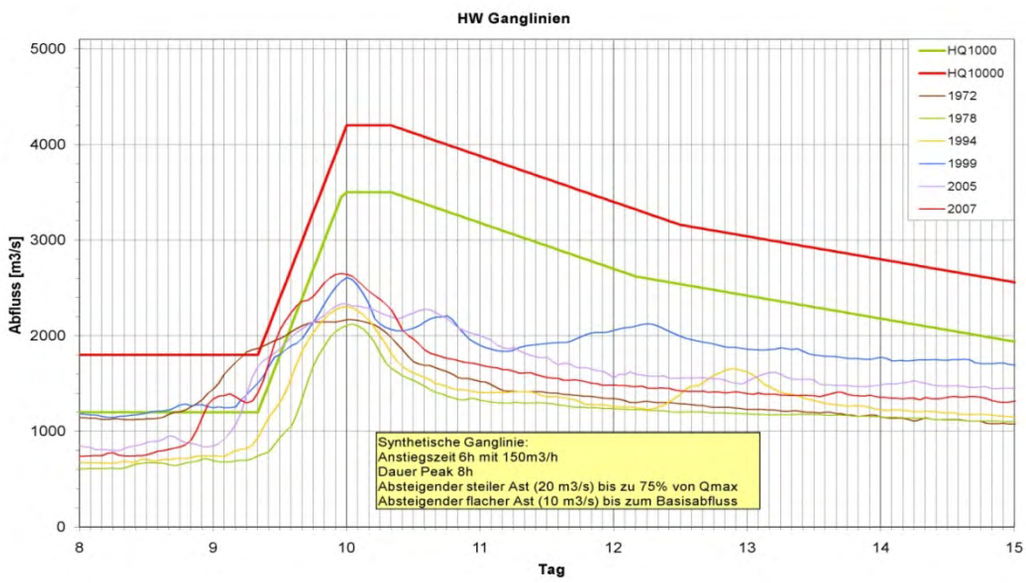
[34] Durée d'écoulement de la KW Wettingen jusqu'à Wasserschloss

[35] La centrale électrique de Bremgarten-Zufikon est presque deux fois plus loin de l'île de Beznau que la centrale électrique de Wettingen. Comme l'on n'a pas examiné le scénario de manière plus détaillée, une précision de la durée d'écoulement n'a pas été possible. La durée d'écoulement sera beaucoup plus importante que celle pour la centrale électrique de Wettingen en raison de la plus grande distance.

3.5.7.2.2 Crue extrême HQ $_{10\,000}$

Le modèle utilisé pour le calcul s'étend de la chambre de compensation jusqu'à la centrale de Klingnau avec une cote de retenue de 318.00 m au-dessus du niveau de la mer. La Fig. 3.5-15 indique le régime hydraulique utilisé.

Fig. 3.5-15 : Courbe de la vague de crue pour $HQ_{10\,000}$



Cet afflux est introduit juste en aval de l'afflux de la Limmat, sans que l'on ne distingue quelle part provient du bassin de réception de l'Aar, de la Reuss ou de la Limmat.

Comme conditions marginales de la centrale hydroélectrique, on suppose que les turbines ne sont plus en service et qu'un pertuis est fermé.

La variante (n-1), pertuis fermé, provient de l'Ordonnance sur les ouvrages de rétention [91]. Ici, un $HQ_{1\,000}$ doit pouvoir être déduit sans mise en danger de l'ouvrage, en supposant que l'organe de vidange le plus puissant ne fonctionne pas. Ensuite, la crue de sécurité ($1.5 \times HQ_{1\,000}$) doit pouvoir être évacuée en prenant en compte la totalité des organes de vidange et l'acceptation de dégâts de faible ampleur. Il serait possible d'atteindre une plus grande sécurité encore eu égard à l'Ordonnance sur les ouvrages de rétention en analysant de la même manière une crue de sécurité, correspondant à $HQ_{10\,000}$, en utilisant la condition (n-1).

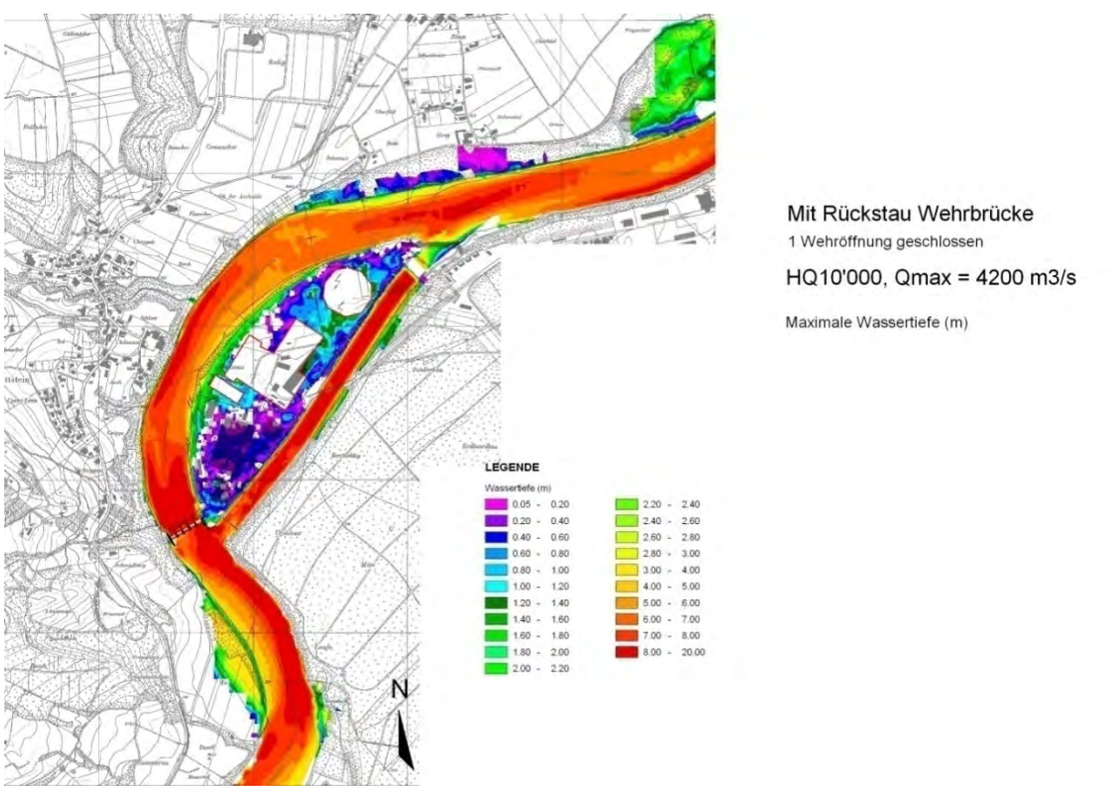
Le requérant prendra les mesures nécessaires pour s'assurer que cette condition (n-1) peut être respectée, même dans des conditions de crue réelles. Ce qui signifie que les pertuis restent ouverts dans ces conditions.

La décharge doit donc se faire, sur la base de la condition (n-1) nommée ci-dessus, par les quatre pertuis restants. En outre, avec une décharge d'environ 3 000 m^3/s, le pont-barrage en aval se ferme.

La Fig. 3.5-16 présente la hauteur d'eau maximale dans la zone de l'île de Beznau. Pour une présentation plus précise, les hauteurs inférieures à 3 m sont notées tous les 20 cm. Ensuite, elles sont espacées d'1 m.

Comme un pertuis est fermé, le niveau d'eau retenue s'élève, en raison de la fonction d'épandage du pont-barrage. Dans le canal supérieur, le niveau d'eau est à la hauteur de la tour de refroidissement prévue, soit 327.21 m au-dessus du niveau de la mer, ce qui entraîne une inondation. L'eau s'écoule du canal supérieur jusque dans les eaux d'aval en passant par l'île. Une décharge effectuée par cinq pertuis aurait manifestement des effets moins graves. La hauteur d'eau maximale au niveau de la tour de refroidissement s'élève à environ 1.59 m. Mais ceci n'est qu'une valeur locale maximale, comme le montre la Fig. 3.5-16. Les hauteurs d'eau dans la zone des ouvrages nucléaires et dans la partie sud-ouest de l'île se trouvent nettement en dessous de cette valeur. Par des mesures appropriées, par exemple une éventuelle élévation du terrain, qui empêcherait la vidange de l'eau du canal supérieur vers les eaux d'aval en passant par l'île, ou l'aménagement d'un canal de décharge qui réduirait le volume d'eau passant par l'île, il serait possible de réduire les hauteurs d'eau qui en résultent dans la zone de l'île. La faisabilité et la définition précise des contre-mesures nécessaires seront étudiées ou élaborées dans le cadre de la demande de l'autorisation de construire (voir chapitre 3.5.12).

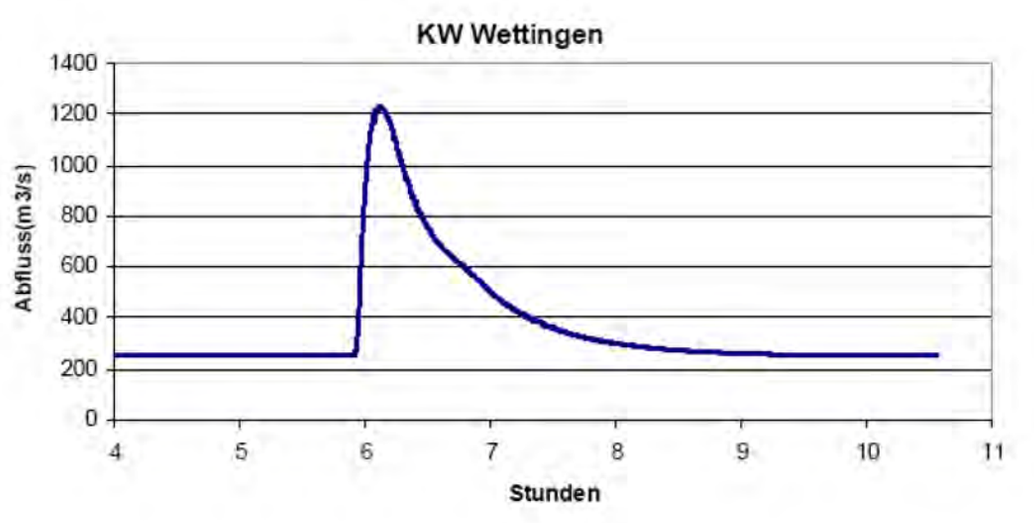
Fig. 3.5-16 : Hauteur d'eau maximale dans la zone de l'île de Beznau



3.5.7.2.3 Rupture de la centrale de Wettingen

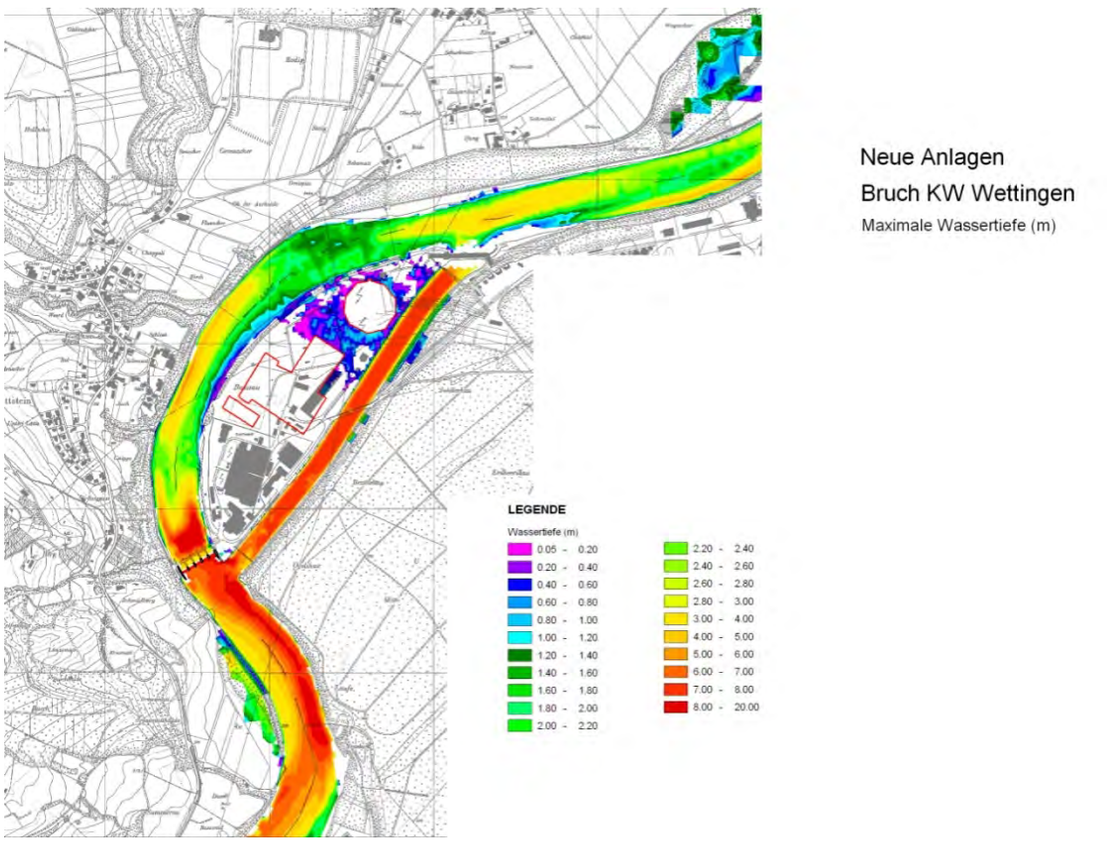
La centrale de Wettingen présente un mur de retenue élevé et avec ses 6 millions de m^3, elle retient une masse d'eau très importante. La vallée de Limmat en aval est étroite, sans grandes possibilités de débordement. Ainsi, le raz-de-marée peut être calculé avec un modèle à une seule dimension. On utilise le programme Flux/Floris 2000. Les profils transversaux utilisés ont été mis à disposition par l'OFEV. Ils ont été mesurés en 2003. Le maximum de l'onde de crue de Wettingen atteint la chambre de compensation après 35 mn avec un front raide et en 13 mn seulement, le débit atteint 1228 m^3/s. Le retrait de la masse d'eau s'effectue sur un temps plus long et donc sans hautes vagues. Il se passe environ deux heures avant que le débit ne retrouve sa valeur normale. La Fig. 3.5-17 montre le débit sur une base de décharge de 250 m^3/s. Les calculs se font avec une condition marginale d'étiage au niveau de la centrale de Beznau. Le barrage régulateur de Beznau ne peut plus être régulé et les turbines de la centrale hydroélectrique (HKB) ne sont plus en fonctionnement.

Fig. 3.5-17 : Débit de la Limmat en amont de la chambre de compensation après rupture de la centrale de Wettingen



Cette onde de crue est utilisée comme courbe du régime hydrographique du modèle à deux dimensions, de la chambre de compensation jusqu'à la centrale de Klingnau. A cela s'ajoutent les débits de base de la Reuss de 50 m^3/s et de l'Aare de 150 m^3/s, ce qui correspond à un faible débit. Ce qui donne au début de la simulation un afflux de l'Aar en dessous de l'afflux de la Limmat de 450 m^3/s. La Fig. 3.5-18 présente les hauteurs d'eau maximales dans la zone de Beznau. L'île elle-même n'est pas entièrement inondée. La cote maximale en amont du barrage est de 326.35 m au-dessus du niveau de la mer et celle du canal supérieur est identique. Comme les hauteurs du terrain dans la partie inférieure du canal sont partiellement inférieures selon les données MNT-MO et selon les sections transversales du canal, il en résulte une inondation de 0.9 m maximum.

Fig. 3.5-18 : Hauteurs d'eau maximales en cas de rupture de la centrale de Wettingen



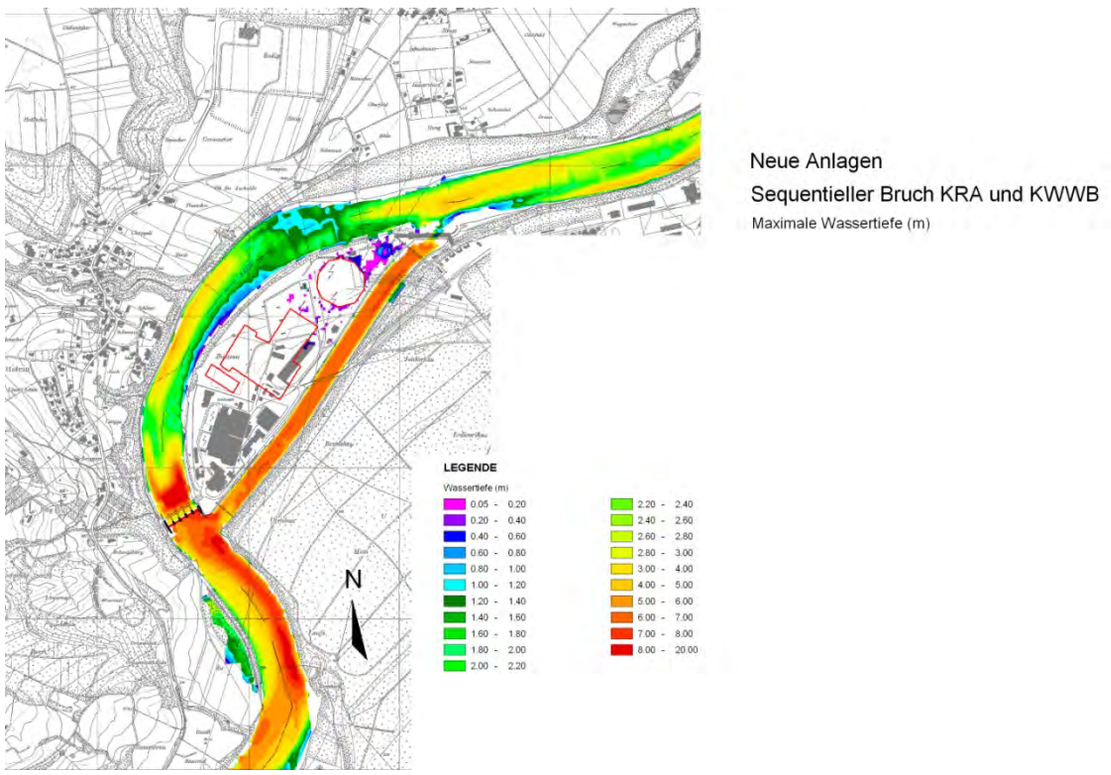
3.5.7.2.4 Rupture séquentielle KRA et KWWB

Dans le cas présent, les conditions marginales partent du fait que la rupture intervient en basses eaux et que le barrage régulateur de Beznau ne peut plus être régulé. Les turbines de la centrale hydroélectrique ne fonctionnent plus non plus.

Lorsque le maximum du raz-de-marée provoqué par la rupture du barrage de KRA, arrive sur le barrage de KWWB, ce dernier se rompt également. Et la vague se renforce donc. Les centrales ne turbinent plus, l'afflux total est alors supérieur de l'ancien débit de l'Aar.

Les débits étant plus élevés, l'augmentation en pourcentage due à la rupture du barrage est de plus en plus faible, car lorsque les écluses sont complètement ouvertes, l'élimination totale du barrage ne fait plus une grande différence. La Fig. 3.5-19 présente la hauteur d'eau maximale, l'île n'est pas inondée.

Fig. 3.5-19 : Hauteur d'eau maximale après rupture séquentielle de KRA et KWWB



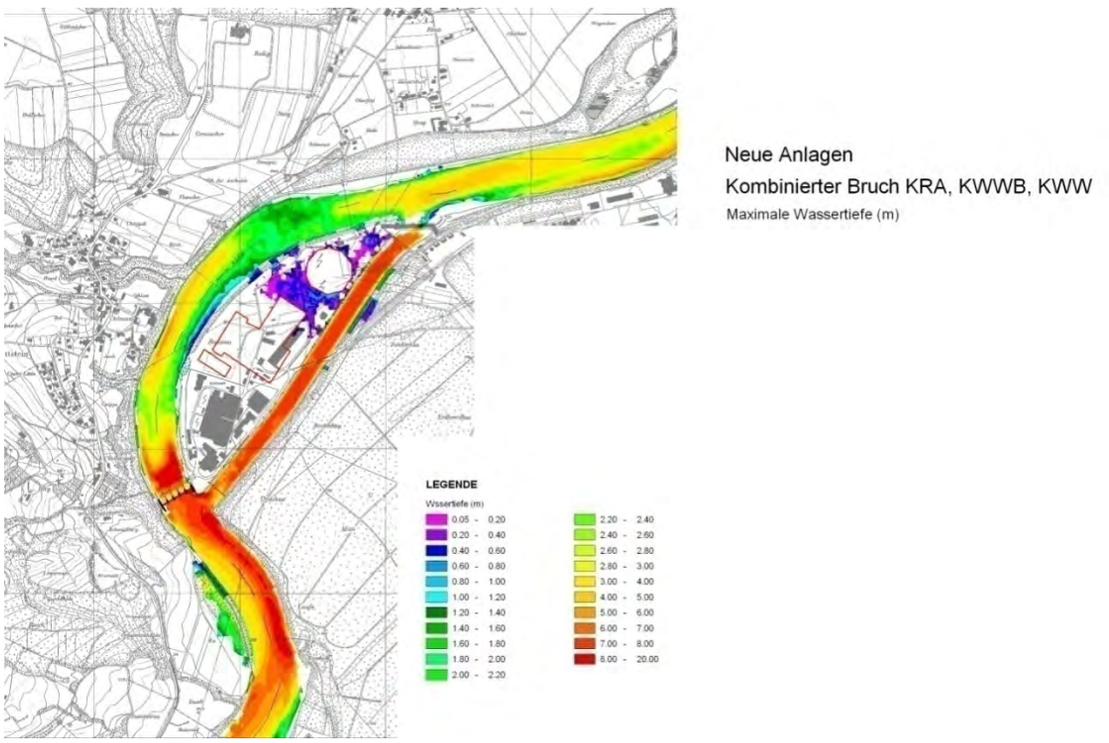
3.5.7.2.5 Rupture simultanée des barrages de KRA, KWWB et KW Wettingen

Dans ce cas, les conditions marginales sont les mêmes que pour une rupture séquentielle, le barrage de Beznau en basses eaux ne peut plus être régulé et l'HKB est hors service.

Une superposition maximale au niveau de la chambre de compensation n'est pas à attendre, en raison de la différence de propagation de chacune des vagues.

La Fig. 3.5-20 présente la hauteur d'eau maximale. L'île est faiblement inondée comme dans le cas d'une rupture isolée de la centrale de Wettingen. La cote d'eau maximale en amont du barrage est de 326.24 et dans le canal, de 326.17. La hauteur d'eau sur l'île est d'environ 0.80 m maximum, alors que la partie la plus basse de l'île est inondée ; la zone de la centrale nucléaire existante reste sèche.

Fig. 3.5-20 : Hauteur d'eau maximale en cas de rupture simultanée de KRA, KWWB et KWW



3.5.7.3 Sensibilité

Afin d'étudier l'influence de la rugosité et d'en déduire une valeur de la sensibilité, un autre cas a été simulé avec une rugosité plus faible. Au lieu de faire appel au coefficient de rugosité selon Strickler k_{st} de 42 $m^{1/3}/s$, on a utilisé une valeur de 37.8 $m^{1/3}/s$ comme base de calcul. Ce qui correspond à un socle plus grossier, tel qu'il pourrait se présenter durant une crue avec transport de sédiments important. Pour le régime hydrographique (rapport entre débit et volume), on a utilisé la crue décrite au chapitre 3.5.7.6 (cas de surcharge) avec une valeur maximale de 5040 m^3/s. Le niveau d'eau du canal supérieur est de 327.47 m au-dessus du niveau de la mer, la hauteur d'eau maximale au niveau de la tour de refroidissement est encore de 2.09 m et le niveau d'eau, de 327.15 m au-dessus du niveau de la mer.

Ainsi le niveau d'eau est de 0.01 m plus bas, pour un coefficient de rugosité selon Strickler réduit de 10%. Le niveau d'eau ne réagit donc pratiquement pas à un changement de rugosité. C'est d'ailleurs un phénomène connu sur les modèles à deux dimensions.

3.5.7.4 Conclusions

Pour le site de Beznau, la crue annuelle 10 000 est déterminante, la rupture des barrages en amont ne provoque pas de très fortes pointes de crue. Avec le modèle utilisé, la crue $HQ_{10\,000}$ provoque une inondation essentiellement dans la moitié inférieure de l'île. Dans le cas $HQ_{10\,000}$, la retenue est essentiellement provoquée par le barrage-pont bas, qui se ferme, sur la base des résultats de la modélisation à une seule dimension, à environ 3000 m^3/s. En outre, l'hypothèse que seuls quatre pertuis peuvent être ouverts, a un effet négatif, comme on l'escomptait, avec une cote de retenue beaucoup plus élevée dans le canal supérieur. L'ensemble de l'île est inondé dans tous ces cas étudiés.

La sensibilité aux coefficients de rugosité selon Strickler est extrêmement faible. Une rugosité réduite de 10% donne un écart d'1 cm maximum.

Dans le cas des ruptures des barrages de KRA, KWWB et KW Wettingen, les débits des raz-de-marée qui se forment sont nettement plus faibles. Le raz-de-marée consécutif à la rupture de la retenue de Wettingen atteint néanmoins à la chambre de compensation un débit maximal de plus de 1200 m^3/s et en raison de l'hypothèse prudente selon laquelle les ruptures se produisent à basses eaux et la régulation des barrages ne fonctionne plus, le niveau d'eau du barrage s'élève néanmoins, provoquant une inondation dans la partie basse de l'île.

3.5.7.5 Crues et charriage de matières solides

En périodes de forts débits de l'Aar, il ne faut pas seulement compter avec de grandes quantités d'eau, mais aussi avec le charriage de sédiments et d'alluvions. A partir des calculs en situation $HQ_{10\,000}$, on connaît les valeurs des forces d'entraînement du modèle à deux dimensions qui permettent d'identifier des points critiques.

Pour un débit d'environ 4000 m^3/s dans l'Aare en aval de la chambre de compensation, la force d'entraînement sur le fond de la rivière atteint en moyenne 40 N/m^2, par endroit même jusqu'à 70 N/m^2. Ce qui permet le charriage de matériaux d'environ 6 à 10 cm de diamètre. Ceci déclenche un charriage de sédiments dans le couloir d'écoulement de la rivière. La vitesse du courant en surface est continue également au niveau du barrage, les forces d'entraînement ne baissent qu'en aval du réservoir de Klingnau où la sédimentation peut donc se produire. Les résultats du calcul ne sont donc pas notablement influencés, dans le canal supérieur de Beznau, par le processus de charriage de sédiments.

Comme les forces d'entraînement sont beaucoup moins élevées au bord du lit du cours d'eau et que les talus latéraux sont plantés de végétation de manière stable, l'érosion sera faible. De même, des phénomènes d'affouillement importants ne sont pas non plus à attendre dans le fond de la rivière.

Dans le bassin de réception en amont d'EKKB, on peut observer, en cas de grande crue, un fort charriage de bois. Ces derniers sont retenus en grande partie par les centrales et les lacs situés en amont. Les riverains d'amont de l'Aar, la Reuss et la Limmat ont les largeurs de pertuis suivants : KWWB 15 m, KWBZ 8.8 m, KWW 11 m, sachant qu'il existe aussi d'autres centrales en amont de Beznau. En cas de crue extrême entraînant de grosses alluvions, les plus gros arbres sont donc déjà retenus au niveau des riverains d'amont et seuls les très gros arbres provenant du bassin de réception intermédiaire pourraient être retenus par le piège à charriage de Beznau.

L'engorgement d'un pertuis par du bois charrié au niveau du barrage régulateur de Beznau peut être exclu en raison de l'étroitesse de ce bassin de réception et de la grande largeur de passage (20.5 m) d'un pertuis. Le bois charrié par un cours d'eau d'un débit de 4 000 m^3/s, restera, ne serait-ce que partiellement - comme l'eau - au niveau du barrage-pont. Et comme il flotte simplement à la surface de l'eau, le débit en aval de la vanne à segment reste garanti.

Selon une étude réalisée en 1990 [92] par le Laboratoire d'hydraulique, d'hydrologie et de glaciologie de l'EPF de Zurich, la couche de couverture dans le canal est emportée avec une force d'entraînement de 20 à 42 N/m^2, ce qui déplace les débris existants. Selon la littérature scientifique, la force d'entraînement critique des graviers grossiers (20 à 63 mm, soit environ 70% des matériaux existants, le reste étant plus fin) est de 45 N/m^2. Ainsi, une force d'entraînement > 45 N/m^2 avec un barrage ouvert devrait provoquer un charriage total, sans danger de dépôt de sédiments. En cas de crues extrêmes, les forces d'entraînement présentes sont environ deux fois plus élevées immédiatement en amont du barrage et jusqu'à environ 300 m avant le barrage, dans la zone d'écoulement déterminante, elles sont d'au moins 45 N/m^2. Les sédiments peuvents se déposer tout au plus sur les bords et lorsque les hautes eaux commencent à baisser. Ainsi, un engorgement dû au charriage de débris peut être exclu.

Une modélisation du charriage n'apporte pas de connaissances nouvelles, en raison du fait que les conditions marginales sont inconnues (matériaux charriés réellement existants, quantité de matériaux charriés en cas de crues extrêmes).

Le charriage de matières solides n'a pas pu être estimé durant les scénarios de rupture de barrages, parce que les hauts débits ne sont que de courtes durées.

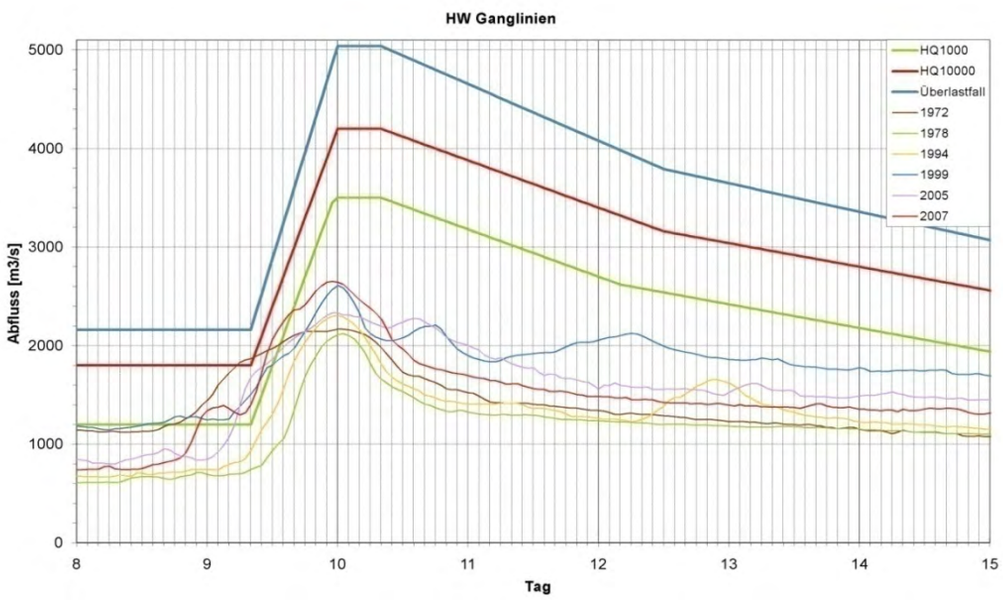
3.5.7.6 Cas de surcharge

Dans un cas de surcharge, on doit s'attendre, en principe, à des situations plus extrêmes encore que lors d'une crue $HQ_{10\,000}$.

Le débit pourrait être, dans un cas de très faible probabilité d'apparition (< 10E-4), plus élevé que celui supposé pour la crue $HQ_{10\,000}$. Cet événement pourrait donner lieu à une inondation de l'île plus grave encore que pour $HQ_{10\,000}$ (voir Fig. 3.5-16).

La valeur d'un tel événement très improbable n'est pas connue. Aussi, à titre d'exemple, la courbe utilisée jusqu'à présent pour $HQ_{10\,000}$ avec un débit maximal de 4 200 m^3/s sera multipliée par un facteur de 1.2, ce qui donnera un débit de pointe de 5 040 m^3/s (voir Fig. 3.5-21).

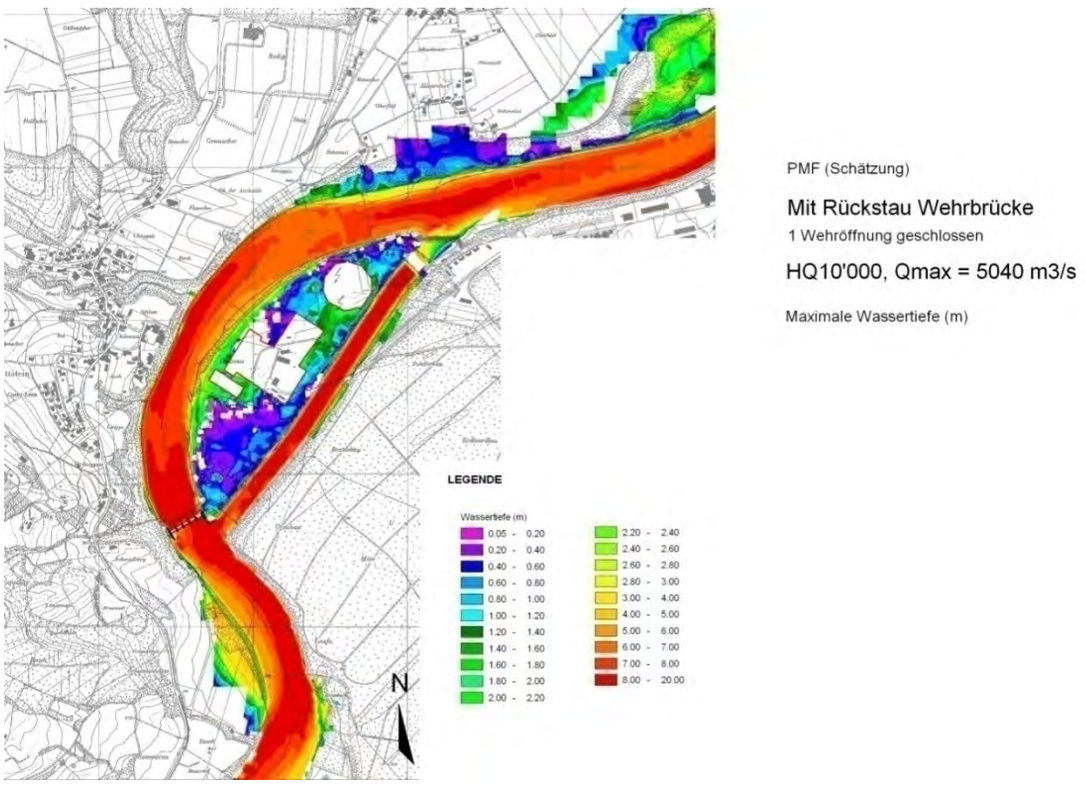
Fig. 3.5-21 : Courbe de la vague de crue pour l'exemple de surcharge ($HQ_{10\,000} \times 1.2$)



Ainsi, nous obtenons l'image d'un tel événement très improbable et des inondations qu'on peut en attendre.

Tout comme pour les calculs précédents, on suppose que le barrage-pont de Beznau est engorgé et que l'écoulement ne peut plus se faire librement. La centrale hydroélectrique (HKB) ne fonctionne plus. Ceci donne lieu à une retenue d'eau massive avec une cote de 327.6 m au-dessus du niveau de la mer en amont du barrage. Dans le canal supérieur, à la hauteur de la tour de refroidissement prévue, le niveau d'eau est de 327.48 m. L'eau est évacuée du canal supérieur sur l'île. La hauteur d'eau maximale atteint, avant la nouvelle tour de refroidissement, un maximum de 2.1 m et le niveau d'eau est de 327.16 m. La Fig. 3.5-22 indique la hauteur d'eau. L'eau s'écoule ici, comme dans les autres cas, du canal vers les eaux d'aval de la centrale en passant par l'île. Malgré une quantité d'eau nettement plus grande, le calcul indique un niveau d'eau à peine plus élevé que celui de la crue $HQ_{10\,000}$. Les niveaux d'eau augmentent de 0.27 m, suite à l'augmentation de 20% de la quantité d'eau dans le canal supérieur, et en amont de la tour de refroidissement, la différence est de 0.51 m. Un coefficient de rugosité selon Strickler réduit de 10% n'a pratiquement aucun effet sur le niveau d'eau qui en résulte dans le cas présent (voir aussi chapitre 3.5.7.3).

Fig. 3.5-22 : Hauteur d'eau maximale pour un débit de 5040m3/s



Pour le type de cas donné ici en exemple, l'installation doit être conçue avec des mesures de protection d'urgence appropriées et avec des marges de sécurité de conception suffisantes. Ces mesures d'urgence ou autres contre-mesures en prévoyance de ce cas de surcharge éventuel, ainsi que la définition des marges de sécurité font partie des éléments de l'autorisation de construire ou de l'autorisation d'exploitation.

3.5.8 Caractéristiques des eaux de l'Aar

La température des eaux de l'Aar est mesurée en divers points. La mesure au point T22 dans le canal supérieur au niveau de la centrale hydroélectrique est significative des conditions existantes dans la zone de prise d'eau de refroidissement (Fig. 3.6-13). Entre 1968 et 2007, les températures variaient, à cet endroit, entre +1 °C und +25 °C environ (voir Fig. 3.6-38). La moyenne annuelle depuis 1984 est de 11.6 °C. La Fig. 3.5-23 indique la courbe à long terme de la température des eaux de l'Aar à Untersiggenthal pour les années froides et les années chaudes, ainsi que la moyenne de la période de 1963 à 2007. La Fig. 3.5-24 montre l'évolution de la température des eaux de l'Aar à Untersiggenthal.

Les propriétés chimiques des eaux de l'Aar sont décrites au chapitre 3.6.5.1.2, car elles ont une influence sur les caractéristiques des eaux souterraines aux environs du site étudié.

Fig. 3.5-23 : Courbe à long terme de la température des eaux de l'Aar à Untersiggenthal pour les années froides (1970, 1987) et pour les années chaudes (1976, 2000 et 2003), et valeur moyenne (période analysée 1963-2007)

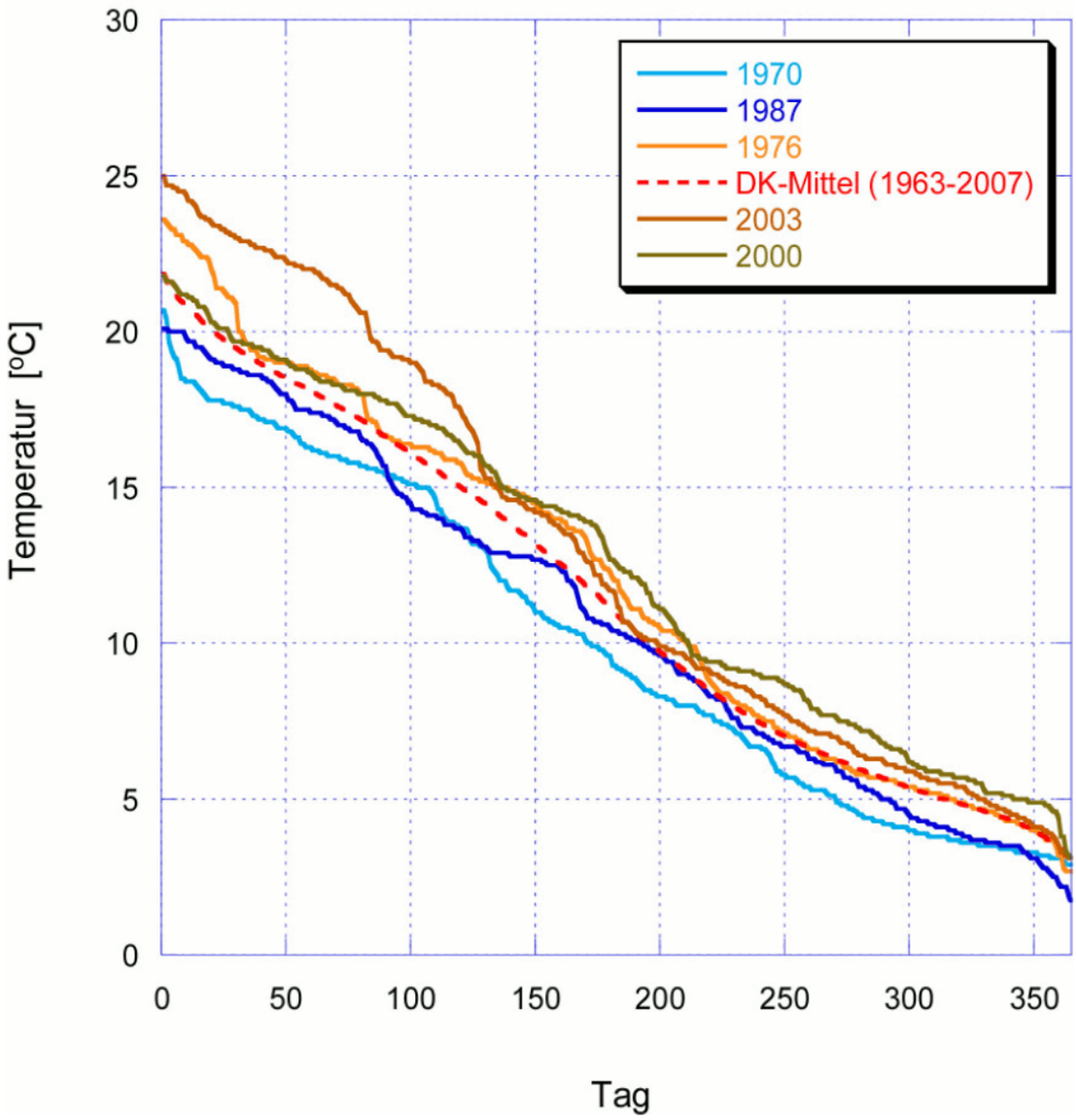
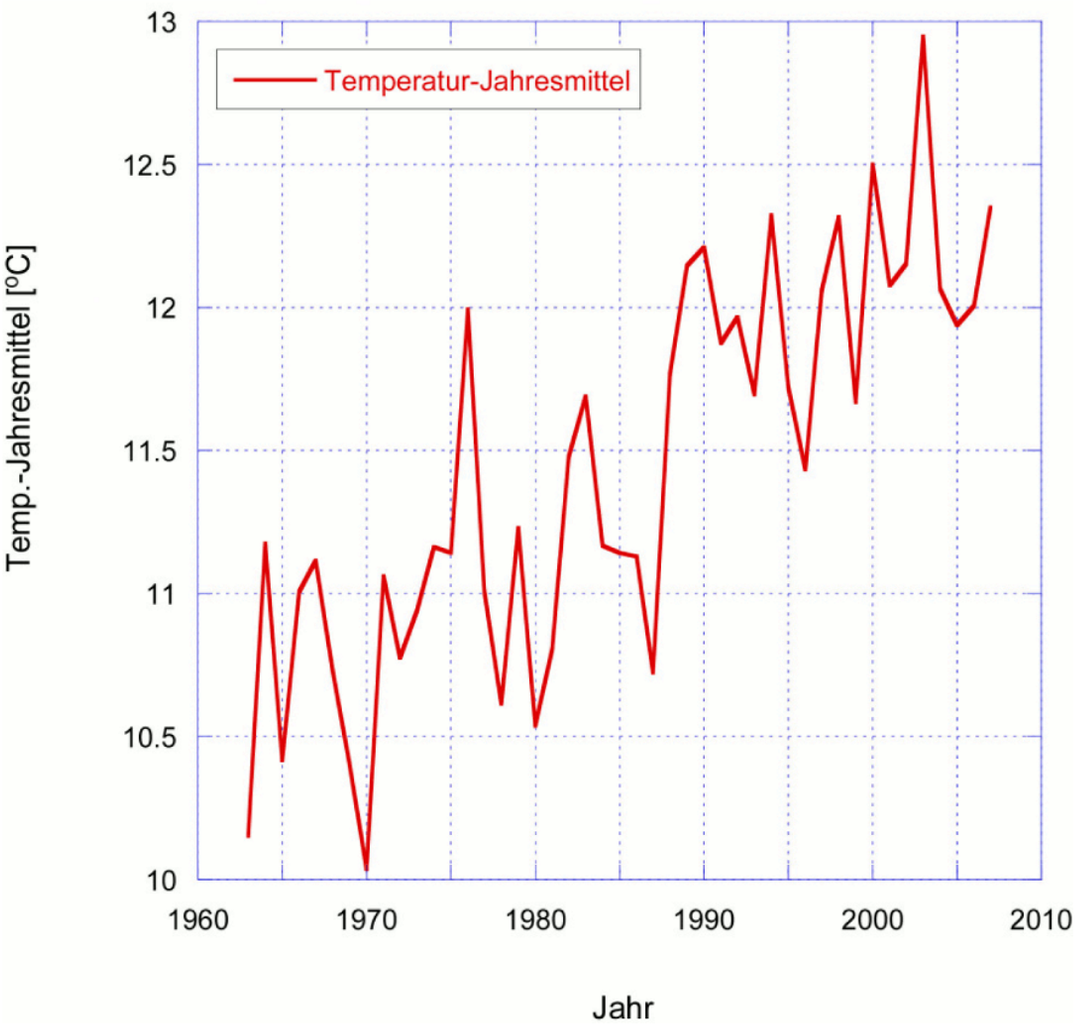


Fig. 3.5-24 : Évolution de la température annuelle moyenne de l'Aar à Untersiggenthal (période : 1963–2007)



3.5.9 Formation de givre

3.5.9.1 Introduction et méthode

Il n'existe pas d'enregistrements systématiques sur l'englacement et la débâcle de l'Aar dans la zone de Beznau.

Seules deux sources s'intéressent aux événements de débâcle des années 1929 et 1956 pour les centrales hydroélectriques situées le long de l'Aar et du Rhin ([23] et [32]). Ces documents décrivent aussi la situation de la centrale de Beznau.

Ces études ont été étendues aux bassins de réception du Rhin, de l'Aar, de la Limmat et de la Reuss, afin de trouver des informations sur l'englacement des lacs et des fleuves dans ces régions. Les archives municipales de Brugg donnent diverses informations sur les événements de débâcle de l'Aar d'époques plus récentes. Il s'agit la plupart du temps de photographies (Fig. 3.5-25), d'articles de presse ou d'informations tirées de bulletins du Nouvel An de Brugg.

Fig. 3.5-25 : Photos des archives municipales de Brugg, janvier 1905 : L'Aar est prise dans les glaces au niveau de Brugg [30]



Le chapitre 3.5.14 traite de la fréquence de l'englacement et de la débâcle. Le chapitre 3.5.15 précise les conditions de leur formation, à savoir les températures de l'air et de l'eau et les débits des rivières ; le chapitre 3.5.9.2 en présente les conclusions. Pour les études d'englacement et de débâcle, les références [23] à [39] ont été utilisées.

Dans l'évaluation du risque de givrage des systèmes à admission d'air (composants ou bâtiments), deux conditions sont prises en compte :

- Température entre -5 °C et 0 °C
- Humidité relative > 90%

Le chapitre 3.4.5.2 traite ce sujet plus en détail.

3.5.9.2 Conclusions

Les études présentées ici ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- Les informations relatives à la débâcle de l'Aar ont été rassemblées à partir de sources diverses. On peut en conclure que cette liste d'événements n'est pas exhaustive.
- Les lacs et les fleuves gelés ont été régulièrement observés les siècles passés et depuis le 18e siècle, ce phénomène est cependant en recul. En particulier depuis les années 60 du 20e siècle ; car depuis 45 ans, l'Aar n'a plus connu de débâcle dans la région du « château d'eau » (Wasserschloss).
- Le nombre de jours de gel n'est pas un indice pour l'apparition de débâcles. Ceci vaut aussi pour le nombre de jours avec des températures moyennes en dessous de -10 °C. Par contre, la débâcle ne s'est produite qu'au cours d'hivers où l'Aar avait un débit moyen inférieur à la moyenne de la longue période 1905-2007.
- L'Aar a toujours été prise dans les glaces lorsque la somme des valeurs moyennes journalières négatives (NDD) était inférieure à -400 degrés-jours de gel à Berne et/ou -350 degré-jours à Bâle. Cette condition n'est pas un critère suffisant pour l'englacement, car même dans les années nettement plus chaudes de 1900 à 1910, le gel a été observé à trois reprises.
- Tous les indicateurs (nombre de jours de gel, nombre de jours avec une température moyenne inférieure à -10 °C, valeurs journalières moyennes négatives, durée minimale de degrés-jours de gel) laissent entrevoir une forte décroissance de la probabilité des phénomènes d'englacement et de débâcle.
- Ces conclusions n'incluent pas de prévisions sur l'évolution des températures. De même, les événements non prévisibles, tels que les éruptions volcaniques, qui peuvent avoir une influence sur l'évolution du climat ne sont pas non plus traités.

3.5.10 Evénements externes

Conformément aux exigences de l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire (article 8), l'installation est protégée contre les accidents de référence ayant leur origine à l'extérieur de la centrale. Ceci inclut les accidents qui pourraient être provoqués par des événements en lien avec les conditions hydrologiques du site. Il s'agit des événements suivants :

- Inondation
- Étiage
- Formation de givre
- Panne ou préjudice portée à l'apport externe d'eau de refroidissement
- Evénements biologiques

En raison de l'altitude de l'île de Beznau par rapport au niveau du fleuve, une inondation de l'île est possible en cas de très rare crue ($HQ_{10\,000}$). Ceci est pris en compte dans la conception des bâtiments, systèmes, installations électriques et stations de prélèvement d'eau (voir aussi chapitre 3.5.12).

L'étiage n'est pas en soi un événement qui peut provoquer une panne ayant son origine à l'extérieur de l'installation. Les basses eaux résultent en général de longues périodes de sécheresse en été et/ou de longues périodes de froid en hiver et elles s'installent

progressivement. Des phénomènes locaux d'étiage dans la zone du canal supérieur pourraient aussi être provoqués par la panne de la centrale hydroélectrique ou d'un barrage régulateur, par exemple à la suite d'un fort tremblement de terre.

Toutes ces situations pourraient, selon la conception des installations, entraîner un préjudice ou une panne de l'apport externe en eau de refroidissement. L'installation est conçue pour répondre à ce type d'événements.

Un englacement de l'Aar dans la zone des entrées d'eau de refroidissement entraîne la panne ou un préjudice de l'apport externe de l'eau de refroidissement et est donc couvert par la conception contre les pannes de l'apport externe en eau de refroidissement. Un englacement des écoulements d'eau du terrain de l'installation pourrait entraîner une inondation de certaines parties de l'île. Cet événement est couvert par l'événement externe inondation.

Les événements biologiques sont, par exemple, la prolifération de coquillages dans les canalisations et les tuyauteries ou l'engorgement des points de prise d'eau dû à de grandes quantités de plantes aquatiques ou de bois flottant après une grosse tempête. Pour ce site, deux de ces situations sont envisageables :

a Engorgement d'un point de prise d'eau par des coquillages

b Engorgement d'un point de prise d'eau par du bois flottant

Ces deux événements entraînent la panne ou le préjudice de l'apport externe en eau de refroidissement et sont donc couverts par la conception de l'installation.

Les événements décrits plus haut peuvent à leur tour déclencher les phénomènes suivants :

- Panne ou préjudice à l'apport externe d'eau de refroidissement
- Inondation de locaux de l'installation
- Perte de l'alimentation électrique externe ; pour les scénarios conduisant à un niveau d'eau au-dessus du niveau areal ou du niveau des transformateurs de blocs, on peut soupçonner la perte de l'alimentation électrique externe. Cet événement est décrit plus en détail au chapitre 3.8.

Suite aux risques évoqués plus haut, les constructions et les équipements de la centrale liés à la sécurité sont conçus de telle manière qu'en cas d'apparition de ces événements et de leurs conséquences (voir Tableau 2.4-2) , la centrale est mise en sécurité en respectant tous les objectifs de protection et les valeurs limites. Les justificatifs correspondants, ainsi que les détails relatifs à la conception seront fournis lors de la demande de permis de construirue, comme exigé à l'annexe 4 de l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire.

3.5.11 Estimation du site quant aux eaux de surface

Des quantités d'eau de rivière suffisantes sont disponibles sur le site pour les fonctions de refroidissement liées à la sécurité comme pour les fonctions de refroidissement ne relevant pas de la sécurité (voir chapitre 2.3.3 pour le système de refroidissement du réacteur et le chapitre 2.3.7 pour les systèmes d'eau de refroidissement et les sources froides). Les propriétés chimiques des eaux de l'Aar dans la zone de l'île de Beznau leur donnent une bonne aptitude à l'utilisation pour le refroidissement de l'EKKB. La longue expérience des deux blocs KKB 1 et KKB 2 le montre aussi.

Les eaux de l'Aar peuvent aussi, si nécessaire, être utilisées pour éteindre les incendies.

Le chapitre 3.6.7 aborde la question de la disponibilité des eaux souterraines comme source de refroidissement de secours en cas d'accidents.

Les plages de variation des températures des eaux de rivière sont celles que l'on rencontre habituellement en Europe centrale et sont prises en compte dans la conception des systèmes de refroidissement.

Été comme hiver, des périodes d'étiage peuvent se produire. Ceci est pris en compte lors du choix et de la conception du système de refroidissement du réacteur pour les condenseurs de turbine et ne remet pas en question l'adéquation du site.

Une inondation de l'île est possible en cas de crues rares ($HQ_{10\,000}$) (voir chapitre 3.5.7). Une conception appropriée (voir chapitre 3.5.12) contre une inondation de l'île permet de satisfaire aux exigences légales de protection contre les pannes ayant leur origine à l'extérieur de l'installation. Une inondation possible en cas de crue décamillénaire ($HQ_{10\,000}$) ne remet pas en question l'adéquation du site.

3.5.12 Mise en œuvre lors de la conception

Dans le cadre de l'élaboration de la demande de l'autorisation de construire, les données hydrologiques seront mises à jour, puis documentées et évaluées dans le rapport de sécurité.

Les évaluations définitives des caractéristiques hydrologiques du site dans le cadre de l'autorisation de construire déterminent la conception nécessaire à la protection contre les inondations et autres événements provoqués par les caractéristiques hydrologiques du site.

On définit trois principaux types de mesures contre une éventuelle inondation de l'île en cas de crue rare :

- Conception des bâtiments pour la protection contre l'inondation du terrain de l'installation. Par exemple, l'installation pourrait être protégée par des mesures appropriées contre la pénétration de l'eau à l'intérieur de l'installation (étanchement), afin que le fonctionnement des systèmes liés à la sécurité reste assuré.
- Mesures de protection contre les crues : Avec l'érection d'une digue latérale sur le canal supérieur ou d'autres mesures de protection contre les crues dans la zone de l'île (par ex. un canal de décharge), on pourrait éviter qu'en raison de l'augmentation des eaux (voir chapitre 3.5.7.2.2), l'eau ne s'écoule du canal supérieur vers les eaux d'aval en traversant l'île. Ceci permettrait de faire baisser les niveaux d'eau qui en résultent dans la zone de l'île.
- Elévation du terrain : Ceci permettrait de faire baisser les très hauts niveaux d'eau en cas d'inondation.
- Les contre-mesures évoquées ici engendreraient certaines modifications dans les calculs de modélisation, car elles se répercuteraient toutes sur les conditions hydrologiques du site, à l'exception de la conception des bâtiments pour la protection contre les inondations. Mais une description plus détaillée de ces influences n'entrent pas dans le cadre de la demande d'autorisation générale. Les contre-mesures possibles ne sont données ici qu'à titre d'exemples.

La définition des contre-mesures détaillées, leurs répercussions sur les calculs de modélisation et les justificatifs nécessaires relatifs à leur efficacité font partie de l'autorisation de construire et de l'autorisation d'exploitation.

Lors de la conception de la centrale dans le cadre de la demande de l'autorisation de construire, les risques seront décrits et classés (technique de réacteur R1) sur la base des conditions hydrologiques du site. Les spécifications des risques seront préparées à partir de cet inventaire (centrale complète G1) et transformées en paramètres d'ingénierie (génie civil B1). Les équipements et les ouvrages seront classés (Ingénierie de système : S1, génie civil : B1). Les analyses préliminaires d'accident seront réalisées (technique de réacteur de type R2).

La détermination de la méthode permettant de justifier le calcul des bâtiments se fait dans le cadre de la première validation des bâtiments (annexe 4 B2 OENu).

Les principales exigences relatives à la sécurité liée au refroidissement du réacteur sont fixées dans l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire, art. 10 et la directive DSN HSK-R-101 (ou nouvelle directive G02).

3.5.13 Annexe 14 : Grandes crues historiques du Rhin et de l'Aar près d'Untersiggenthal (1200 à 1900)

1268 :

« En automne, le Rhin a tellement gonflé qu'il a détruit maisons et ponts. Cette année, le Rhin et tous les cours d'eau étaient si gonflés que presque tous les ponts ont été arrachés et de nombreux villages, troupeaux et personnes ont été engloutis par les eaux. » [24]

1275, 29. Juin :

« Inondations dans toute l'Helvétie. Cause : Beaucoup de neige en février (et sans doute des fontes de neige extrêmes au printemps). Crue dévastatrice du Rhin, de l'Aar, de la Reuss, de la Limmat, de l'Emme et autres rivières. Le pont de Bâle notamment a été arraché, faisant périr 100 personnes. » [93]

« Le 29 juin, le Rhin a arraché deux travées du pont de Bâle, provoquant la noyade de 100 personnes environ. […] Avant et après le 29 juin, l'Aar, l'Emme, la Reuss, la Limmat, le Rhin et d'autres cours d'eau ont débordé comme jamais auparavant, faisant de gros dégâts. » [24]

Eté 1342, ainsi que 1343 :

Une des deux plus fortes crues des 800 dernières années du Rhin au niveau de Bâle (rapport oral de C. Pfister) ; les ponts de Laufenburg et de Säckingen ont été arrachés [37].

« Fortes inondations en Suisse et dans toute l'Europe. » […] Crue de la Reuss et augmentation du niveau des lacs : à Lucerne, l'eau est montée jusqu'à l'autel de l'église. […] Crue de la Limmat : « Dans l'Eglise Fraumünster de Zurich, l'eau était montée si haut que l'on y entrait avec des barques. » Crue du Rhin : Les ponts de Laufenburg et de Rheinfelden ont été arrachés, le pont Fischerbrücke de Constance est sous les eaux. […] « Cette inondation catastrophique a été classée par de nombreux chroniqueurs comme la plus importante depuis le Moyen Âge. » [93]

1480, 24. juillet :

Une des deux plus grosses crues du Rhin des 800 dernières années, près de Bâle, débit maximal estimé à Bâle : 6 500 m^3/s ; le Rhin a passé la ligne de partage des eaux à Sargans et s'est écoulé dans la Limmat. [93]

« ...aussi haut que l'Aar a débordé jusqu'au faubourg... » [à Windisch]. « Le 24 juillet, l'eau était montée si haut qu'elle avait atteint la hauteur du pont de l'Aar à Brugg, et était même passée par dessus... »

1511, 1er août :

« Inondations du Rhin, de l'Aar, de la Reuss et de la Limmat. » Cause : Pluie ininterrompue pendant cinq semaines : « ...les eaux ont atteint une hauteur incroyable […] et ont fait de gros dégâts... » [93]

« A la Sainte Marie Madeleine [1er août], le Rhin a tellement grossi que l'on a craint de revivre la situation de 1480 (31 ans plus tôt) où ... *illisible*. Illisible on ne pouvait plus voir le *illisible*.... cela dura bien 10 jours de suite, le Rhin baissait, puis grossissait à nouveau. (Bernoulli, 1902, in [94]).

1553 :

« En 1553, à la suite de fortes chutes de neige et de grands froids, le Rhin avait tellement grossi qu'à Bâle dans la petite ville il atteignait le haut du mur inférieur, dans certains villages proches, il a fait des dégâts importants. A Zurich, on pouvait toucher la Limmat de la main lorsqu'on se tenait sur le pont supérieur et on entrait dans l'église Fraumünster en bateau. » [26]

1566, 19 et 20 juin ; 13 juillet :

Selon [93], de très gros dégâts.

« ...du pont Hof et Kappele [à Lucerne], on pouvait toucher l'eau de la main. […] On rapporte des propos semblables ailleurs, par ex. pour Zurich, le Lac de Constance et le Rhin. Le Rhin a grossi à la mi-avril et n'a cessé de gonfler jusqu'au 19 et 20 juin, dates où les eaux ont baissé, causant de gros dégâts. Le 20, l'eau est montée jusqu'au mur d'enceinte du Petit-Bâle, a arraché deux arches de pont à Brisach et 10 à Strasbourg ; le 13 juillet le Rhin était de nouveau très gros, son niveau un peu plus haut qu'en juin, mettant en danger les ponts de Bâle. A Aarau, le 21 juin, l'Aar a emmené deux arches de pont. » [26]

1570, 2 - 4 décembre :

« Le 2 décembre, et le dimanche et le lundi suivants, l'eau a occasionné de gros dégâts partout à la suite de forts vents du sud et de l'ouest et de pluies continues. […] Le 3 décembre, tous les moulins ont été arrêtés car les eaux avaient monté en aval du Rhin ; les eaux étaient plus hautes qu'en 1480. Le Rhin à Bâle confluait des trois portes sous le pont. » [26]

1575, mai :

« Toute la ville de Au [sur l'Aar] serait sous l'eau jusqu'à la route de Stilli. » [29]).

« Le mois de mai a été extrêmement pluvieux ; […] L'Aar, la Reuss, la Limmat et le Rhin etc. ont beaucoup grossi et ont fait des dégâts considérables, en particulier le Rhin dans l'Oberland. L'Aar a emporté trois arches de ponts à Aarau. » [26]

1589, 5 décembre :

« A Bâle, le 5 décembre, l'eau du Rhin est montée au-dessus des faîtes des toits de la petite ville, et à Grand-Bâle, jusqu'au restaurant Zum Storchen, et l'arche de pierre du pont a été gravement endommagé. » [26]

1651, décembre :

Crue du Rhin à Bâle, moins importante qu'en 1566, un lac s'est formé de Büren à Soleure [93], marque HW (crue) à Soleure.

Crue du cours inférieur de l'Aar, beaucoup plus faible qu'en 1852, marque HW (crue) environ 4 m plus bas que la marque de 1852.

1711:

« Printemps 1711 : Inondations et glissements de terrain sur de vastes étendues en Suisse, à la suite de fontes de neige et de fortes pluies. Inondations dans toutes les vallées du canton de Zurich ; crue de la Luther, de la Wigger, de la petite Emme, de l'Aar, de la Saane et de l'Arve ; ... » [93].

Année 1711, au niveau de 1852, sur le pont-route voûté au-dessus de l'Aar à Brugg sans véritable marque.

1758 :

« Un lac le long des dépressions de l'Aar, s'étend en aval de Büren et de Grenchen jusqu'à Soleure. Ici le fleuve n'atteint pas le niveau qu'il avait en 1801. Après que l'Emme se soit déversé, il dépasse ce niveau à Wangen, sans toutefois atteindre la hauteur de 1758. Toutes les dépressions des cantons de Soleure et de Berne étaient sous l'eau... » [89].

1801 :

« Un lac le long des dépressions de l'Aar, s'étend en aval de Büren et de Grenchen jusqu'à Soleure. Ici le fleuve n'atteint pas le niveau qu'il avait en 1801. Après que l'Emme se soit déversé, il dépasse ce niveau à Wangen, sans toutefois atteindre la hauteur de 1758. Toutes les dépressions des cantons de Soleure et de Berne étaient sous l'eau... » [89]

1846, 23 – 31 août :

« Inondations dans tout le nord de la Suisse, provoquées par des pluies torrentielles et des averses. […] Lucerne : Inondations provoquées par la Reuss, l'Emme et autres ruisseaux. Les points les plus touchés sont la ville d'Entlebuch et les régions de Willisau, Malters, Lucerne, Hochdorf et Sursee. Zurich : Crue dévastatrice de la Sihl, la Thur et la Töss. » [93]

1852, 17 - 18 septembre :

Marque HW (crue) à Soleure, Olten et Brugg ([88], ville d'Olten).

« Un lac le long des dépressions de l'Aar, s'étend en aval de Büren et de Grenchen jusqu'à Soleure. Ici le fleuve n'atteint pas le niveau qu'il avait en 1801. Après que l'Emme se soit déversé, il dépasse ce niveau à Wangen, sans toutefois atteindre la hauteur de 1758. Toutes les dépressions des cantons de Soleure et de Berne sont sous l'eau. […] Sous le pont suspendu de 322 pieds de long de l'Aarau, la rivière a monté de 8 à 8.5 pieds au-dessus de son niveau moyen qu'elle avait le 15 (septembre). A Brugg, serrée dans une fente de rocher, la rivière est montée jusqu'au pont de 75 pieds de long de sorte que, un peu gonflée par celui-ci, elle jaillissait en un grand arc. Après la jonction de la Reuss et de la Limmat, qui certes n'étaient pas si grosses que l'Aar, les dépressions de Döttingen et de Klingnau étaient inondées jusqu'au confluent de la rivière avec le Rhin. » [89]

D'autres marques de crue à Aarau, au-dessus de celle de 1852, mais sans date.

1876, 10 – 15 juin :

« De gros ravages provoqués par l'eau dans le nord et l'est de la Suisse sur de plus grandes étendues qu'en 1868. Causes : pluies très persistantes, suivies d'un gros orage sur un sol très mouillé. La totalité des dommages s'élève à plus de 14 millions de Francs […]. En plus de nombreux glissements de terrains, les rivières dont les noms suivent font rage avec leurs pointes de crues extrêmement longues (sans mentionner les nombreux ruisseaux) : Rhin, Thur, Sitter, Urnäsch, Murg, Lauche, Töss, Glatt, Reuss, Aar, Emme et Birs. Au total, 13 cantons ont été touchés. » [93]

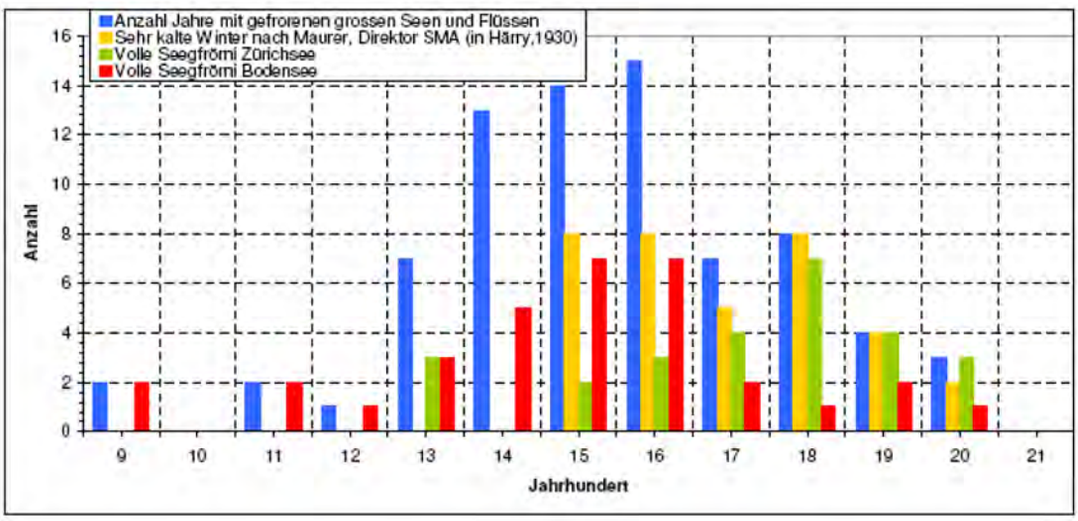
1881, 28 août - 2 septembre :

« Nouvelle crue sur le versant nord des Alpes, à la suite de précipitations persistantes. Ont été particulièrement affectés les cantons de Bâle-Campagne (inondations de presque toutes les communes et les vallées) et de Zurich (Thur, Töss, Glatt, entre autres). Les cantons suivants ont subi des dégâts des eaux : Bâle-Ville (Rhin, Birsig, Birs), Soleure, Aargau (Suhre), Thurgau, les deux Appenzell, Berne, Friburg, Uri, Obwalden et Zug. » [93].

3.5.14 Annexe 15 : fréquence de l'englacement et de la débâcle

La Figure 3.5-26 donne un aperçu de la fréquence de gel des grands lacs (lacs de Constance, de Zurich, des Quatre-Cantons) et des cours d'eau.

Figure 3.5-26 : Nombre d'années avec gel des grands lacs et des cours d'eau en Suisse et données sur les hivers très froids (du 9e au 21e siècle), ainsi que sur le gel complets des lacs de Zurich et de Constance



La plupart des événements se sont produits entre le 14e et le 16e siècle, mais il faut tenir compte de l'historiographie : plus l'événement est ancien, moins les mentions en sont nombreuses, comme on le voit clairement pour le lac de Zurich. Au cours des quatre derniers siècles, le lac de Zurich a gelé plus souvent que celui de Constance, mais moins souvent au cours des siècles précédents.

Le nombre d'années avec gel des lacs et des cours d'eau a eu tendance à diminuer au cours des trois derniers siècles.

On ne dispose d'aucune donnée antérieure au 19e siècle pour l'Aar, la Reuss et la Limmat dans la région du « château d'eau » (Wasserschloss). En revanche, Zschokke mentionne, dans sa publication scientifique [39], sept années où des glaçons sont charriés par l'Aar[36] entre 1830 et 1855, en plus des quatre événements du 19e siècle. Seule l'année 1830 est également mentionnée dans d'autres sources.

Les observations de Zschokke se rapportent à la débâcle et non à la formation d'une surface gelée fermée et présentent de ce fait une périodicité plus élevée d'environ trois ans. Des comparaisons avec des périodes postérieures ne sont pas possibles.

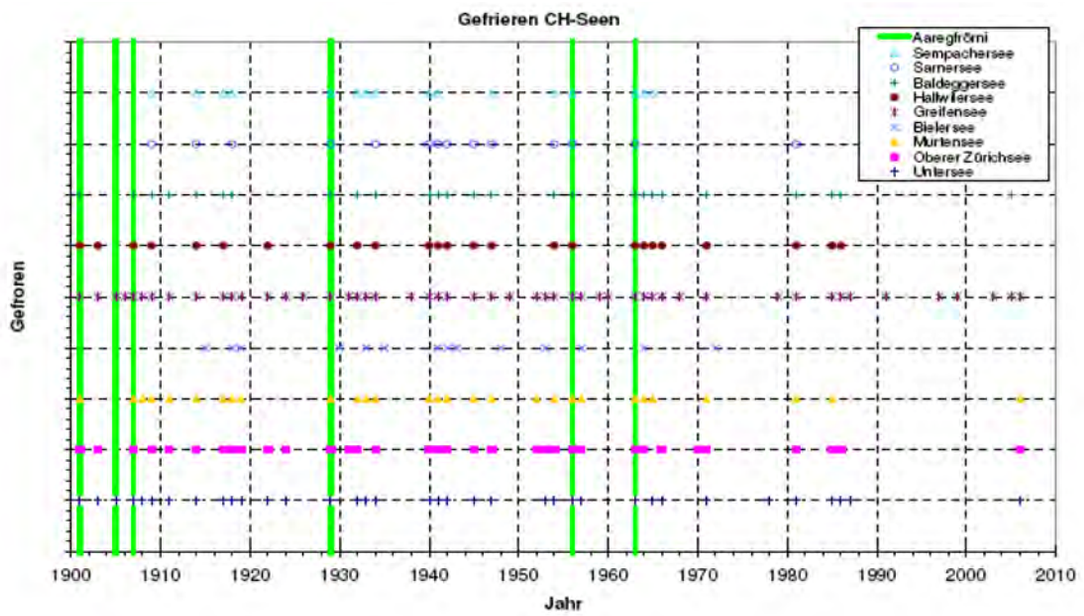
Au siècle passé, on connaît six hivers avec formation de glace dans la région du « château d'eau » (Wasserschloss). Il n'est pas mentionné de formation de glace ni de débâcle sur la Limmat à Baden.

36 Dans la période comprise entre 1830 et 1855, Zschokke a observé 19 débâcles sur l'Aar à Aarau (1830, 1835/1836, 1838, 1845, 1848, 1850/1851, 1853/1854, 1855), dont cinq d'un jour, sept de deux jours, trois de trois jours, une de six jours, une de sept jours et deux de neuf jours.

La figure Figure 3.5-27 montre le gel de quelques lacs du Plateau (Mittelland) depuis 1900 d'après Hendricks Franssen (2007) [34]. [37] Les années connues avec débâcle sur le cours inférieur de l'Aar sont présentées à titre de comparaison. Les grands lacs ont gelé nettement moins souvent (lac de Zurich en 1907, 1929, 1963, lac de Constance en 1963).

Une nette baisse de fréquence du gel à partir des années 1960 est clairement perceptible. L'Aar n'a plus charrié de glace dans la région du « château d'eau » (Wasserschloss) depuis 45 ans.

Figure 3.5-27 : Gel des lacs du Plateau suisse (Mittelland) en comparaison avec l'Aar dans la région du « château d'eau » (Wasserschloss)



3.5.15 Annexe 16 : Conditions de formation du gel de l'Aar

On peut se demander quelles doivent être les conditions pour que l'Aar gèle. Comme les températures de l'eau n'ont été mesurées que depuis 1962 et que seul le dernier gel est intervenu après cette date, il n'est pas possible de se baser sur les températures de l'eau pour répondre à la question. Seuls les rapports entre débâcle, débit et température de l'air sont examinés ici.

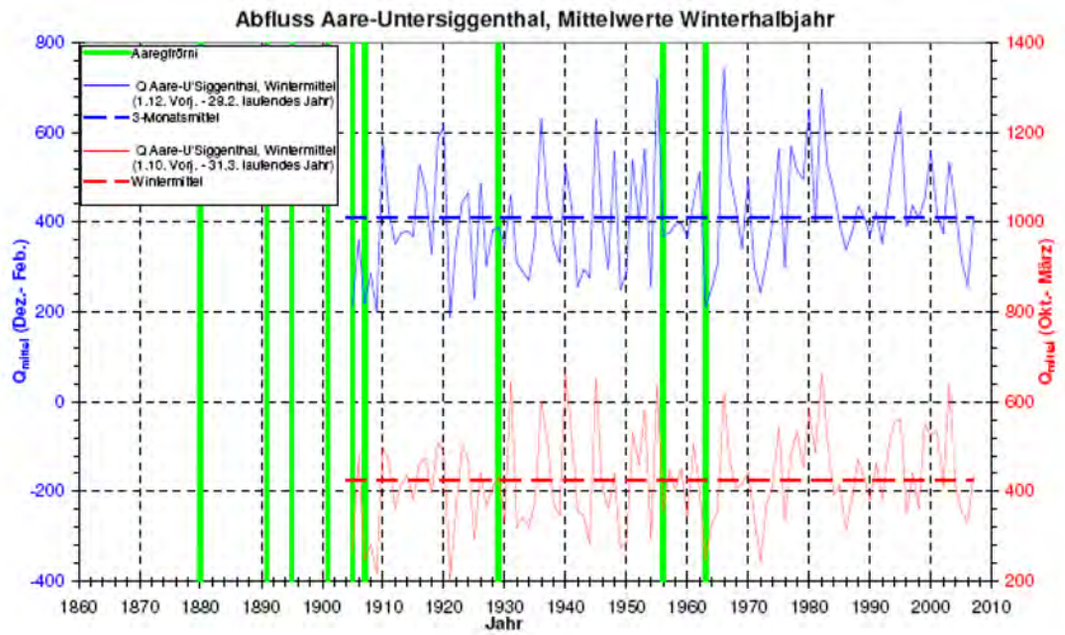
3.5.15.1 Débits hivernaux

La figure Figure 3.5-28 présente les débits hivernaux en moyenne saisonnière (du 1er octobre de l'année précédente au 31 mars) et en moyenne du trimestre compris entre le 1er décembre et le 28 février, mesurés à la station d'Aar-Untersiggenthal. La rivière n'a charrié de la glace que dans les hivers présentant un débit moyen inférieur à la moyenne pluriannuelle de 1905 à 2007.

[37] Le gel des lacs est défini de la façon suivante : le lac est complètement ou presque complètement recouvert de glace pendant plus d'un jour. Pour les années les plus éloignées, les sources utilisées ont été les journaux, pour la période plus récente, elles ont été complétées par des relevés systématiques sur la formation de glace sur les lacs.

On a essayé d'évaluer l'influence des eaux souterraines, plus chaudes, sur la température de l'eau de l'Aar. Aucune indication assez précise n'est donnée dans l'atlas hydrologique HADES (1992). D'après les indications de la carte hydrologique de Bienne [33], on estime le débit maximum à environ 3 m^3/s dans l'ensemble du système des eaux souterraines de l'Emme. Si l'on considère que pour l'ensemble du système fluvial qui va des lacs des bordures alpines jusqu'au Wasserschloss, une quantité dix fois plus grande alimente l'Aar, cette proportion reste négligeable, puisqu'en moyenne hivernale le débit de l'Aar se situe entre 200 et 700 m^3/s.

Figure 3.5-28 : Débits hivernaux moyens à la station de mesure Aar-Untersiggen



3.5.15.2 Nombre de jours avec gel

Le nombre de jours avec gel au cours du semestre d'hiver (température diurne moyenne < 0 °C) pour les stations de Berne et de Bâle est présenté dans la figure 3.5-29. Les deux stations disposent d'une longue série de mesures de 1865 à aujourd'hui. Une tendance linéaire montre une nette diminution d'environ un quart du nombre de jours avec gel.

Un grand nombre de jours avec gel ne prouve pas encore qu'il y ait débâcle ; on n'a par exemple aucune indication de débâcle pour 1909 ou le début des années 1940.

3.5.15.3 Nombre de jours avec une température moyenne inférieure à -10 °C

L'analyse des jours présentant une température moyenne inférieure à -10 °C ne montre pas non plus d'interdépendance avec la débâcle (voir figure Figure 3.5-30). Les données disponibles relatives aux jours avec débâcle sont très peu nombreuses et il se pourrait que le phénomène se soit produit lors de quelques années non mentionnées. En effet, si l'on compare les années comportant de nombreux jours de gel ou présentant une température ≤ -10 °C avec la figure Figure 3.5-27 , on constate que de nombreux lacs ont été recouverts de glace au début des années 1940, ainsi qu'en 1909.

Figure 3.5-29 : Nombre de jours avec gel enregistrés par les stations de Berne et Bâle pendant le semestre d'hiver (du 1er octobre de l'année précédente au 31 mars)

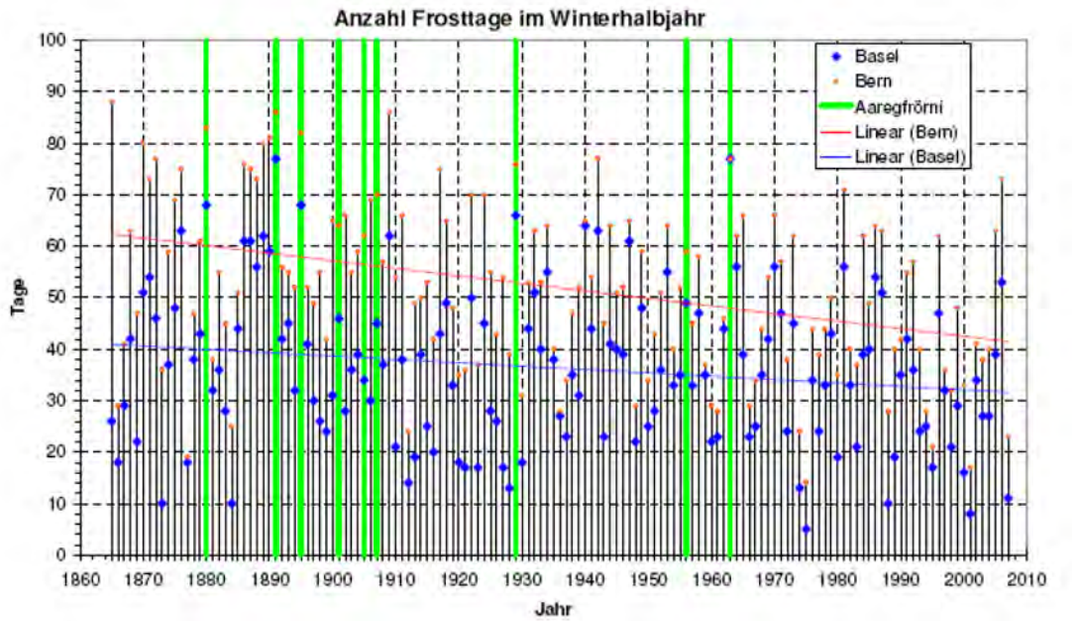
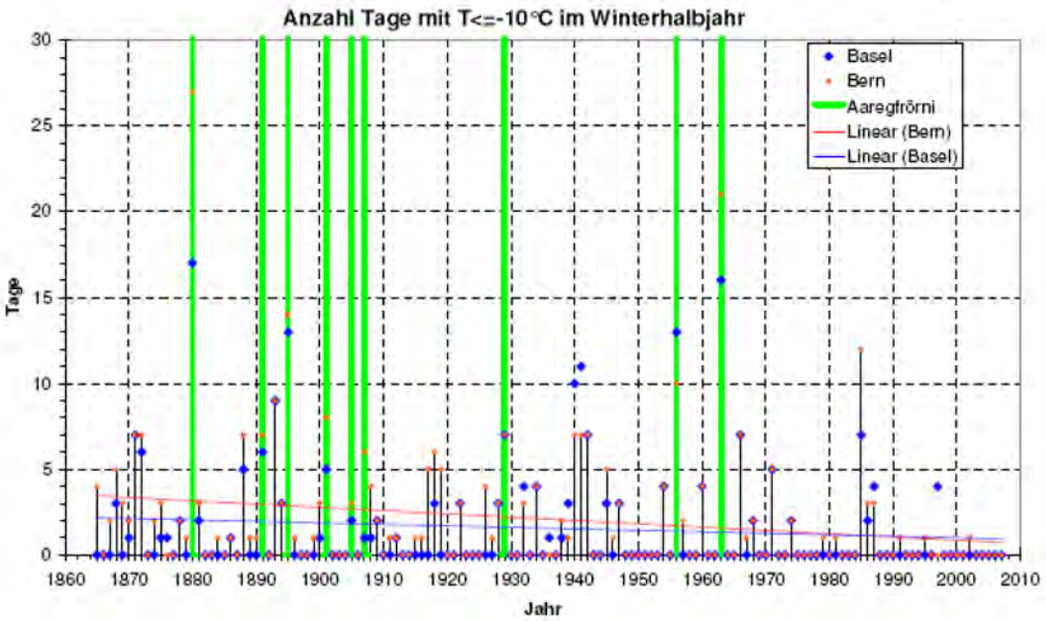


Figure 3.5-30 : Nombre de jours avec une température moyenne < -10 °C aux stations de Berne et Bâle pendant le semestre d'hiver (du 1er octobre de l'année précédente au 31 mars)

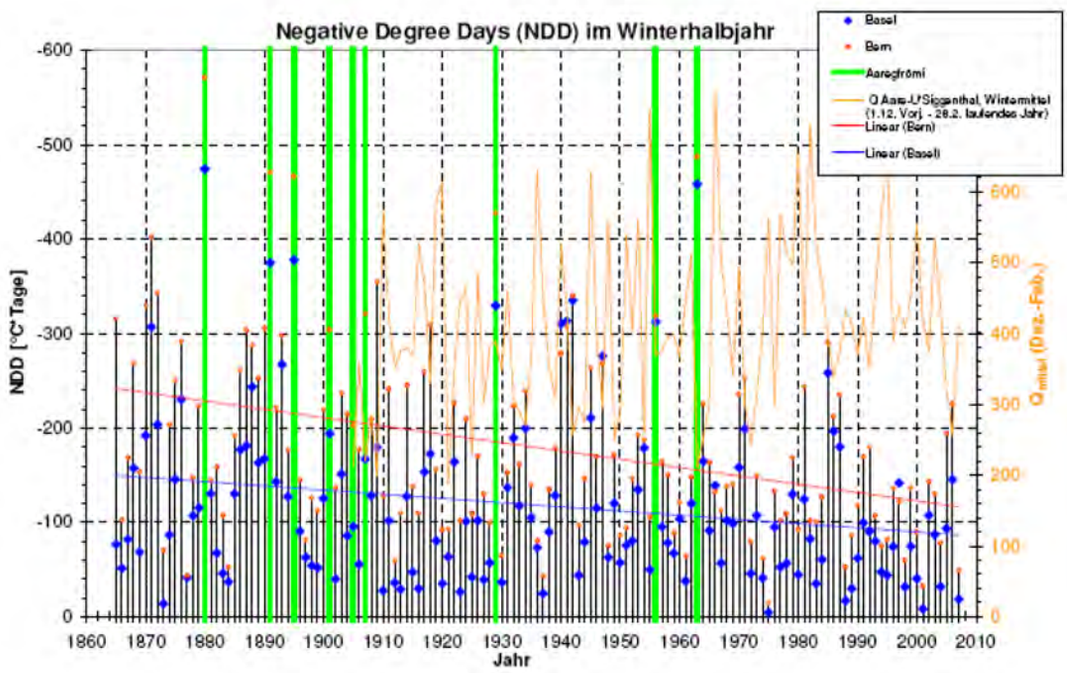


3.5.15.4 Somme des températures moyennes journalières négatives

Dans la figure 3.5-31 , l'un des paramètres courants de la formation de glace sur les lacs – la somme des températures moyennes journalières négatives (negative degree days, NDD) – est superposé à la moyenne trimestrielle du débit.

Pour Berne, la plus grande valeur de la somme NDD se situe à environ -575 °C-jours et pour Bâle à environ -475 °C-jours. Lorsque la somme était inférieure à -400 °C-jours pour Berne et à -350 °C-jours pour Bâle, il y a toujours eu des formations de glace sur l'Aar. Mais cette condition n'est pas un critère suffisant pour la formation de glace, car au cours d'années nettement plus chaudes entre 1900 et 1910, on a observé de la glace à trois reprises. Mais dans ces années, la valeur moyenne trimestrielle et la valeur moyenne hivernale du débit étaient très faibles. Pour ce qui est de la somme des températures moyennes journalières négatives, on constate une tendance nettement décroissante durant la période.

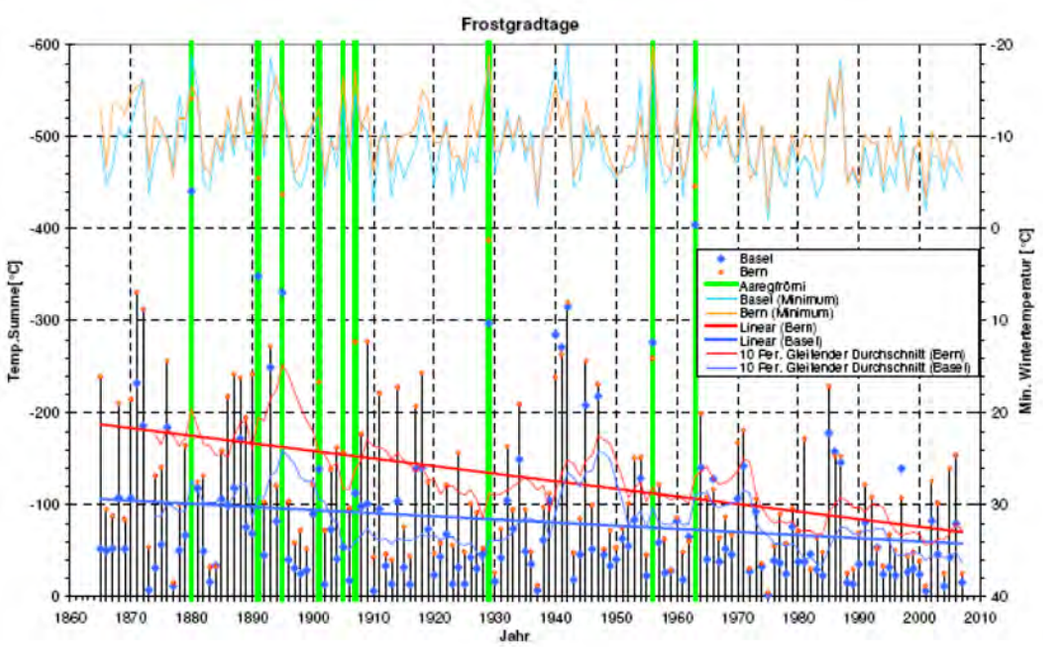
Figure 3.5-31 : Somme des températures moyennes journalières négatives (NDD) avec tendance et moyennes trimestrielles du débit



3.5.15.5 Degrés-jours de gel

La Figure 3.5-32 présente le minimum de la somme des températures moyennes journalières (degrés-jours de gel)[38]. Dans cette approche, le critère de formation de glace se situe à des valeurs d'environ -300 C-jours à Berne et d'environ -250 °C-jours à Bâle. Les années avec formation de glace qui ne remplissent pas ces critères se caractérisent par des températures minimales basses.

Figure 3.5-32 : Degrés-jours de gel avec tendance, moyenne glissante et température hivernale minimale

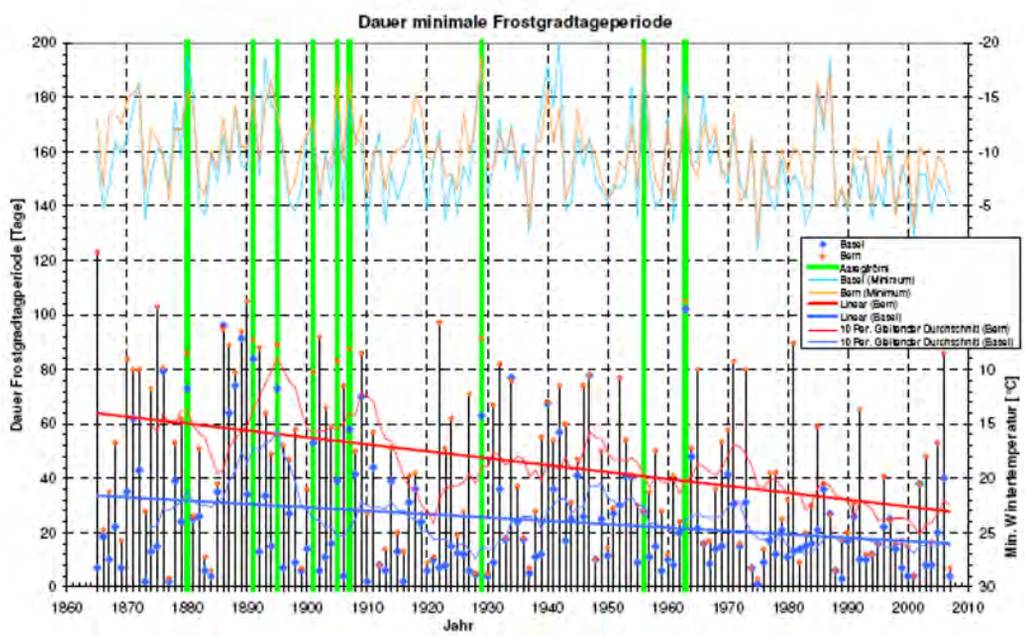


[38] Pour déterminer les degrés-jours de gel, on calcule la somme des valeurs moyennes journalières en commençant par le premier jour du semestre d'hiver (du 1er octobre de l'année précédente au 31 mars de l'année en cours) et on recherche à chaque fois le minimum. Le minimum obtenu à partir de tous les minima journaliers du semestre d'hiver est appelé degré-jour de gel. On peut ainsi déterminer les périodes de gel qui sont plus rapprochées, contrairement à la méthode de la somme des valeurs moyennes journalières négatives. Pour la durée de la période des degrés-jours de gel, on compte les jours entre le premier jour et le jour du minimum.

3.5.15.6 Durée de la période des degrés-jours de gel

La durée de la période des degrés-jours de gel présentée dans la Figure 3.5-33 montre qu'il faut une durée d'au moins 80 jours à Berne, 40 jours à Bâle, pour qu'il y ait formation de glace.

Figure 3.5-33 : Durée des degrés-jours de gel minimaux avec tendance, moyenne glissante et températures hivernales minimales



3.6 Eaux souterraines

3.6.1 Vue d'ensemble

3.6.1.1 Vue d'ensemble de la géologie

La géologie du site est décrite en détail au point 3.7. Le résumé suivant présente les aspects utiles à la compréhension des eaux souterraines.

La région de l'île de Beznau se situe dans la vallée inférieure de l'Aar, dans le canton d'Argovie, entre Böttstein à l'ouest, Döttingen au nord et Würenlingen au sud-est.

La vallée de l'Aar est creusée dans les couches du Jura tabulaire qui plongent en pente douce vers le sud-sud-est (SSE). En fonction de cette inclinaison, l'Aar traverse successivement, en direction du nord depuis le confluent de la Limmat et de la Reuss, des couches anciennes du Jurassique et finalement du Trias. Dans la partie sud de cette vallée entre Brugg et Klingnau, il s'agit de marnes et de calcaire des couches dites d'Effingen (Malm). Dans la région de Beznau, on trouve surtout des argiles marneuses (Dogger inférieur). Dans la région de Kleindöttingen, ce sont des calcaires du Lias et dans la région de Klingnau et Leuggern, le sous-sol se compose de marnes et de gypse du Keuper. Dans le resserrement en aval du barrage de Klingnau, enfin, l'Aar s'écoule dans les calcaires, les dolomies et les anhydrites du calcaire coquillier moyen (Muschelkalk). Dans la vallée inférieure de l'Aar, la dépression la plus profonde révèle un ancien cours de la rivière. Dans la région de Würenlingen et en dessous de la vaste étendue de forêt, l'axe de la vallée de l'Aar, érodée par les glaciers, suit une ligne qui va de l'Unterwald jusqu'à Kleindöttingen. Dans la région de Beznau, en revanche, le lit actuel de l'Aar suit le flanc occidental de la vallée et entre Beznau et Döttingen, il traverse celle-ci en un large méandre.

3.6.1.2 Vue d'ensemble hydrogéologique

Les terrasses alluviales inférieures du remplissage profond de la vallée, ainsi que les hautes terrasses – là où elles sont présentes – constituent le vecteur d'un cours d'eau souterrain abondant et intensivement exploité. L'écoulement des nappes d'eaux souterraines est le plus souvent limité par la couche rocheuse inférieure ou – là où ils ont été conservés – par les dépôts lacustres et morainiques situés à la base des alluvions.

Dans la vallée inférieure de l'Aar, les eaux souterraines s'écoulent en général parallèlement à l'axe de la vallée, approximativement vers le nord, et présentent une pente faible en dehors de la zone d'influence de l'Aar. Plus près de l'île de Beznau, les conditions d'écoulement diffèrent un peu de l'image générale en raison de la retenue dans le canal supérieur et dans l'Aar. Là, entre le canal et l'Aar, les eaux souterraines de la nappe phréatique coulent en pente nettement plus forte en direction du nord-ouest.

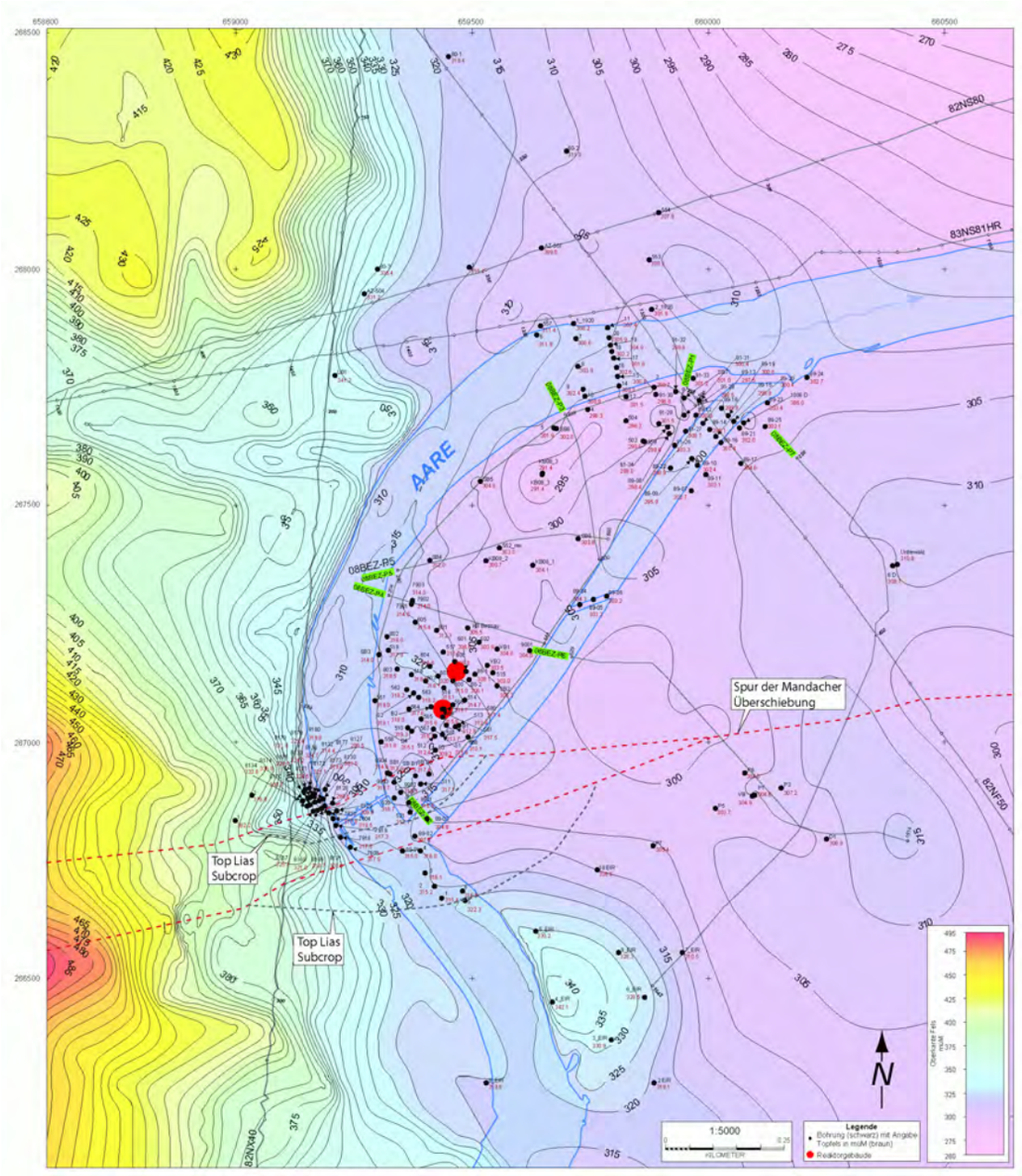
L'épaisseur de la nappe phréatique atteint environ 10-15 m sur une grande partie de la vallée inférieure de l'Aar. La distance entre le niveau de la nappe phréatique et le sol, c'est-à-dire l'épaisseur des alluvions sèches au-dessus du niveau de la nappe, est d'environ 15-30 m. A la fin de la période glaciaire et après celle-ci, le profond creusement de l'Aar a été comblé par des dépôts de roches alluvionnaires fluvioglaciaires.

3.6.2 Eaux souterraines dans les environs du site

3.6.2.1 Situation et morphologie de la surface supérieure du socle rocheux

Dans la région de Beznau, la surface supérieure du socle rocheux, y compris sa partie érodée, présente une morphologie très accentuée, comme le montre la carte des isohypses (cf Figure 3.6-1). Le chevauchement de Mandach a une influence indirecte sur la morphologie de cette surface. La partie sud présente un soulèvement de 40 à 50 m par rapport au côté nord, ce qui fait qu'au sud du chevauchement, c'est-à-dire au sud de l'embranchement du canal, les formations sous-jacentes du Lias (calcaires et marnes) et partiellement celles du Keuper (marnes et évaporites) sont localement présentes. Les calcaires du Lias notamment jouent un rôle d'obstacle. Résistant à l'érosion, la barre rocheuse qu'ils formaient a créé des rapides dans le cours de l'Aar, encore indomptés au 19e siècle. Le barrage de Beznau a été construit à l'endroit où se trouve la barre calcaire du Lias, là où existait déjà un seuil rocheux naturel.

Figure 3.6-1 : Isohypses de la surface supérieure du socle rocheux, région de Beznau



Source : Interoil E & P Switzerland AG

Comme le montre la carte des isohypses de la Figure 3.6-1, la pente générale de la surface du socle rocheux en aval de l'île de Beznau s'incline d'ouest-sud-ouest à est-nord-est. Dans la région de KKB 1 et 2, elle présente une élévation en forme de bombement avec des cotes d'environ 315-320 m au-dessus du niveau de la mer, puis plonge en direction du nord-est et se situe en général à des cotes de 300 à 305 m dans la région de l'EKKB. L'une des particularités consiste en une morphologie finement structurée de la surface rocheuse avec de petites dépressions, des creusements et des bombements présentant des différences de hauteur jusqu'à 5 m et surtout visibles dans des endroits à faible recouvrement, par exemple dans la région des nouveaux

bâtiments de la centrale hydraulique. Deux dépressions marquées attirent particulièrement l'attention : elles s'étendent chacune sur environ 20 000 m² et atteignent une profondeur de 10 à 15 m ; l'une se trouve directement en aval du creusement du Lias près du barrage et l'autre près de la nouvelle EKKB en dessous du poste de commutation extérieur existant. Ces dépressions tantôt circulaires, tantôt allongées, sont entièrement fermées. Il ne s'agit donc pas de creusements fluviaux, mais plutôt de « dolines » qui ont été érodées par des eaux de fonte subglaciaires (sous la glace) lors d'une période glaciaire antérieure et entièrement recouvertes d'alluvions par la suite.

3.6.2.2 Remplissage de roches meubles

Le remplissage de la vallée de l'Aar par des roches meubles quaternaires se termine par des *couches de surface* composées principalement de sables et de silts et atteignant jusqu'à 2 m d'épaisseur. En dessous, dans tout le fond de la vallée, on trouve les *alluvions des terrasses basses* sous forme de graviers riches en sable avec des intercalations de graviers grossiers. Ces alluvions sont surtout formées de graviers purs à faiblement silteux. Les couches contenant davantage de silts sont plutôt rares. Des *dépôts lacustres* fins de faible épaisseur, composés essentiellement de sables et de silts, sont intercalés localement.

Ces couches subsistent pour la plupart comme remplissages de dépressions dues au creusement. Dans les alluvions, on observe parfois aussi des *dépôts de type morainique* de faible épaisseur composés de sables/silts. Ceux-ci apparaissent aussi comme couche de séparation avec les alluvions des terrasses hautes situées en dessous.

Les *alluvions des terrasses hautes* sont largement répandues dans la vallée inférieure de l'Aar. Elles se composent principalement de graviers sableux et se distinguent des terrasses basses par une plus grande proportion d'éléments fins et par leur cimentation de type poudingue (Nagelfluh). Dans la région de l'île de Beznau, l'épaisseur des couches des deux séries d'alluvions est soumise à de fortes variations de 1 à plus de 10 m. Dans la région de l'EKKB, les alluvions des terrasses hautes ont des épaisseurs totales d'environ 8 à 10 m. Elles sont conservées d'une part comme reliquats d'érosion le long du flanc de la vallée ou sont même devenues de grandes surfaces alluvionnaires.

D'autre part, elles forment les buttes situées à l'est de Klingnau, ainsi que dans la région entre Gippingen et Böttstein. En bordure de vallée, comme par exemple dans la région de l'île de Beznau, des restes d'alluvions des terrasses hautes se trouvent en dessous de celles des terrasses basses.

3.6.3 Eaux souterraines dans les environs du site

3.6.3.1 Perméabilité des alluvions

La perméabilité des alluvions des terrasses basses est en général haute à très haute. Mais par endroits, elle peut être réduite de façon significative par des lentilles ou des intercalations de couches sableuses ou du moins riches en sables. Dans les nombreux essais de pompage effectués dans des forages et des stations de pompage, des coefficients k de perméabilité de 4 à $10x10^{-3}$ m/s ont été déterminées dans les alluvions des terrasses basses au milieu de la vallée. Dans les bords de la vallée et donc aussi dans la région de l'île de Beznau, les valeurs correspondantes sont nettement plus basses et se situent à environ 3 à $5x10^{-3}$ m/s.

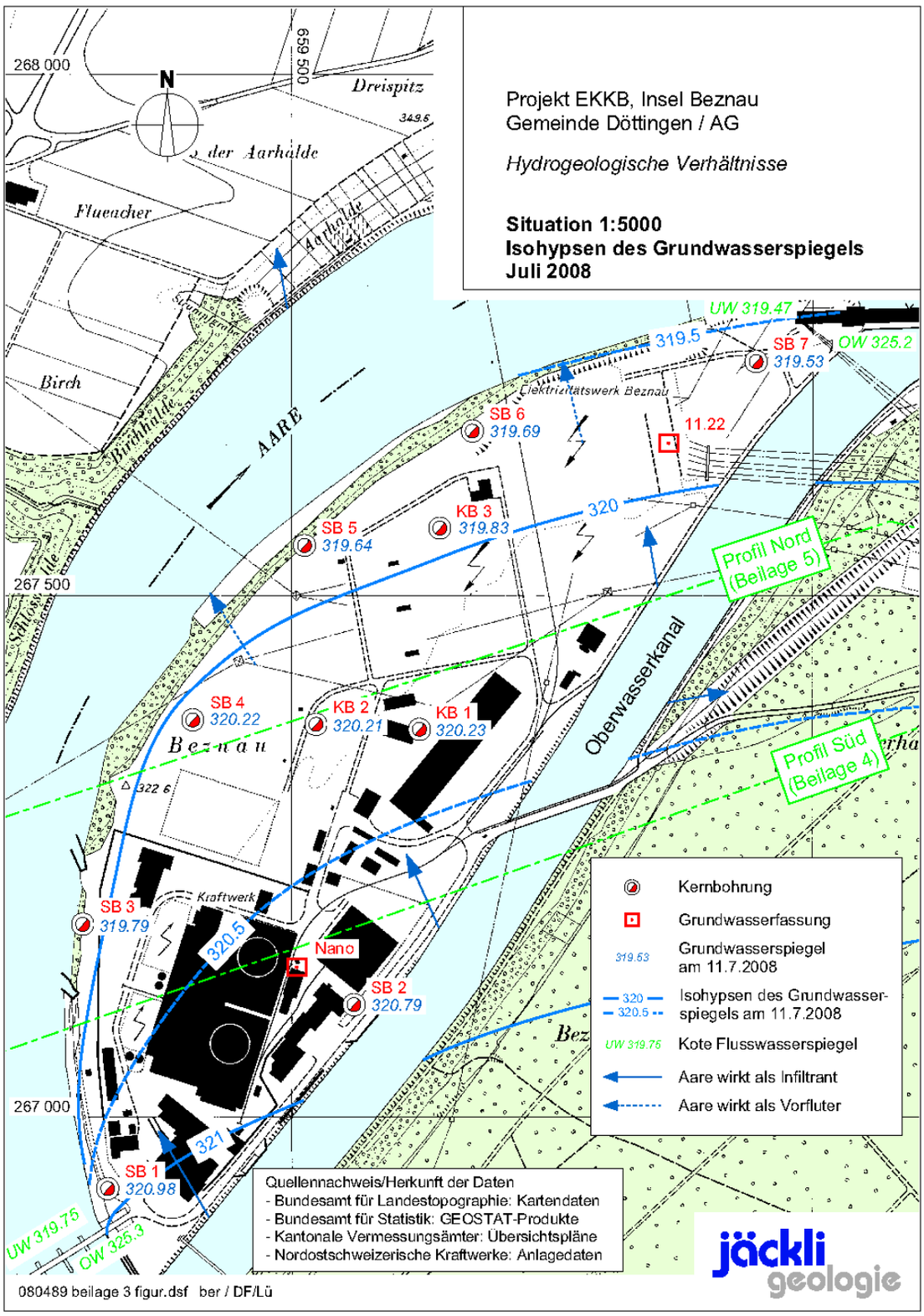
Les alluvions des terrasses hautes sont en général un peu moins perméables, leurs valeurs k se situent à environ 1 à $2x10^{-3}$ m/s. Les autres couches de roches meubles présentent toutes des coefficients de perméabilité nettement plus bas. Pour les dépôts morainiques, on peut présumer des valeurs k de 0.5 à $5x10^{-5}$ m/s et pour les sédiments dus à des inondations, des valeurs k de 0.5 à $5x10^{-4}$ m/s. Etant donné qu'ils se sont déposés après la période glaciaire, ces derniers se trouvent cependant au-dessus des alluvions des terrasses basses et donc largement au-dessus du niveau des eaux souterraines.

3.6.3.2 Écoulement des eaux souterraines

Dans la vallée inférieure de l'Aar, les eaux souterraines coulent en général parallèlement à l'axe de la vallée, approximativement du sud au nord et présentent, en-dehors de la zone d'influence directe de l'Aar, une pente très faible d'environ 1-2‰ seulement. Plus près de l'île de Beznau, les conditions d'écoulement diffèrent un peu de l'image générale en raison de la retenue dans le canal supérieur et dans l'Aar. Là, entre le canal supérieur et l'Aar, les eaux souterraines de la nappe phréatique coulent en pente nettement plus forte en direction du nord-ouest.

Grâce à une mesure de référence effectuée le 11 juillet 2008 dans toutes les stations de mesure accessibles (y compris les nouveaux sondages de 2008), l'écoulement peut être appréhendé avec plus de précision (voir Figure 3.6-2). D'après ces résultats, l'écoulement est orienté ouest-nord-ouest dans la partie sud de l'île de Beznau et nord-nord-ouest dans la partie nord. La pente est d'environ 4‰ dans la partie la plus méridionale de l'île et de 2.5‰ dans la partie septentrionale.

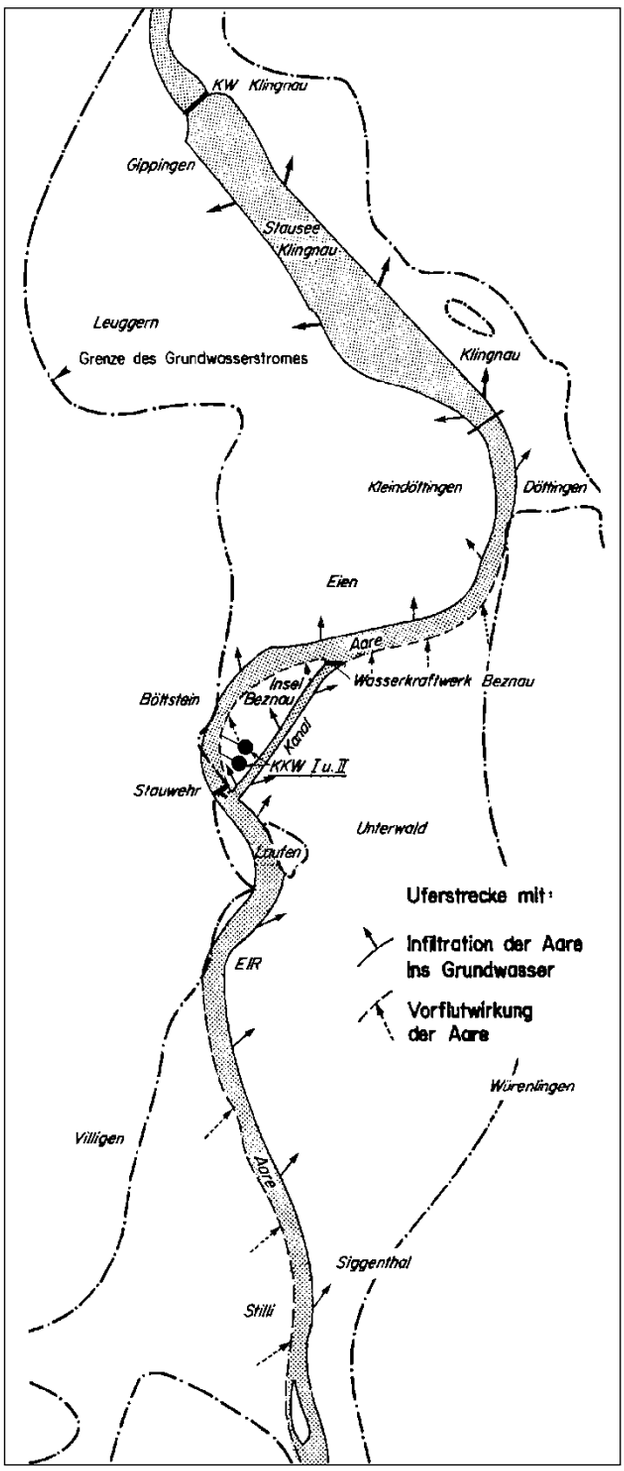
Figure 3.6-2 : Carte au 1:5000, isopièzes du niveau des eaux souterraines, juillet 2008



3.6.3.3 Interaction Aar / eaux souterraines

Les eaux souterraines sont en interaction hydraulique très étroite avec l'Aar. Les aspects de cette interaction sont présentés dans la Figure 3.6-3.

Figure 3.6-3 : Infiltrations / régime du milieu récepteur



La rivière agit comme *infiltrant* dans les eaux souterraines dans les secteurs suivants :

- sur la rive droite en amont du barrage de Beznau
- sur la rive gauche entre le barrage de Beznau et le pont de Döttingen
- des deux côtés dans la région du canal supérieur, ainsi que le long du lac de retenue de Klingnau

Dans les autres secteurs, l'Aar représente un *récepteur* pour les eaux souterraines, à savoir :

- pour toute l'île de Beznau le long de la rive droite de la rivière
- pour la région de l'Unterwald entre la centrale hydraulique de Beznau et Döttingen, également le long de la rive droite.

3.6.3.4 Épaisseur de la nappe phréatique

Dans la vallée inférieure de l'Aar, *l'épaisseur utile de la nappe phréatique* atteint généralement 10-15 m environ, et même localement plus de 20 m dans des creusements étroits. À proximité des bords de la vallée, elle est inférieure à 5 m. Dans la région de l'île de Beznau, cette épaisseur est très variable. Le bord des eaux souterraines exploitables passe tout près de la centrale nucléaire, à l'ouest. En direction de l'est et du nord-est, l'épaisseur des eaux souterraines augmente rapidement pour atteindre 10 m dans la région des bâtiments existants, et même 15 m un peu plus à l'est. Certaines installations des centrales nucléaires existantes descendent assez profondément en dessous du niveau des eaux souterraines et limitent ainsi artificiellement le débit. Dans la zone des deux bâtiments des réacteurs, dont les fondations reposent sur le socle rocheux, l'épaisseur de la nappe phréatique est pratiquement nulle.

3.6.3.5 Niveau des eaux souterraines

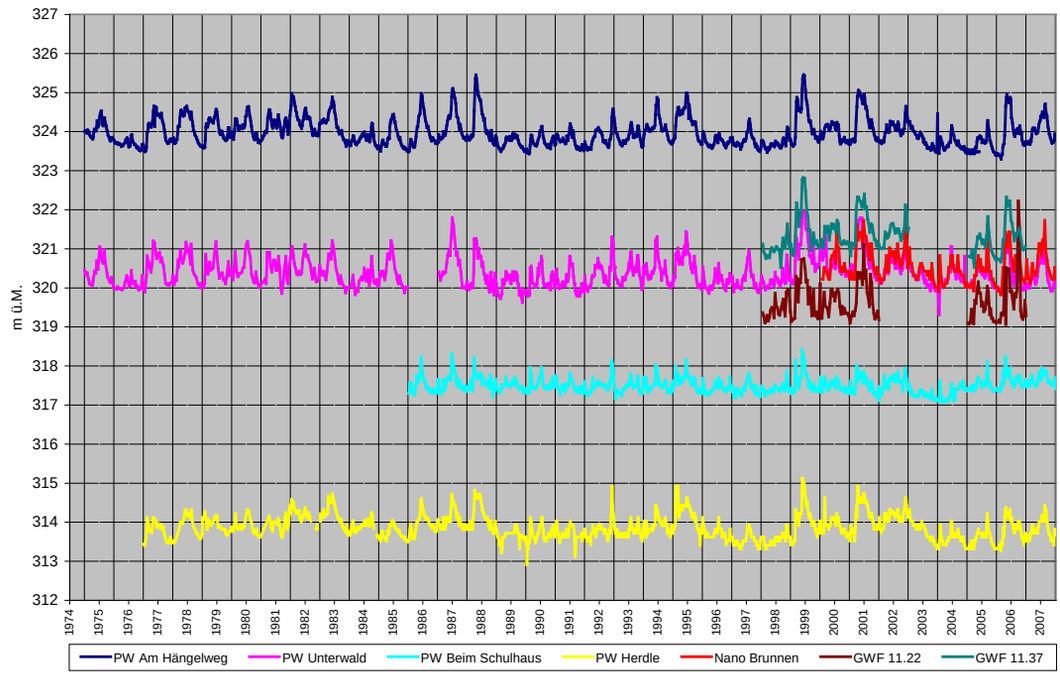
Dans de vastes secteurs de la vallée inférieure de l'Aar, la *distance au sol* du niveau des eaux souterraines, c'est-à-dire l'épaisseur des alluvions sèches au-dessus de la nappe phréatique, est particulièrement importante et atteint 15-30 m. Dans la région des terrasses alluviales les plus basses en direction de l'Aar, la distance au sol diminue et se réduit à moins de 5 m sur l'île de Beznau.

Les variations du niveau des eaux souterraines sont en général relativement modestes en raison de l'action compensatrice de l'Aar. Dans les stations de pompage des environs proches de l'île de Beznau, les variations saisonnières enregistrées – lorsque les niveaux d'eau sont normaux - sont inférieures à env. 1-1.5 m. Les amplitudes pluriannuelles extrêmes sont de 2 à env. 3 m (voir Tableau 3.6-1 et Figure 3.6-4).

Tableau 3.6-1 : Captages d'eau potable et industrielle dans la vallée inférieure de l'Aar

Station de pompage	Numéro de la concession	Quantité	Situation du niveau des eaux souterraines			Amplitude
		l/min	min. m	moy. m	max. m	m
Am Hengelweg, Würenlingen	02.37	5 000	323.29 (20.2.06)	323.97	325.45 (7.6.99)	2.16 (75-07)
Unterwald, Döttingen	11.16	4 000	319.30 (12.1.04)	320.33	321.94 (31.5.99)	2.64 (75-07)
Unterwald, NOK	11.37	3 000	320.50 (24.8.98, 25.3.05)	321.31	322.8 (31.5.99)	2.30
Beim Schulhaus, Böttstein	11.08	2 520	317.05 (8.3.04)	317.49	318.40 (17.5.99)	1.35 (86-07)
Herdle, Leuggern	11.29	1 800	312.90 (9.1.90)	313.84	315.10 (25.5.99)	2.20 (77-07)
Puits de secours, NOK	32.229	12 000	319.8 (13.2.06)	320.52	321.7 (18.6.01, 13.8.07)	1.9 (00-07)
Beznau, NOK	11.22	800	319.04 (17.4.00)	319.63	322.2 (18.9.06)	3.16 (98-06)

Figure 3.6-4 : Courbes du niveau dela surface des eaux souterraines dans des stations de pompages sélectionnées, 1975-2007



3.6.3.6 Renouvellement de la nappe phréatique

Le renouvellement de la nappe phréatique s'effectue par l'infiltration des précipitations dans le fond de la vallée, par l'afflux souterrain d'eaux de ruissellement provenant des flancs de la vallée et de diverses vallées latérales et surtout par les infiltrations de l'Aar.

La région de Beznau se trouve dans un secteur marginal de la nappe phréatique. A l'est, celle-ci est principalement influencée par le canal supérieur, qui fournit aux eaux souterraines l'alimentation supplémentaire mentionnée, mais aussi par l'eau de l'Aar en aval, à l'ouest de l'île, qui sert de récepteur.

3.6.4 Exploitation des eaux souterraines dans la vallée inférieure de l'Aar

Dans les environs proches et plus éloignés de l'île de Beznau, le cours d'eau souterrain de la vallée inférieure de l'Aar est exploité de façon intensive pour l'eau potable et industrielle grâce à divers captages, certains à très forte capacité.

Sur l'île même se trouvent les cinq captages exploités par la NOK pour l'eau industrielle ; ils sont énumérés dans le Tableau 3.6-2.

Tableau 3.6-2 : Captages d'eau souterraine sur l'île de Beznau

Station de pompage (SP)	N° de la concession N° de l'autorisation	Quantité octroyée par la concession, quantité autorisée (l/min)	Puissance installée (l/min)	Utilisation
Centrale Beznau	11.22	800		Eau industrielle
Centrale nucléaire Beznau, puits de secours	32.46	1 320		Eau de refroidissement
Centrale nucléaire Beznau, captage de secours	32.103	50		Eau potable et industrielle
Centrale nucléaire Beznau, puits de secours	32.229	12 000	7 200	Refroidissement d'urgence
Centrale nucléaire Beznau, protection civile	32.236	30		Eau potable et industrielle

Dans la région comprise entre Würenlingen et Klingnau, il existe en outre une quantité de petits et moyens captages (voir Tableau 3.6-3), qui sont utilisés pour les besoins privés en eau potable et industrielle et surtout pour faire fonctionner des pompes à chaleur. Celles-ci sont représentées dans la carte de la Figure 3.6-5 (état à mi-juin 2008). Les documents ont été mis à disposition par la section environnement du Département construction, transport et environnement du canton d'Argovie. La quantité cumulée de prélèvement autorisée - ou octroyée par concession - des captages décrits entre Würenlingen et Coblence atteint facilement 45 000 l/min. La quantité effectivement utilisée devrait cependant être passablement inférieure. Ainsi par exemple le puits Nano[39], dont la quantité de prélèvement autorisée est de 12 000 l/min, n'est mis en fonction que pour des tests de fonctionnement périodiques ou en cas d'accident dans la centrale nucléaire de Beznau. Les captages pour les pompes à chaleur, quant à eux, ne sont sollicités que durant les périodes de chauffage et l'eau est restituée à la nappe phréatique.

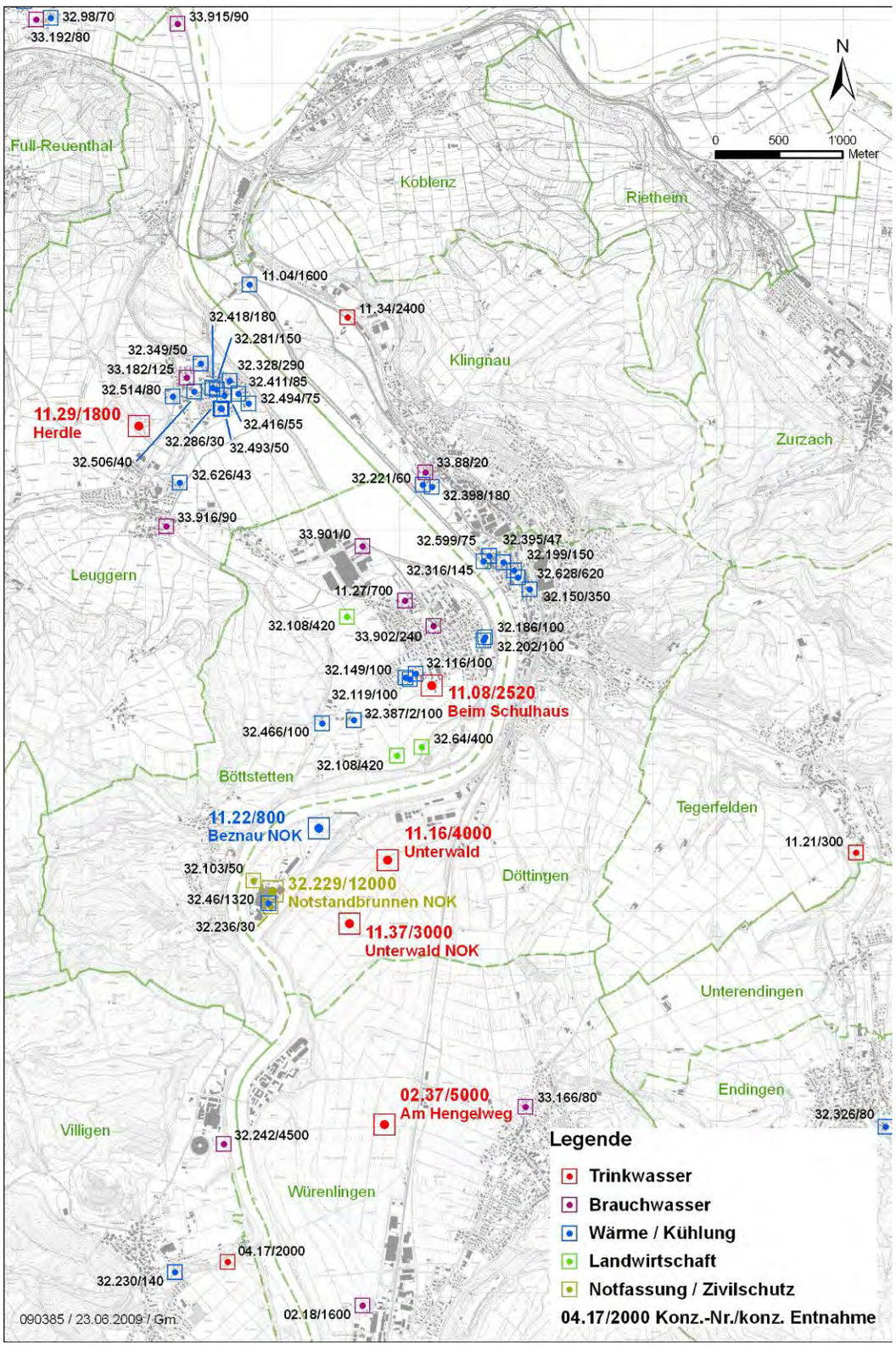
Le tableau suivant donne une idée de l'exploitation intensive des eaux souterraines à proximité du site et de la richesse de l'aquifère.

[39] Nano était la désignation d'un projet de rééquipement et est utilisé ici comme synonyme de système d'urgence de la KKB.

Tableau 3.6-3 : Indications sur les quantités prélevées dans les stations de pompage 1998-2007

	SP Am Hengelweg, Würenlingen Concess. n° 2.37			PW Unterwald, Döttingen Concess. n° 11.16			SP Unterwald NOK Concess. n° 11.37			SP Beim Schulhaus, Böttstein Concess. n°. 11.8		
	Quantité prélevée annuellement [m³]	Quantité prélevée concess. [l/min]	Concession %	Quantité prélevée annuellement [m³]	Quantité prélevée concess. [l/min]	Concession %	Quantité prélevée annuellement [m³]	Quantité prélevée concess. [l/min]	Concession %	Quantité prélevée annuellement [m³]	Quantité prélevée concess. [l/min]	Concession %
1998	697298	5000	27	597961	4000	28	384841	3000	24	493442	2520	37
1999	651845		25	605880		29	420136		27	494560		37
2000	637051		24	591880		28	330082		21	488240		37
2001	647239		25	598500		28	363597		23	506610		38
2002	657460		25	627610		30	412870		26	514510		39
2003	861064		33	658750		31	419080		27	464040		35
2004	747066		28	544000		26	253912		16	370690		28
2005	765195		29	604254		29	278618		18	389930		29
2006	823078		31	457179		22	294067		19	456848		34
2007	796011		30	528183		25	352586		22	361003		27
Période	728330.7		28	581419.7		28			22	453987.3		34

Figure 3.6-5 : Carte des captages d'eau souterraine dans la vallée inférieure de l'Aar (état juin 2008)



3.6.5 Caractéristiques des eaux souterraines et fluviales dans la vallée inférieure de l'Aar

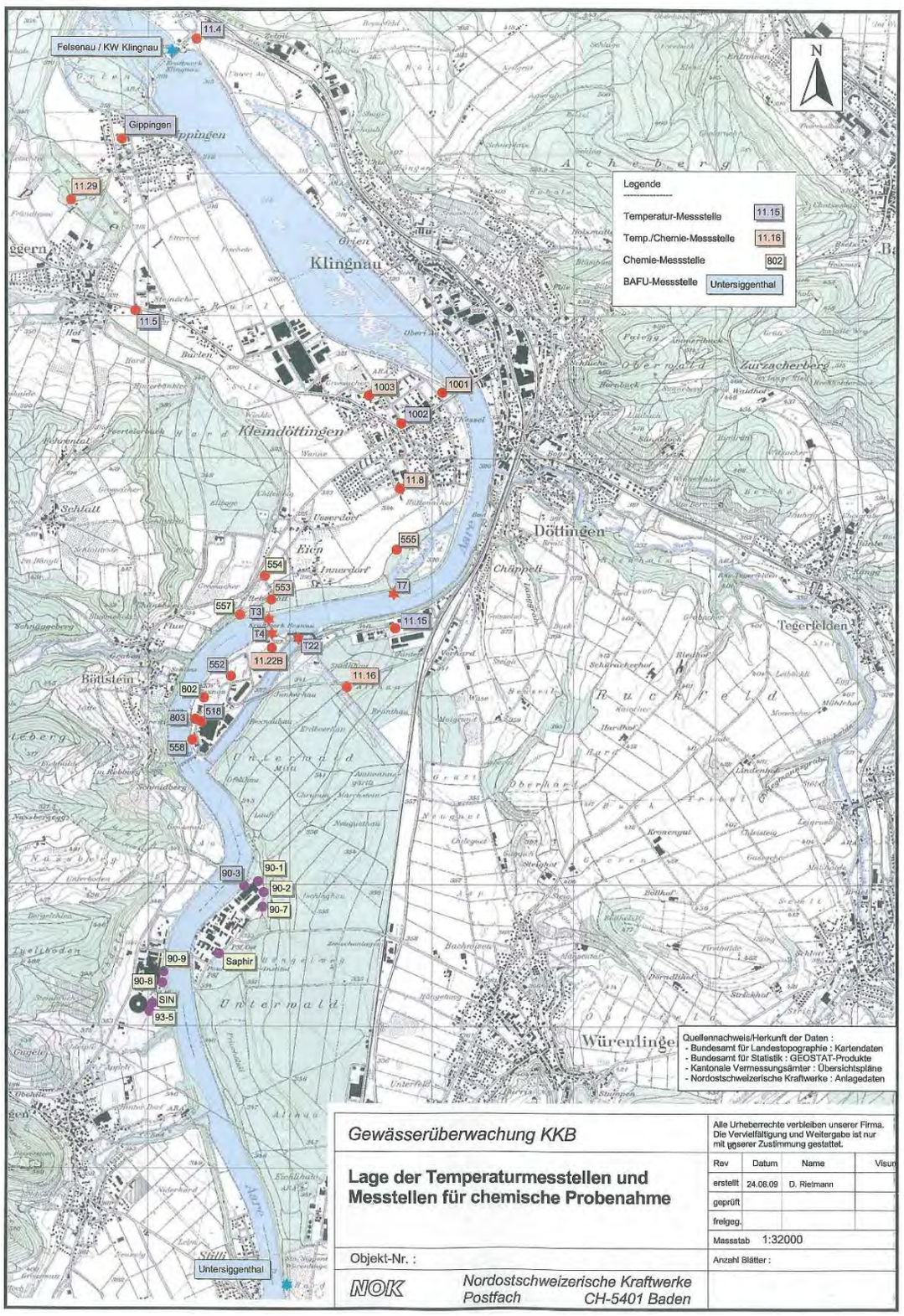
3.6.5.1 Caractéristiques chimiques

3.6.5.1.1 Données disponibles

Afin de documenter les caractéristiques chimiques des eaux souterraines des environs du site de Beznau, des échantillons sont prélevés au printemps de chaque année depuis 1976, d'une part sur cinq conduites d'observation (553H, 554, 555T, 557, 802) et d'autre part sur six captages d'eau souterraine ; ces échantillons sont soumis à des analyses chimiques respectant un programme identique. Des analyses complémentaires provenant des programmes de surveillance usuels pour les captages d'eau potable et effectuées par les stations de pompage publiques sont en outre disponibles. On dispose enfin de quelques mesures provenant du programme de monitoring dans la zone d'écoulement de la décharge de Bärengraben. Depuis 1983, dans le cadre de la surveillance des cours d'eau, des mesures systématiques de la qualité des eaux fluviales sont effectuées dans l'Aar près d'Aarau et de Felsen pour le compte des centrales nucléaires KKW 1 et 2 de Beznau.

La répartition des points de mesure des eaux souterraines et fluviales (température et chimie) est présentée dans la Figure 3.6-6.

Figure 3.6-6 : Carte des points de mesure des températures et des paramètres chimiques dans les environs de la centrale nucléaire de Beznau



3.6.5.1.2 Qualité des eaux de l'Aar

L'Aar possède une composition chimique typique des cours d'eau du Plateau (Mittelland), avec des duretés totales d'environ 16-20° fH et des teneurs en chlorures de 8-15 mg/l, en sulfates d'env. 20-30 mg/l et en nitrates d'env. 1-2.5 mg/l.

Les figures 3.6-7 et 3.6-8 présentent sous forme de courbes les principaux paramètres du programme de surveillance chimique pour le point de mesure de Felsenau. L'emplacement de ce point de mesure est indiqué dans la figure 3.6-6.

Pour tous les paramètres examinés, les courbes montrent des variations plus ou moins importantes, probablement imputables surtout à des différences climatiques. La plupart des paramètres n'indiquent aucune tendance uniforme, ni vers le haut, ni vers le bas, exception faite de la teneur en phosphates et de la consommation en permanganate de potassium ($KMnO_4$), dont la nette diminution pourrait être due à l'interdiction des phosphates et à l'amélioration générale du traitement des eaux usées.

Il est par ailleurs frappant de constater le parallélisme entre les variations observées au point de mesure de Felsenau et à celui d'Aarau, ce qui montre que les affluents que sont la Reuss et la Limmat n'ont aucun effet sensible sur la composition chimique des eaux fluviales.

Figure 3.6-7 : Caractéristiques chimiques des eaux de l'Aar près de Felsenau, partie 1

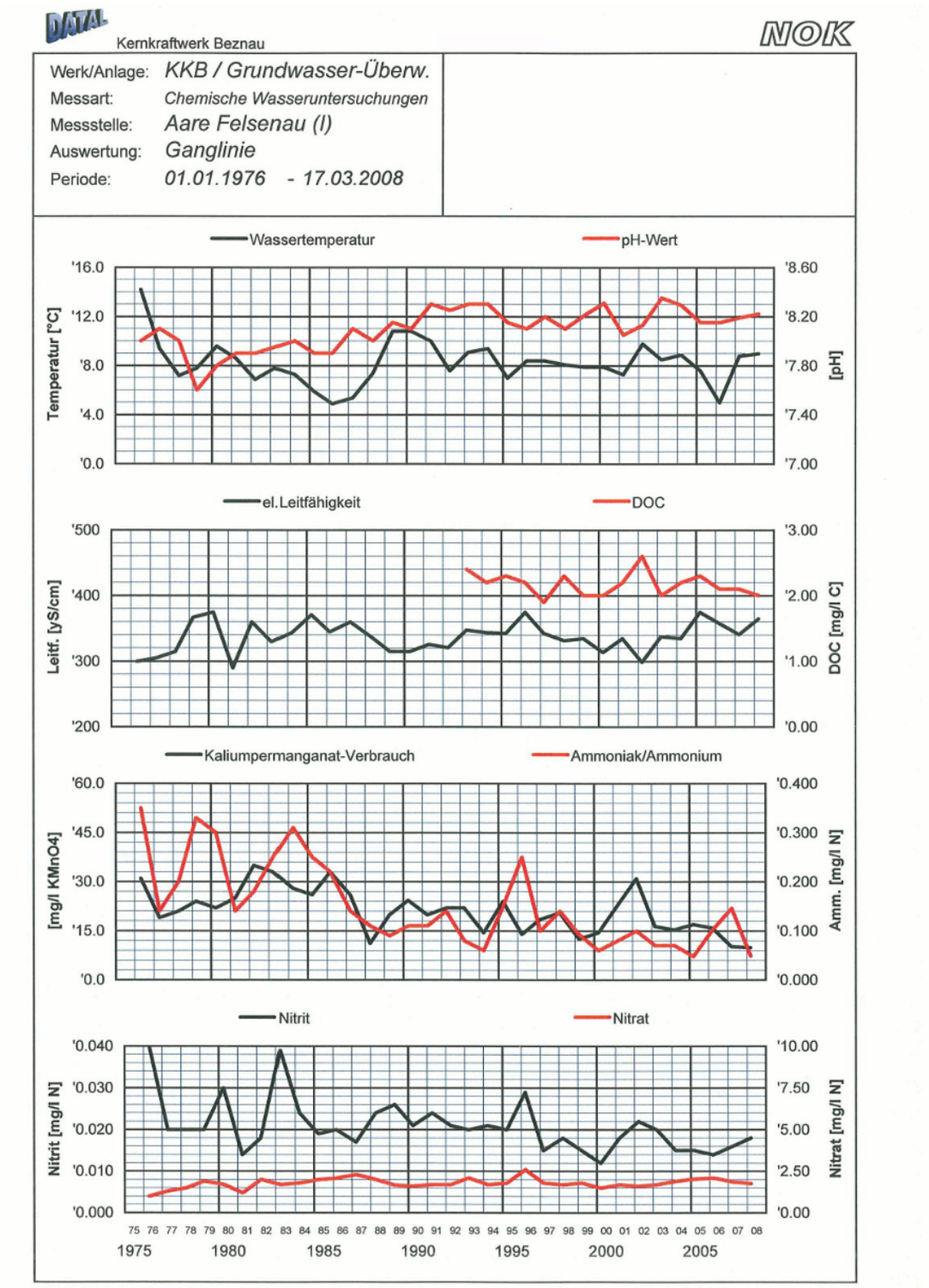
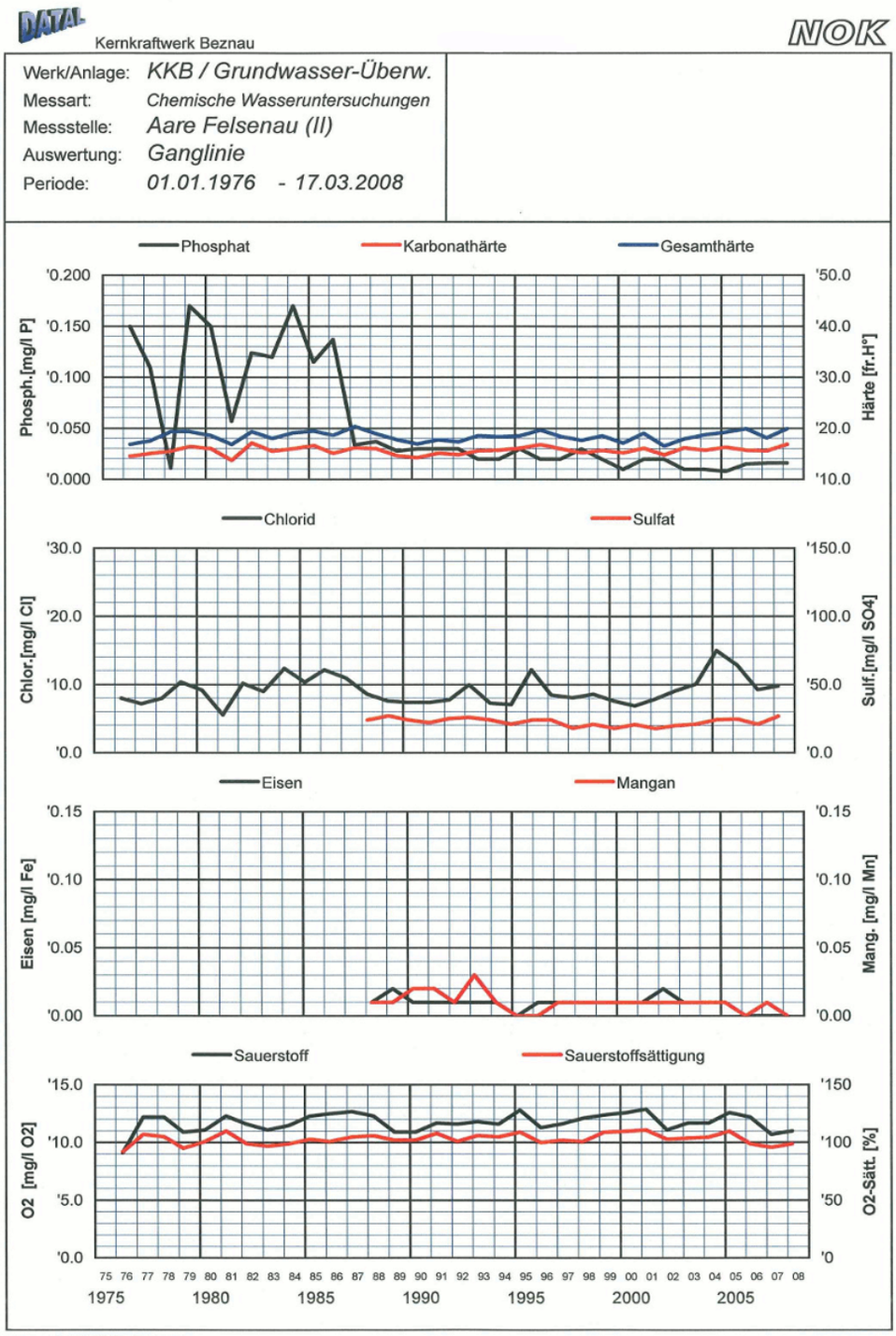


Figure 3.6-8 : Caractéristiques chimiques des eaux de l'Aar près de Felsenau, partie 2



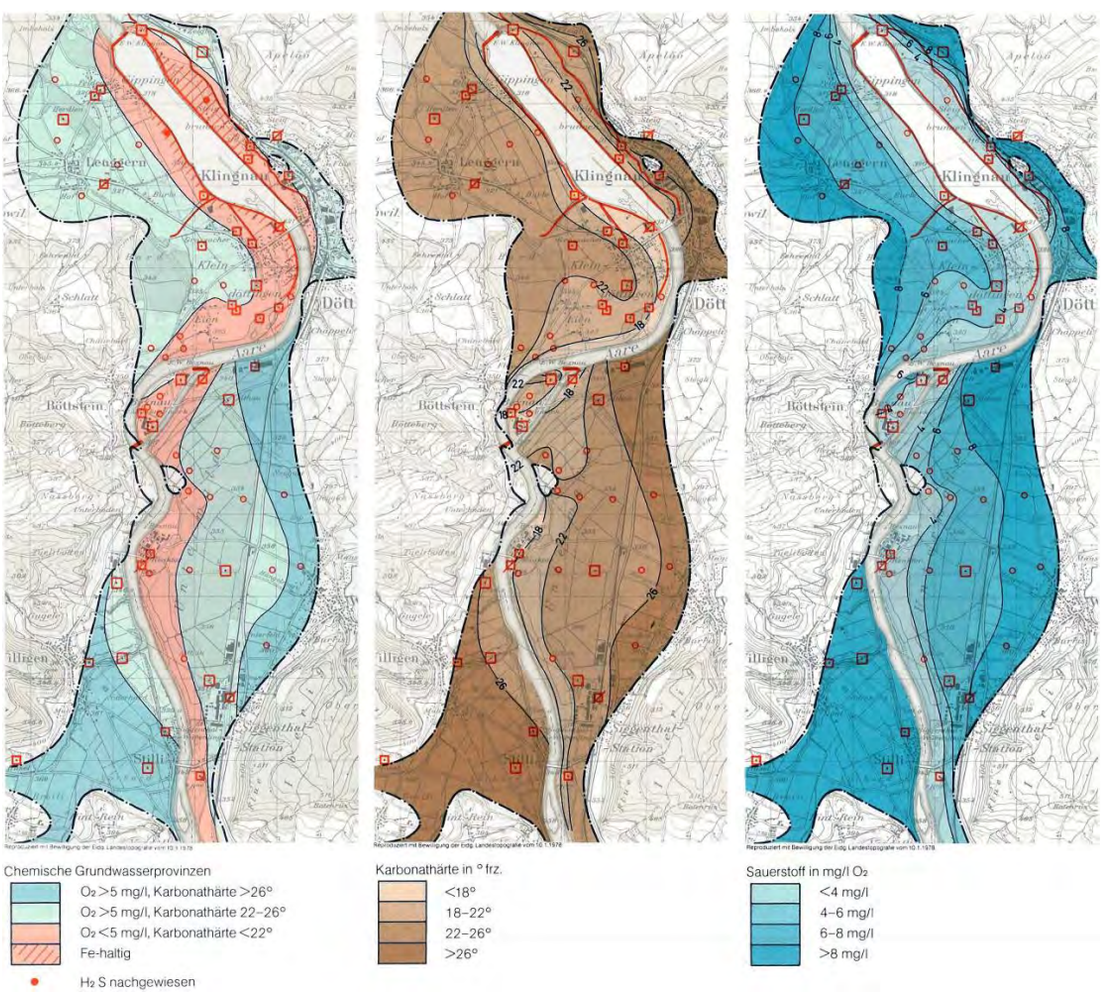
3.6.5.1.3 Qualité des eaux souterraines

Dans les eaux souterraines de la vallée inférieure de l'Aar, on distingue trois zones différentes en fonction du mélange entre l'eau de faible dureté infiltrée de l'Aar et l'eau dure :

- Dans le secteur qui longe la rive droite de la vallée, de Würenlingen à Döttingen, les eaux souterraines sont *riches en oxygène* et d'une *grande dureté*.
- Dans l'Unterwald de Würenlingen et de Döttingen, de Böttstein à Gippingen en passant par Leuggern, ainsi que de Döttingen à Coblence en passant par Klingnau, on trouve des eaux souterraines *riches en oxygène* de *dureté moyenne*.
- A proximité de l'Aar, sur la rive droite, de Siggenthal à l'île de Beznau, ainsi que de Döttingen à la centrale de Klingnau en passant par Klingnau et, sur la rive gauche, d'Eien à la centrale de Klingnau en passant par Kleindöttingen (quartiers de Böttstein), ce sont des eaux *douces* et *pauvres en oxygène* qui dominent.

Ces caractéristiques sont représentées dans les cartes de la figure Figure 3.6-10.

Figure 3.6-9 : Zones chimiques, dureté carbonatée et teneur en oxygène



Les courbes présentées dans les figures du chapitre 3.6.11 permettent de visualiser quelques paramètres chimiques choisis et leur évolution depuis la mise en service de la centrale nucléaire. Ces courbes documentent d'une part les stations de pompage d'eau potable les plus proches de la zone du projet – Unterwald (11.16) et Beim Schulhaus (11.08) – ainsi que le captage d'eaux industrielles sur l'île de Beznau même (11.22) et le captage 1001 situé près de l'Aar à Kleindöttingen (voir figure 3.6-13).

La seule modification certaine et évidente est la baisse de la teneur en KMnO4, aussi bien dans les eaux souterraines que fluviales. Comme tous les points de mesure se trouvent dans le domaine d'infiltration de l'Aar, on peut attribuer cette baisse à l'amélioration progressive de la qualité des eaux de l'Aar. Les modifications n'ont aucun rapport avec l'exploitation de la centrale nucléaire.

Les autres paramètres se caractérisent par des variations relativement minimes. Le seul élément frappant est une tendance à l'augmentation des valeurs de température dans un passé récent (voir chapitre 3.6.5.2). Certains points de mesure ont mis en évidence une légère augmentation des teneurs en oxygène.

Les autres paramètres examinés se situaient dans le domaine d'expérience normale des eaux souterraines non polluées du Plateau et satisfaisaient sans restriction aux exigences de l'eau potable.

L'atteinte à la qualité des eaux souterraines de la vallée inférieure de l'Aar, en aval de Würenlingen, connue depuis 1986, est due à la décharge de Bärengraben.

Il s'agit pour l'essentiel d'une pollution par des composants anorganiques dissous (chlorures, nitrates, sulfates). Actuellement, on ne décèle pratiquement plus aucun indice de cette atteinte dans la plupart des forages.

Dans les années 1990, on a constaté une pollution temporaire par le chrome dans les eaux souterraines en aval de Würenlingen, dont la cause ne se trouvait assurément pas au Bärengraben et qui n'a plus été observée depuis.

Les figures 3.6-10 et 3.6-11 présentent les caractéristiques chimiques des eaux souterraines à la station de pompage de Beznau. Les données correspondantes pour les autres captages se trouvent au chapitre 3.6.11.

Figure 3.6-10 : Caractéristiques des eaux souterraines à la station de pompage de Beznau, partie 1

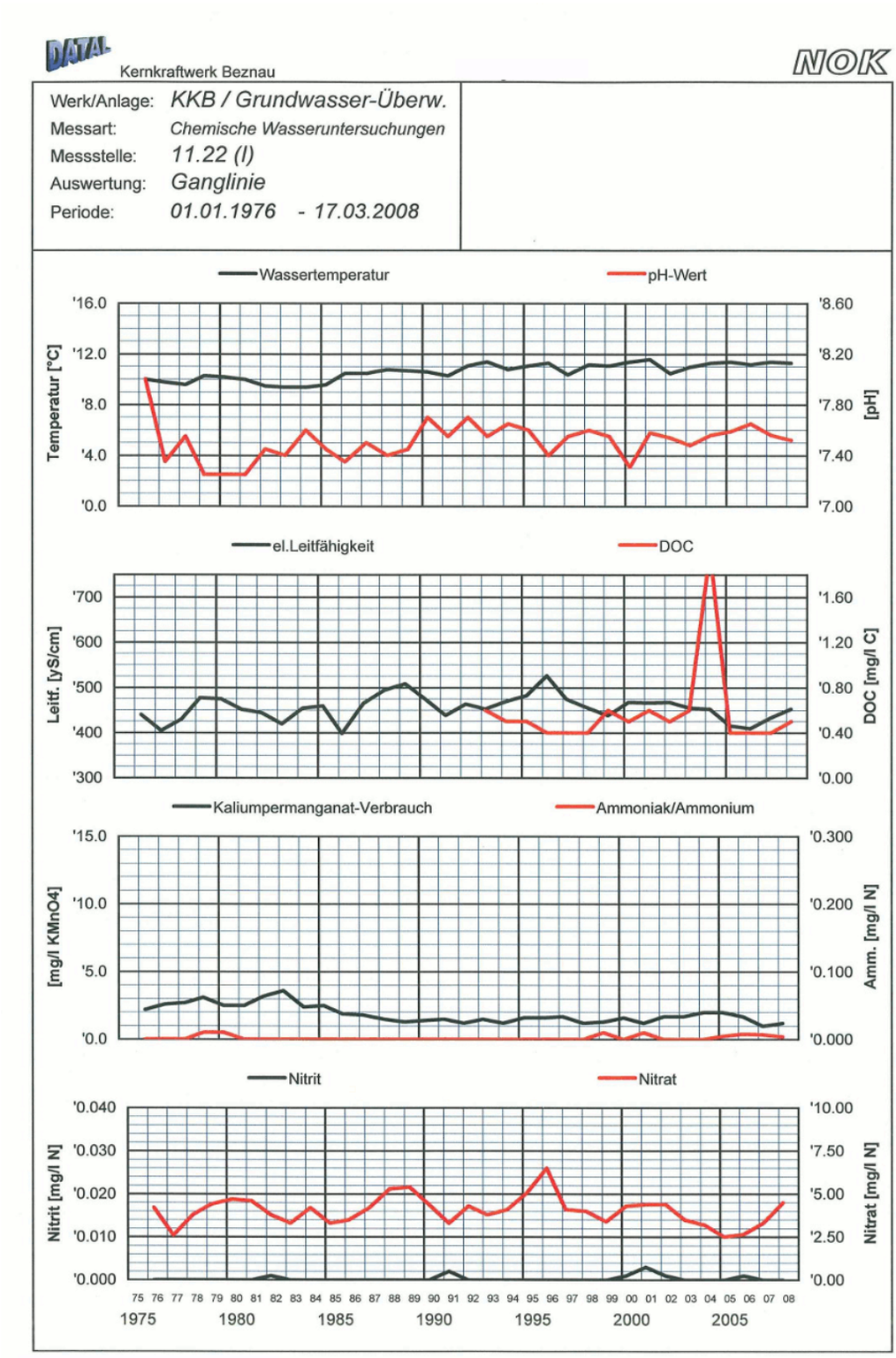
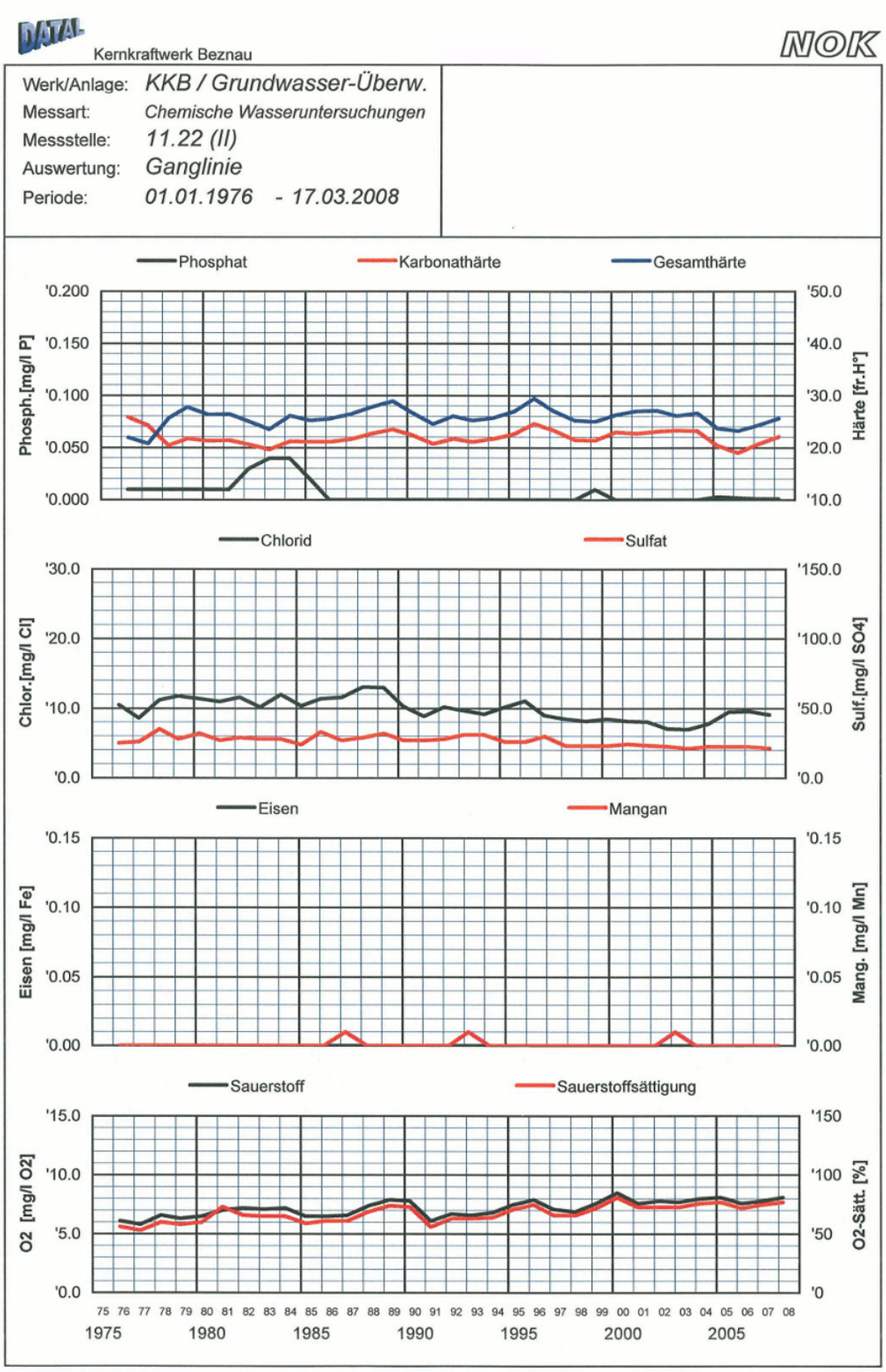


Figure 3.6-11 : Caractéristiques chimiques des eaux souterraines à la station de pompage de Beznau, partie 2



3.6.5.2 Propriétés thermiques

3.6.5.2.1 Introduction

La température des eaux souterraines est un indicateur important de qualité. La raison en est qu'une augmentation de la température entraîne une diminution de la saturation en oxygène et un accroissement de la vitesse de décomposition des pollutions organiques dans les eaux souterraines.

Cet effet conduit à une augmentation des besoins en oxygène et à une réduction du pouvoir auto-purificateur, ce qui provoque des élévations notables artificielles de la température dans les eaux souterraines ; il en résulte une baisse de qualité et ce phénomène est donc indésirable. La température des eaux souterraines est aussi un paramètre à considérer lors de la conception de systèmes de refroidissement liés à la sécurité (par ex. système de secours).

Les condenseurs des turbines des installations en fonction KKB 1 et 2 sont refroidis directement par l'eau de la rivière. La restitution, dans l'Aar, de l'eau de refroidissement réchauffée, par l'intermédiaire des deux écoulements sur la rive droite, s'effectue avec une température augmentée de 9 à 10 °C, ce qui forme un voile d'eau chaude dans la rivière. Afin de le surveiller et d'en documenter les éventuels effets, des mesures de température de l'eau de l'Aar et des eaux souterraines dans un large périmètre autour de la centrale nucléaire sont effectuées depuis la mise en service de la centrale nucléaire de Beznau.

Les mesures sont effectuées jusqu'à aujourd'hui à un rythme mensuel selon un programme dont la dernière modification remonte à début 1983, et exploitées annuellement. Elles comprennent au total quatre points de mesure d'eau fluviale, onze captages d'eaux souterraines et 6 tubes de mesure équipés de façon spécifique (voir figures au chapitre 3.6.12).

3.6.5.2.2 Température des eaux de l'Aar

La température des eaux souterraines est influencée par la température des eaux de l'Aar à cause de l'infiltration. C'est pourquoi la température des eaux fluviales est significative aussi bien en amont qu'en aval.

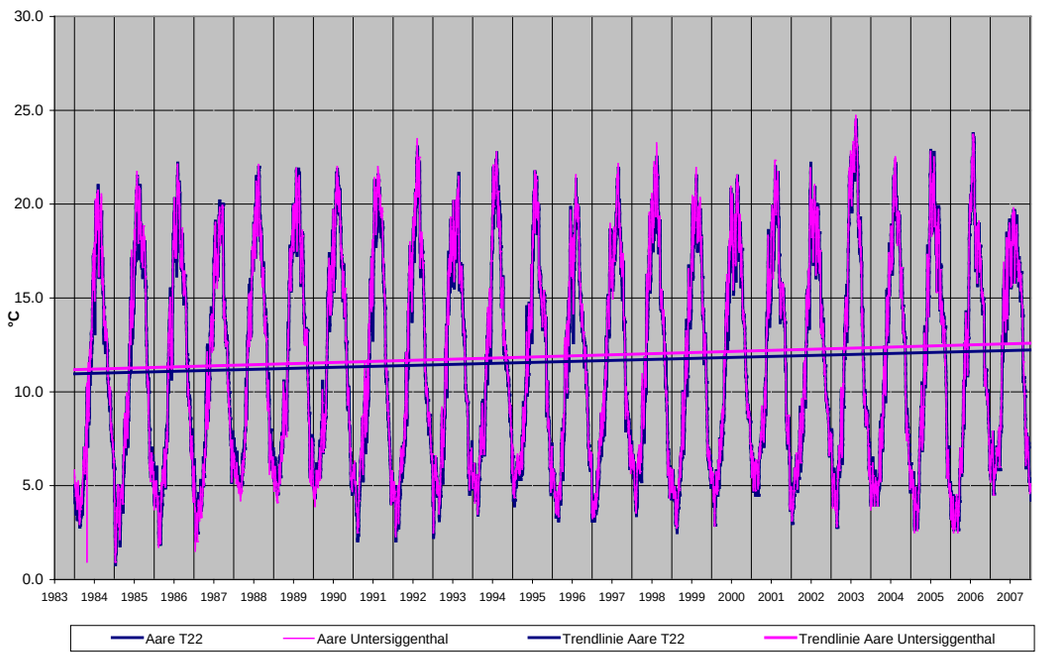
Pour caractériser les températures des eaux de l'Aar, on utilise les quatre niveaux T3, T4, T7 et T22 (voir Figure 3.6-13). Le dernier se trouve dans le canal supérieur et donne ainsi des indications sur les eaux dont on sait avec certitude qu'elles ne sont pas influencées par la KKB. Le niveau T4 se trouve sur la rive droite entre les écoulements d'eau de refroidissement et la centrale hydraulique et donc complètement dans le voile d'écoulement des eaux réchauffées.

Les températures des eaux de l'Aar dans le secteur d'entrée de la KKB se situent entre env. 1 et 25 °C ; ce qui signifie qu'elles sont soumises à de fortes variations saisonnières de plus de 20 °C. La moyenne annuelle est de 11.6 °C depuis 1984. Depuis 1976, sur une période de mesures d'une trentaine d'années, on constate une augmentation continue d'environ 2 °C de la température des eaux fluviales au point de mesure non influencé T22.

A titre de comparaison, on peut mentionner le niveau «Aar-Untersiggenthal», placé à env. 3.7 km en amont de l'île de Beznau et de ce fait clairement non influencé par les activités de la KKB. Ce point de mesure montre des courbes identiques à celles de T22, que ce soit pour l'évolution à

court et à long terme ou pour l'amplitude (voir Figure 3.6-12). La tendance de la période suit une ligne parallèle depuis 1984 et indique aussi une augmentation d'env. 2 °C de la température.

Figure 3.6-12 : Courbes de température aux points de mesure de l'Aar T 22 et Untersiggenthal, 1984-2007



Dans la zone d'écoulement de la centrale, les températures sont d'environ 9-10 °C plus élevées en raison du rejet de l'eau de refroidissement, c'est-à-dire que le point de mesure T4 enregistre des températures moyennes d'env. 20-21 °C. Les amplitudes des variations saisonnières sont à peu près identiques à celles du canal supérieur. Depuis le milieu des années 1990, ce point de mesure indique aussi une légère augmentation de la température.

En 2000, afin d'obtenir un meilleur mélange vertical et horizontal entre l'eau de refroidissement et celle de la rivière, on a construit dans l'Aar des « remblais en épi » (*Buhnen*) dans la zone de restitution de l'eau de refroidissement. Les effets de ces mesures n'ont pas été étudiés en détail. Mais les différences de température de l'eau en aval des points de rejet de l'eau de refroidissement semblent être moins marquées depuis lors et, par conséquent, leurs effets sur les eaux souterraines devraient aussi avoir tendance à diminuer.

L'EKKB, avec son circuit principal de refroidissement fermé et sa tour de refroidissement, influencera moins la température des eaux – aussi bien fluviales que souterraines – que la centrale actuelle.

Une augmentation de la température de l'eau de la rivière en aval de l'EKKB n'est pas significative pour la sécurité, mais elle est traitée dans le rapport d'impact sur l'environnement. Des hausses éventuelles de la température des eaux souterraines sur le site ou en amont de l'île pourraient avoir une incidence sur la conception de systèmes de refroidissement alimentés par la nappe phréatique. Cet aspect sera traité dans le cadre de la demande de l'autorisation de construire.

3.6.5.2.3 Température des eaux souterraines

Les températures des eaux souterraines sont enregistrées dans tous les captages importants, ainsi qu'à des points de mesure spécifiques conçus pour donner également des indications sur le niveau de la nappe phréatique et permettre de prélever des échantillons. Pour enregistrer les températures, on a installé jusqu'à onze sondes thermiques de type Huggenberger qui permettent de mesurer les valeurs en profondeur. Les points de mesure énumérés ci-dessous sont équipés comme suit :

- 518 : Bord sup. du terrain, env. 327.0 m d'altitude, niveau moyen de la nappe phréatique, env. 320.5 m, Cotes des sondes 320.1 et 318.8 m
- 553T : Bord sup. du terrain, env. 325.8 m, niveau moyen de la nappe phréatique env. 319.0 m, Cotes des sondes 312.0, 310.5, et 309.0 m
- 555H : Bord sup. du terrain, env. 322.5 m d'altitude, niveau moyen de la nappe phréatique env. 318.2 m, Cotes des sondes 317.3, 316.3, 315.3, 313.8 et 312.3 m
- 558 : Bord sup. du terrain, env. 325.65 m d'altitude, niveau moyen de la nappe phréatique env. 320.25 m, Cotes des sondes 319.6, 318.1, 316.1, 313.8 et 312.1 m

Les températures des eaux souterraines sont également enregistrées dans les stations de pompage par des sondes fixes.

En raison des interactions étroites entre les eaux fluviales et souterraines, la température de l'Aar influence l'eau souterraine et entraîne de fortes variations saisonnières dans la zone d'infiltration le long de la rivière. L'influence de l'infiltration apparaît avec un décalage temporel qui atteint un à deux mois aux points de mesure proches de l'Aar et jusqu'à une demi-année dans les zones plus éloignées. Ces effets sont illustrés dans la Figure 3.6-14. En raison de cette superposition d'effets, il existe deux ensembles de température distincts :

- D'une part, une zone pratiquement isotherme, caractérisée par de grands décalages par rapport à la rivière et par de faibles variations de température. Cette zone comprend l'Unterwald oriental situé sur la rive droite de l'Aar et la région d'Eien et de Leuggern sur la rive gauche.
- D'autre part une zone avec faible décalage et hautes amplitudes de température. Elle s'étend sur l'île de Beznau, l'Unterwald oriental proche de la rivière sur la rive droite et la région proche de la rive gauche entre Böttstein et Kleindöttingen.
- Concrètement, la restitution de l'eau de refroidissement réchauffée, à puissance maximale des centrales KKB 1 et 2, signifie une entrée d'eau jusqu'à 40 m^3/s, dont la température est supérieure de 9-10 °C à celle de la rivière. En dessous du point d'entrée, cet apport provoque, dans la région de l'île de Beznau, un voile d'eau chaude qui se déplace d'abord le long de la rive droite de l'Aar. En aval de la centrale hydraulique, ce voile est poussé contre la rive gauche par l'arrivée de l'eau froide turbinée le long de la rive droite.

Après la mise en service, on a observé entre 1970 et 1976, sur l'île de Beznau, aux abords immédiats des écoulements de l'eau de refroidissement des KKB (points de mesure 518, 803), un réchauffement de la nappe souterraine atteignant 1-4 °C Ce réchauffement était causé par la conduction thermique par le béton des canaux de refroidissement, les conduites et les fondations immergées dans les eaux souterraines. La situation s'est largement équilibrée depuis 1976. Depuis 1985/1986 environ, un nouveau réchauffement, minime, s'est amorcé, également enregistré dans l'Aar hors des zones d'influence (niveau T22). Le point de mesure 552, un peu plus éloigné de la centrale nucléaire, indique une légère hausse de température jusqu'en 1976, avant une nouvelle phase de stabilisation. Le point de mesure 558, situé en amont de la centrale, s'est révélé non affecté.

Positionnés sur la rive *gauche* de l'Aar, les points de mesure les plus proches de la centrale (553 et 555) ont présenté une élévation d'env. 0.5 °C après la mise en service. Cet effet correspond à peu près à l'augmentation moyenne de la température de l'eau fluviale due à la centrale. Le captage d'eaux souterraines «Beim Schulhaus» à Kleindöttingen (concession n° 11.8), également sur la rive gauche, a réagi de façon encore un peu plus nette, avec une hausse totale des températures de 1-1.5 °C : jusque dans les années 1980, il a présenté un réchauffement d'environ 0.5 °C et vers la fin des années 1990 une nouvelle augmentation de la température d'environ 1 °C : Depuis lors, les températures sont à peu près stables. Dès le milieu des années 1980 et vers la fin des années 1990, le captage d'eau potable de Herdlen, à Leuggern (concession n° 11.29) et l'ancienne station de pompage de Gippingen sur la rive gauche de l'Aar ont également indiqué de légères hausses de température. Depuis env. 2000, les températures de ce point de mesure ont plutôt tendance à reculer, avec un plancher relatif en 2003, année particulièrement sèche.

Sur la rive gauche de l'Aar, on a donc certes enregistré une légère influence sur la température des eaux souterraines dues aux activités de la centrale nucléaire de Beznau, mais elles se limitaient pour l'essentiel au bord de la rive dans une zone proche de la rivière. Les hausses de températures les plus importantes ont été mesurées à une distance relativement éloignée de la centrale, dans la région de Kleindöttingen, située à envion 2 km.

Figure 3.6-13 : Carte des points de mesure de température aux abords de la KKB

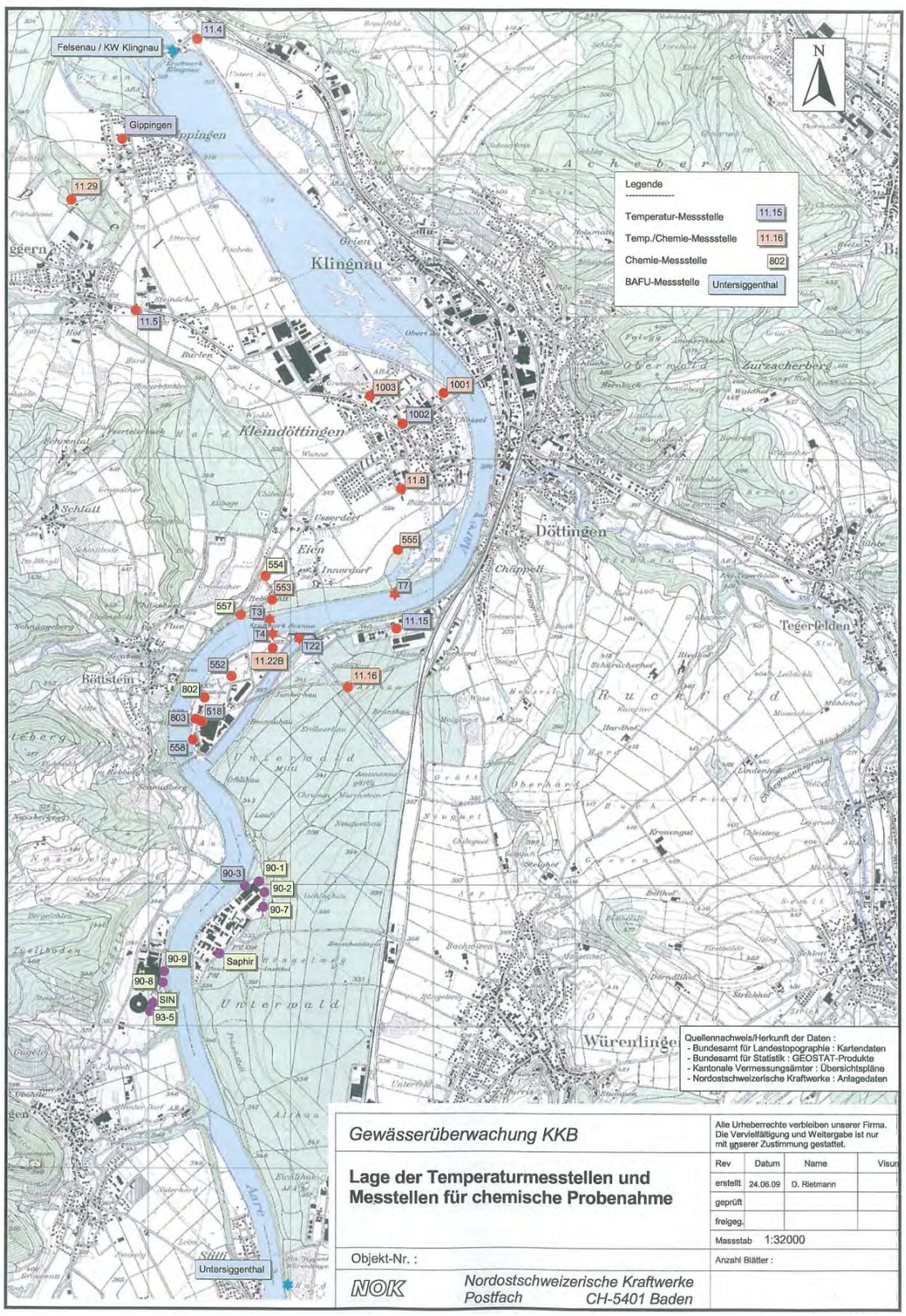
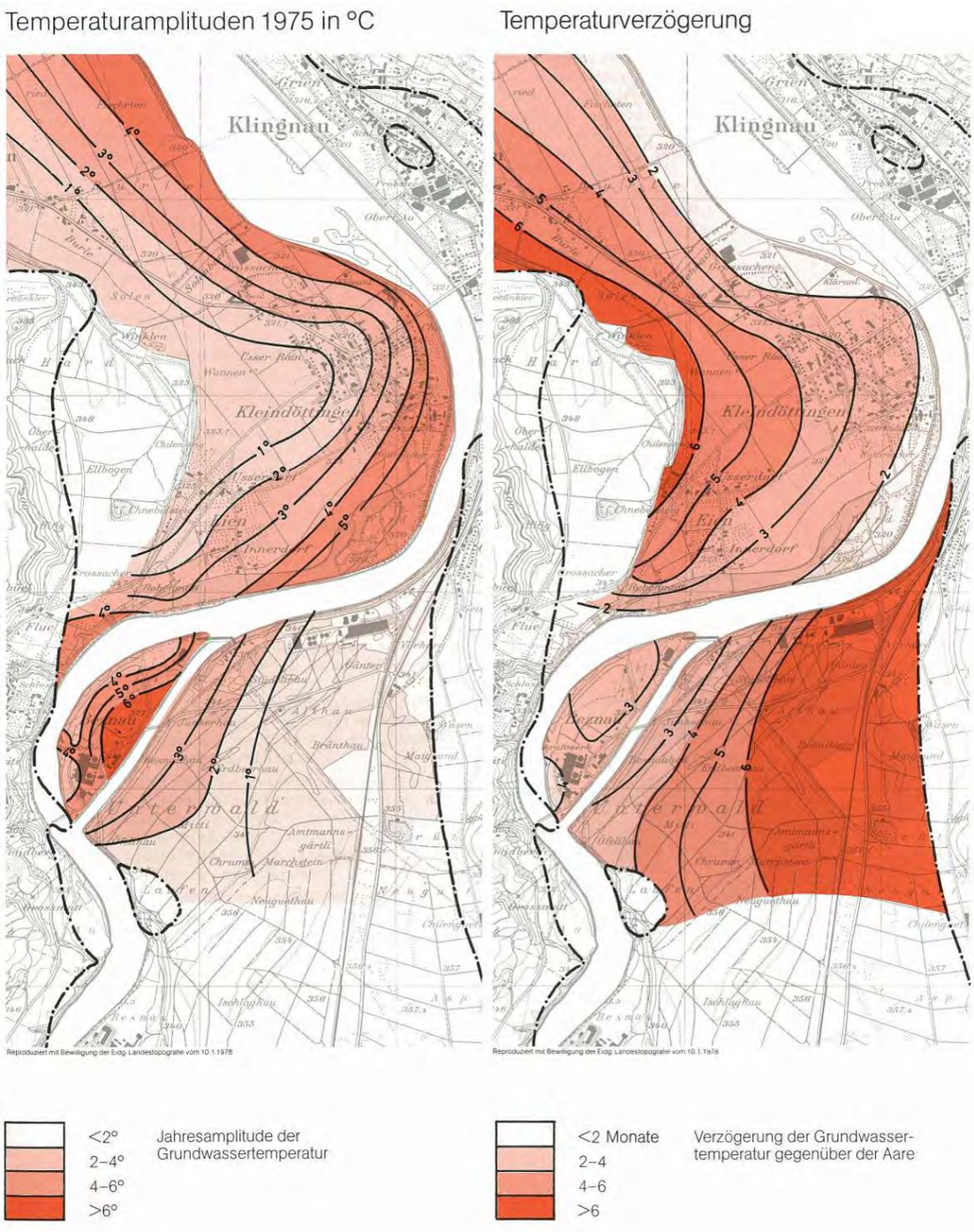


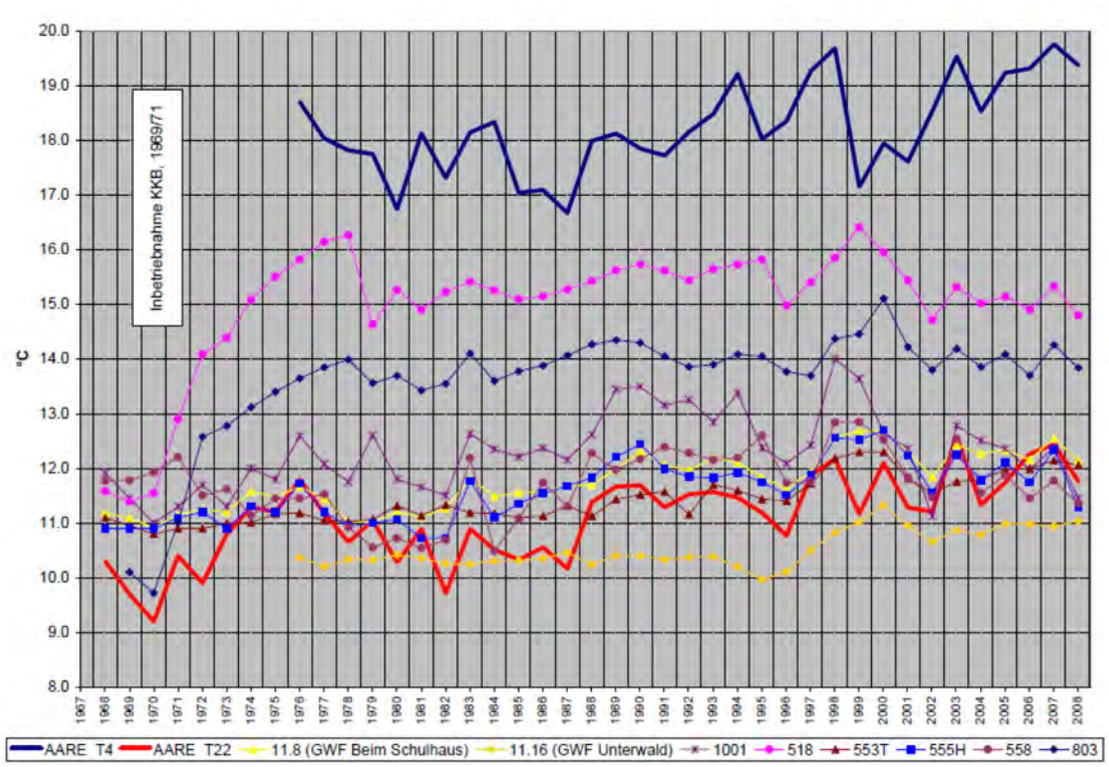
Figure 3.6-14 : Indications sur les amplitudes et le décalage des températures



Après la mise en service de la KKB, aucun des quelques points de mesure situés sur la rive *droite* de l'Aar n'ont enregistré de hausse de température de la nappe souterraine qui aurait pu être attribuée aux activités de la centrale nucléaire. En revanche, dès le milieu des années 1980, on a observé une légère augmentation des températures, notamment dans les captages d'eaux souterraines de l'Unterwald (concess. n° 11.16), situés dans la région d'arrivée des eaux et donc en-dehors d'une zone d'influence possible de la centrale. Ce constat confirme l'effet climatique mentionné plus haut qui, dans un passé récent, a imprimé sa marque sur les eaux souterraines dans la vallée inférieure de l'Aar.

La Figure 3.6-15 présente les courbes de tous les points de mesure de l'Aar et de la nappe souterraine évoqués précédemment et permet ainsi de comparer l'évolution des températures. Les caractéristiques les plus frappantes sont les valeurs généralement plus élevées au point de mesure T4, situé dans le voile de l'entrée d'eau chaude, et l'augmentation, après la mise en service, aux points de mesure 518 et 803, situés à proximité des décharges de l'eau de refroidissement.

Figure 3.6-15 : Courbes de température de la rivière et des eaux souterraines sur des points de mesure sélectionnés 1968-2007



Pour résumer, on peut retenir que dans les premières années après la mise en service de la centrale KKB, ce n'est que sur l'île de Beznau elle-même, à proximité immédiate des écoulements de l'eau de refroidissement, qu'un réchauffement notable des eaux souterraines est apparu, de l'ordre de 1 à 4 °C. Ce réchauffement était causé par la conduction thermique par le béton des canaux de refroidissement, les conduites et les fondations immergées dans les eaux souterraines.

Dans l'étroite zone de la rive gauche, au sud d'Eien jusqu'à Kleindöttingen, on n'a en revanche constaté qu'un faible réchauffement atteignant au maximum env. 0.5 °C.

Le voile d'eau chaude le long de la rive gauche de l'Aar n'est cependant perceptible que par étiage. Lorsque les eaux sont hautes, il est recouvert par l'eau froide de la rivière. Lorsque les eaux sont basses, l'infiltration des eaux fluviales dans la nappe souterraine est modeste. Par hautes eaux, avec un taux d'infiltration identique, le mélange avec les eaux de la rivière fait que l'impact de la chaleur dans les eaux souterraines est comparativement plus faible. En raison de l'ensemble de ces éléments, les effets de l'introduction d'eau de refroidissement dans la zone importante d'exploitation des eaux souterraines – le long de la rive gauche de l'Aar entre Eien, Kleindöttingen et Leuggern – sont minimes. En particulier, les stations de pompage destinées à exploiter l'eau potable dans toute la vallée inférieure de l'Aar n'indiquent aucune modification de température qui pourrait être mise en rapport avec le fonctionnement de la centrale.

Il reste à mentionner une caractéristique spécifique : à différents points de mesure, on constate une superposition verticale des températures qui a pour conséquence qu'en hiver, une superposition inverse s'établit dans laquelle l'eau froide, plus dense, se superpose à l'eau plus chaude, spécifiquement plus légère.

3.6.6 Effets possibles d'une EKKB sur les eaux souterraines

Les principaux effets possibles sur les eaux souterraines induits par le projet EKKB sont présentés et discutés ci-après.

3.6.6.1 Effets dus à l'exploitation future des eaux souterraines

3.6.6.1.1 Eaux de refroidissement, potables et industrielles (non liées à la sécurité)

Selon la conception de l'installation retenue, le projet EKKB, en fonctionnement normal, nécessitera davantage d'eau pour l'alimentation des circuits auxiliaires d'eau de refroidissement fermés équipés de chambres froides. Cette réalimentation sert à compenser les pertes dues à l'évaporation et à maintenir la composition chimique de l'eau. Les quantités d'eau de refroidissement nécessaires dépendent du type de réacteur et du système de refroidissement. Selon le type d'installation, les quantités se situeront entre env. 150 et 400 l/s. Ces besoins seront probablement couverts par les eaux de la rivière. Au cas où des systèmes avec chambres froides seraient utilisés, il faudra éventuellement une faible quantité d'eau souterraine supplémentaire pour compenser les pertes dues à l'évaporation. Il faudra en outre utiliser encore davantage d'eaux souterraines – dont les quantités ne sont pas encore fixées – pour le fonctionnement, c'est-à-dire pour couvrir les besoins en eau potable, ainsi que pour alimenter les réservoirs d'eau d'extinction.

Les dimensions des réservoirs d'eau d'extinction et les quantités d'eau nécessaires en cas d'incendie ou pour vérifier l'état des installations (par ex. tests de systèmes, exercices) seront fixées dans le cadre de la demande de l'autorisation de construire. Il en va de même pour d'autres aspects, comme la fourniture d'eau potable et domestique.

Durant la phase de construction de l'EKKB, on peut s'attendre à une certaine atteinte à la qualité des eaux souterraines, conséquence des intenses activités sur le chantier, avec stockage et utilisation de matériaux pouvant polluer la nappe souterraine. On peut en revanche exclure des

préjudices quantitatifs, ou alors ils seront limités à de brèves périodes avec des modifications locales temporaires des conditions découlement aux abords immédiats du chantier.

Dans l'état actuel des études du projet, on ne s'attend pas, dans la phase d'exploitation, à des effets qualitatifs ou quantitatifs notables sur les eaux souterraines, à la seule exception, peut-être, de modifications de température qui seraient dues à l'introduction d'eau de refroidissement dans l'Aar et pourraient se répercuter sur les eaux souterraines. Ces modifications se superposeront à l'augmentation des températures consécutive au probable réchauffement climatique, aussi bien dans les eaux fluviales que souterraines. Selon les prévisions actuelles de l'Office fédéral de météorologie et climatologie MétéoSuisse à Zurich, il faut tabler, d'ici 2050, sur un réchauffement de l'air d'environ 2 °C en hiver et 2.5°C en été. D'ici 2070, cette hausse pourrait atteindre 4.7 °C. Ces températures se répercuteront sur les eaux de surface et, par elles, sur les eaux souterraines. Pour celles-ci, il faut donc tabler à long terme sur des augmentations de température semblables à celles de l'air.

3.6.6.1.2 Eaux de refroidissement liées à la sécurité

Il sera probablement nécessaire d'utiliser l'eau souterraine pour le refroidissement des systèmes de sécurité de l'EKKB, afin de compenser les pertes dues à l'évaporation dans les circuits fermés. Les quantités seront de l'ordre de 50 l/s pour chaque élément de sécurité. Elles ne seront fixées que lors de la conception de l'installation dans le cadre de la demande de l'autorisation de construire.

L'eau souterraine devra éventuellement être utilisée aussi pour le refroidissement des systèmes de secours : cela dépendra de la conception des installations et des exigences administratives. Les quantités définitives ne seront déterminées, elles aussi, que lors de la demande de l'autorisation de construire. Ces besoins en eau de refroidissement viendront s'ajouter à ceux déjà existants – à hauteur de 200 l/s d'eau souterraine – pour les centrales KKB 1 et 2.

Un scénario, établi grâce à un modèle calibré de flux, a pris pour base de calcul un prélèvement d'eau souterraine de 200 l/s dans le puits de secours existant et de 300 l/s supplémentaires dans un nouveau puits filtrant horizontal près de la future EKKB. Si l'on se base sur ces évaluations, une alimentation de secours des systèmes de refroidissement liés à la sécurité serait possible avec la nappe phréatique existante sur une durée allant jusqu'à 30 jours, sans créer de problèmes et sans porter atteinte aux captages communaux situés à proximité.

Un calcul prévisionnel a été effectué afin d'évaluer les ressources en eaux souterrainex pour l'usage mentionné ci-dessus. La méthode et les résultats sont présentés au chapitre 3.6.7. Selon les résultats de ce calcul, les puits de secours existants de la KKB et un puits supplémentaire pour l'EKKB sont en mesure de fournir respectivement 200 et 300 l/s sur une période de 30 jours. Les paramètres de 300 l/s pour 30 jours ont été choisis simplement pour évaluer la capacité de la nappe phréatique et ne doivent pas être compris comme des paramètres de conception. L'évaluation des besoins se base sur les besoins réels en eau souterraine pour le système de secours de la centrale nucléaire de Leibstadt. Une durée de 30 jours est une hypothèse de prudence et sert à vérifier la productivité en cas de prélèvement d'une certaine durée.

Dans un tel cas d'urgence, le niveau de la nappe phréatique du puits de secours actuel de la KKB serait abaissé de 5.5 m. Dans le puits filtrant horizontal envisagé pour l'EKKB, l'abaissement serait

de 5.4 m (voir chapitre 3.6.7). Le calcul prévisionnel montre aussi que les débits nécessaires de l'Aar, même par étiage, peuvent être atteints.

Même en cas de disparition du barrage, il serait toujours possible, selon les calculs, de fournir les 300 l/s ou 200 l/s nécessaires au refroidissement de secours grâce aux deux puits filtrants. En raison d'une infiltration renforcée de l'Aar, la simulation montre que la baisse de niveau serait même inférieure d'environ 50 cm.

3.6.6.2 Effets dus à la diminution de la capacité d'écoulement des eaux souterraines

L'ordonnance sur la protection des eaux (RS814.201) [6], annexe 4, al. 4, ch. 211, OEaux) prévoit que, « dans le secteur A_u de protection des eaux, on ne mettra pas en place des installations qui sont situées en dessous du niveau moyen de la nappe souterraine. L'autorité peut accorder des dérogations lorsque la capacité d'écoulement des eaux souterraines est réduite de 10% au maximum par rapport à l'état non influencé par les installations en question ».

En ce qui concerne la nouvelle construction prévue pour l'EKKB, il est nécessaire d'examiner aussi l'influence des bâtiments sur l'écoulement de la nappe souterraine, afin d'évaluer une utilisation supplémentaire des eaux souterraines pour les systèmes de refroidissement liés à la sécurité. Les installations actuelles et les nouveaux bâtiments de l'EKKB ont été modélisés pour le calcul de la productivité.

3.6.6.2.1 Situation actuelle

Certains bâtiments actuels de la centrale sont ancrés très profondément en dessous du niveau de la nappe souterraine et limitent ainsi, localement, la section de l'écoulement. Dans la zone des deux bâtiments des réacteurs, ancrés dans le sous-sol rocheux, l'aquifère est presqu'entièrement obstrué, même si c'est sur une partie comparativement très réduire de la section d'écoulement (voir figure Figure 3.6-16).

A l'aide des profils établis dans la zone des constructions actuelles et à venir, ainsi que des données hydrogéologiques les plus récentes, les capacités d'écoulement de l'aquifère souterrain ont été réévaluées. On a en outre pris en considération les niveaux déterminants des eaux souterraines (moyennes eaux) et les informations sur les installations existantes et celles prévues dans les différentes variantes de l'EKKB.

On a utilisé, comme base de calcul, le profil d'écoulement de l'ensemble de l'aquifère souterrain, conformément aux usages et à la pratique du canton d'Argovie fondés sur le guide « Protection des eaux souterraines ». Cette documentation doit mettre en évidence les variantes qui parviennent (sans mesures de substitution) à satisfaire aux exigences nécessaires à l'obtention d'une autorisation exceptionnelle de construire dans la nappe souterraine, selon ch. 211, annexe 4 de l'Ordonnance sur la protection des eaux.

Comme coupes représentatives, on a choisi deux profils verticaux par rapport à la direction du flux des eaux souterraines, l'un dans la zone de la centrale existante, l'autre sur le site de la nouvelle centrale (voir Figure 3.6-16 et Figure 3.6-17).

La densité des informations existantes est très peu homogène puisque l'on dispose de nombreux résultats de sondages sur l'île de Beznau, alors que les données issues des forages de la région située à l'est du canal supérieur sont beaucoup moins nombreuses.

Dans le secteur occidental, l'aquifère souterrain se compose, dans sa partie supérieure, d'alluvions bien perméables des terrasses inférieures, pour lesquelles on a établi, par des calculs de débit, un coefficient de perméabilité moyen k de 4 x 10^{-3} m/s. Pour la partie plus profonde, composée d'alluvions des terrasses hautes, on a mesuré pour k une valeur de 1.5 x 10^{-3} m/s.

Pour le gradient hydraulique des eaux souterraines, une valeur de 2.5‰ a été admise pour la plus grande partie de la région, à l'exception de la zone située au sud de l'île de Beznau (KKB existante), où le gradient atteint environ 4‰.

Pour les deux secteurs examinés (KKB existante et EKKB planifiée), les considérations citées ci-dessus donnent comme résultats des débits d'eaux souterraines de 0.19 ou 0.21 m^3/s pour l'état actuel, correspondant à environ 11 200 ou 12 500 l/min (voir tableau 3.6-4). Il faut cependant tenir compte du fait que les estimations reposent certes sur de meilleures connaissances de la géométrie de l'aquifère souterrain, mais que les chiffres admis pour les valeurs de k et les gradients hydrauliques restent toujours des approximations. Les estimations récentes des débits dans la région de la vallée inférieure de l'Aar donnent des chiffres nettement plus bas que celles effectuées précédemment.

Pour le secteur de la vallée situé près de l'île de Beznau, les estimations faites dans les années 1980 – basées sur l'état des connaissances d'alors relatives aux paramètres hydrogéologiques déterminants – donnaient un débit d'environ 17.6 m^3 par minute. Au vu des nouvelles estimations, cette valeur doit être considérée comme plutôt trop élevée.

Figure 3.6-16 : Profil transversal des bâtiments existants

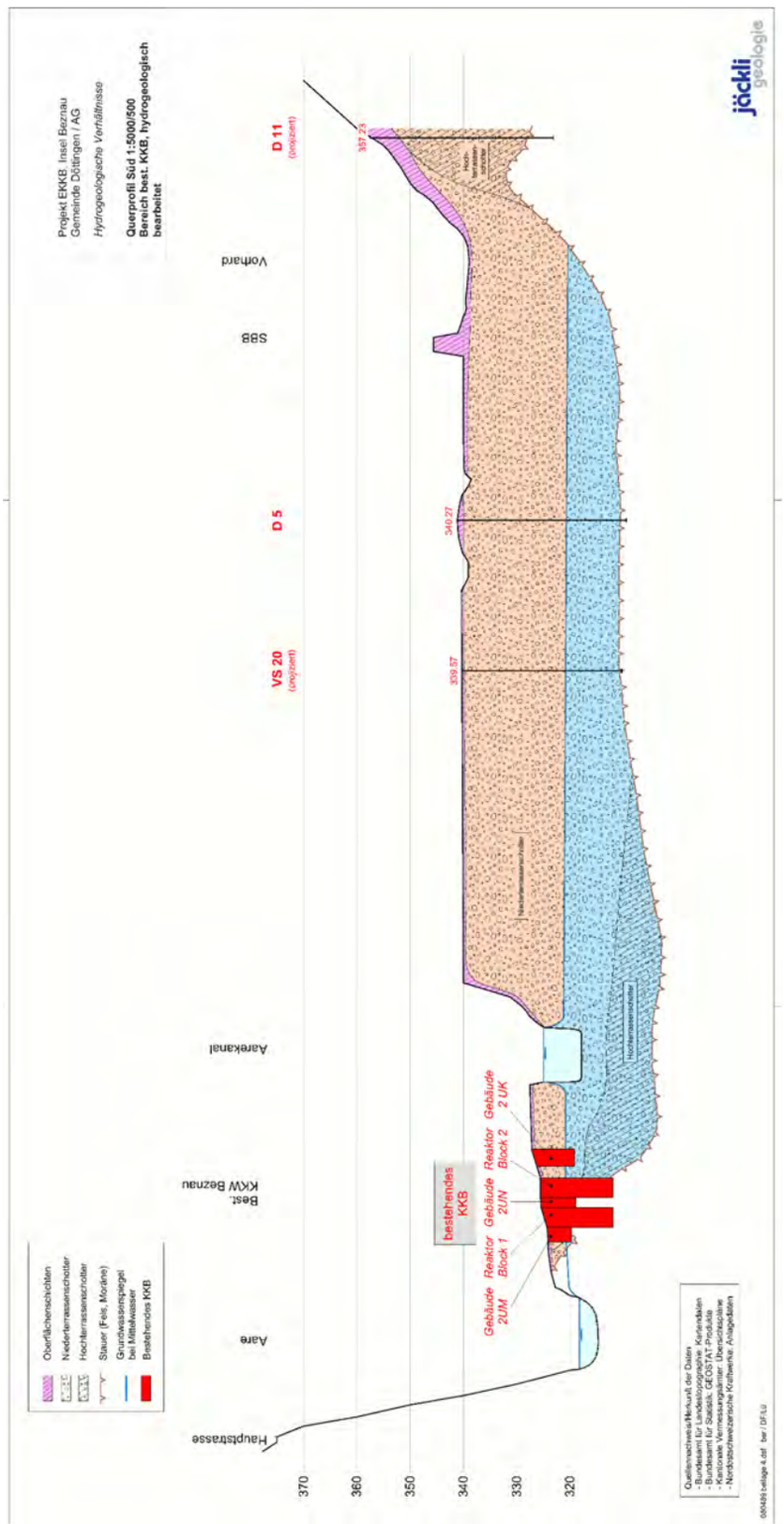
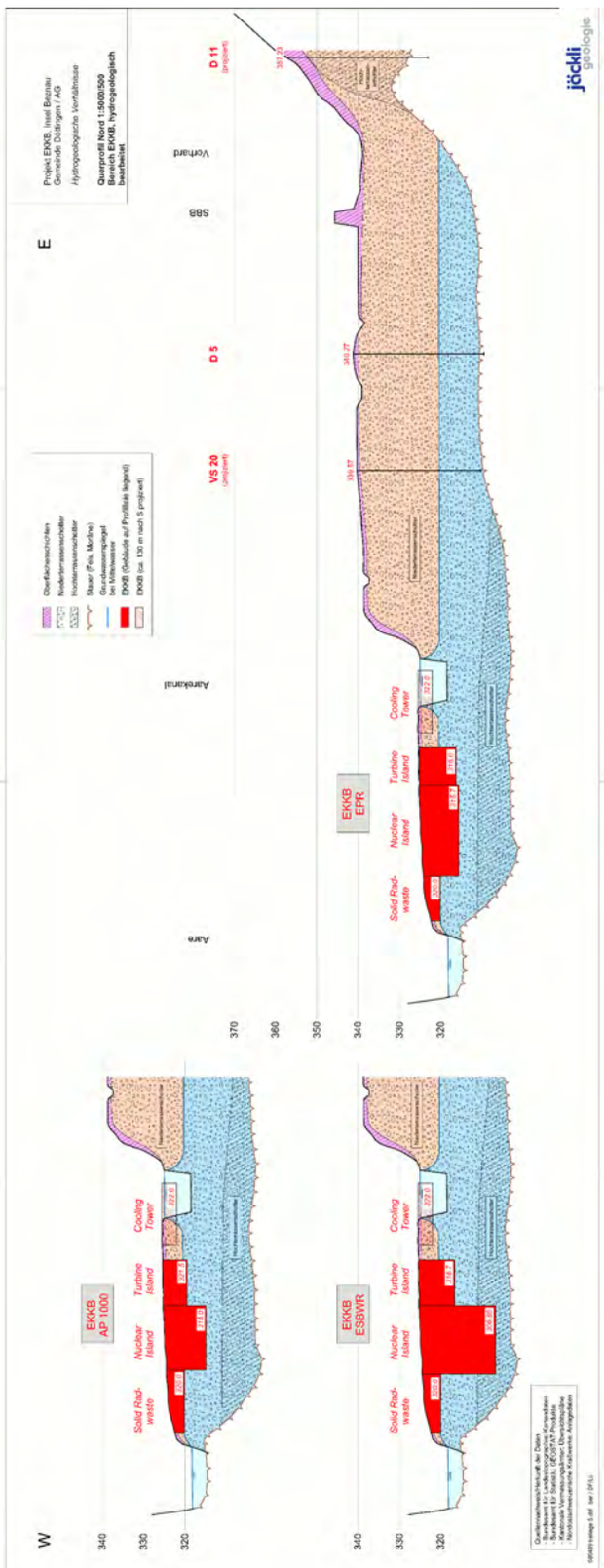


Figure 3.6-17 : Profil transversal de l'EKKB



La densité des informations existantes est très peu homogène puisque l'on dispose de nombreux résultats de sondages sur l'île de Beznau, alors que les données issues des forages de la région située à l'est du canal supérieur sont beaucoup moins nombreuses.

L'aquifère du secteur occidental se compose, dans la partie supérieure, d'alluvions des terrasses basses bien perméables (couche A, tableau 3.6-4) pour lesquelles on a établi, par des calculs d'écoulement, un coefficient de perméabilité moyen k de 4 x 10^{-3} m/s. Pour la partie plus profonde, composée d'alluvions des terrasses hautes (couche A'), on a mesuré une valeur k de 1.5 x 10^{-3} m/s.

Pour le gradient hydraulique des eaux souterraines, une valeur de 2.5 ‰ a été admise pour la plus grande partie de la région, à l'exception de la zone située au sud de l'île de Beznau (KKB existante), où le gradient atteint environ 4‰.

3.6.6.2.2 Effets après la réalisation du projet EKKB

Les calculs (Figure 3.6-16 et Tableau 3.6-4) font apparaître que la centrale existante n'a provoqué qu'une diminution d'à peine 1% de la capacité d'écoulement, mesurée sur la coupe transversale de la vallée.

Tableau 3.6-4 : Données sur la diminution de la capacité d'écoulement

Hypothèse : gradient hydraulique des eaux souterraines (i) constant dans les limites des secteurs	Diminution transversale	Perméabilité	Diminution de la transmissivité de surface	Gradient hydraulique des eaux souterraines, i	Diminution de la capacité de débit	Capacité de débit disponible	Diminution	Diminution existante plus nouvelle
	[m^2]	[m/s]	[m^3/s]		[m^3/s]	[m^3/s]	%	%
Centrale nucléaire existante (profil sud)								
Couche A	101	0.004	0.40	0.0040	0.0016			
Couche A'	69	0.0015	0.10	0.0040	0.0004			
Total			0.50	0.0040	0.0020	0.1863	1	
Nouvelle KKW AP1000 (profil nord)								
Couche A, secteur ouest	30	0.004	0.12	0.0040	0.0005			
Couche A, secteur est	925	0.004	3.70	0.0025	0.0093			
Total			3.82		0.0097	0.2089	5	6
Nouvelle KKW ESBWR (profil nord)								
Couche A, secteur ouest	30	0.004	0.12	0.0040	0.0005			
Couche A, secteur est	2026	0.004	8.10	0.0025	0.0203			
Couche A'	685	0.0015	1.03	0.0025	0.0026			
Total			9.25		0.0233	0.2089	11	12
Nouvelle KKW EPR (profil nord)								
Couche A, secteur ouest	30	0.004	0.12	0.0040	0.0005			
Couche A, secteur est	1486	0.004	5.94	0.0025	0.0149			
Total			6.06		0.0153	0.2089	7	8

Pour trois des variantes de conception de la nouvelle centrale (Figure 3.6-17et Tableau 3.6-4), en tenant compte du gradient hydraulique de la nappe souterraine, les diminutions de la capacité de débit se situent entre 5% et 11%, ce qui donne une diminution totale de 6% à 12% pour les deux centrales réunies (celle qui existe et la nouvelle). Pour ces calculs, on s'est basé sur des hypothèses prudentes quant aux dimensions des bâtiments.

Les types de réacteurs mentionnés et décrits dans ce contexte sont des variantes citées à titre d'exemples et correspondant à l'état actuel de la technique pour des réacteurs nucléaires possibles, mais ils ne reflètent pas une décision préalable quant au choix du type de réacteur ou du fournisseur des installations. Ce choix interviendra lors de la préparation de la demande de l'autorisation de construire, en fonction des exigences légales qui seront alors en vigueur pour l'acquisition d'installations nucléaires.

Selon l'ordonnance sur la protection des eaux (OEaux), annexe 4, ch. 211, al. 4, la capacité d'écoulement des eaux souterraines peut être réduite au maximum de 10%, par rapport à l'état non influencé, par des installations situées aen -dessous du niveau moyen de la nappe souterraine. La variante EPR, qui se base sur les études concernant le refroidissement de secours (productivité), satisfait à cette condition avec 8%.

Au cas où le choix se porterait sur une variante ne répondant pas à la condition susmentionnée, des mesures de compensation appropriées devraient être prises pour respecter la règle des 10%. Pour les autres variantes, le scénario serait à peu près identique à celui de la variante EPR, au pire très légèrement moins bon. Il n'existe donc pas de modifications significatives par rapport aux considérations sur l'alimentation en eau de secours pour les systèmes de refroidissement importants.

3.6.7 Productivité de la nappe souterraine pour le refroidissement de secours

Des essais de pompage ont été réalisés en 1985 afin de déterminer la productivité de la nappe souterraine pour le refroidissement de secours des installations KKB 1 et 2. On a pompé simultanément 260 l/s dans deux puits d'essai. Lors de cette démarche, la productivité de la nappe n'a pas été dépassée. Celle-ci se situe à plus de 300 l/s et même si l'on perd la retenue de Beznau, on peut continuer à prélever 260 l/s sur une longue durée grâce à un puits filtrant horizontal. La disparition supplémentaire de la retenue de Klingnau n'aurait pas non plus d'influence significative sur un puits horizontal.

Pour s'assurer de la productivité de la nappe en cas de besoins supplémentaires en eaux souterraines pour le refroidissement de secours de l'EKKB, on a modélisé et analysé la nappe phréatique.

3.6.7.1 Scénarios modélisés

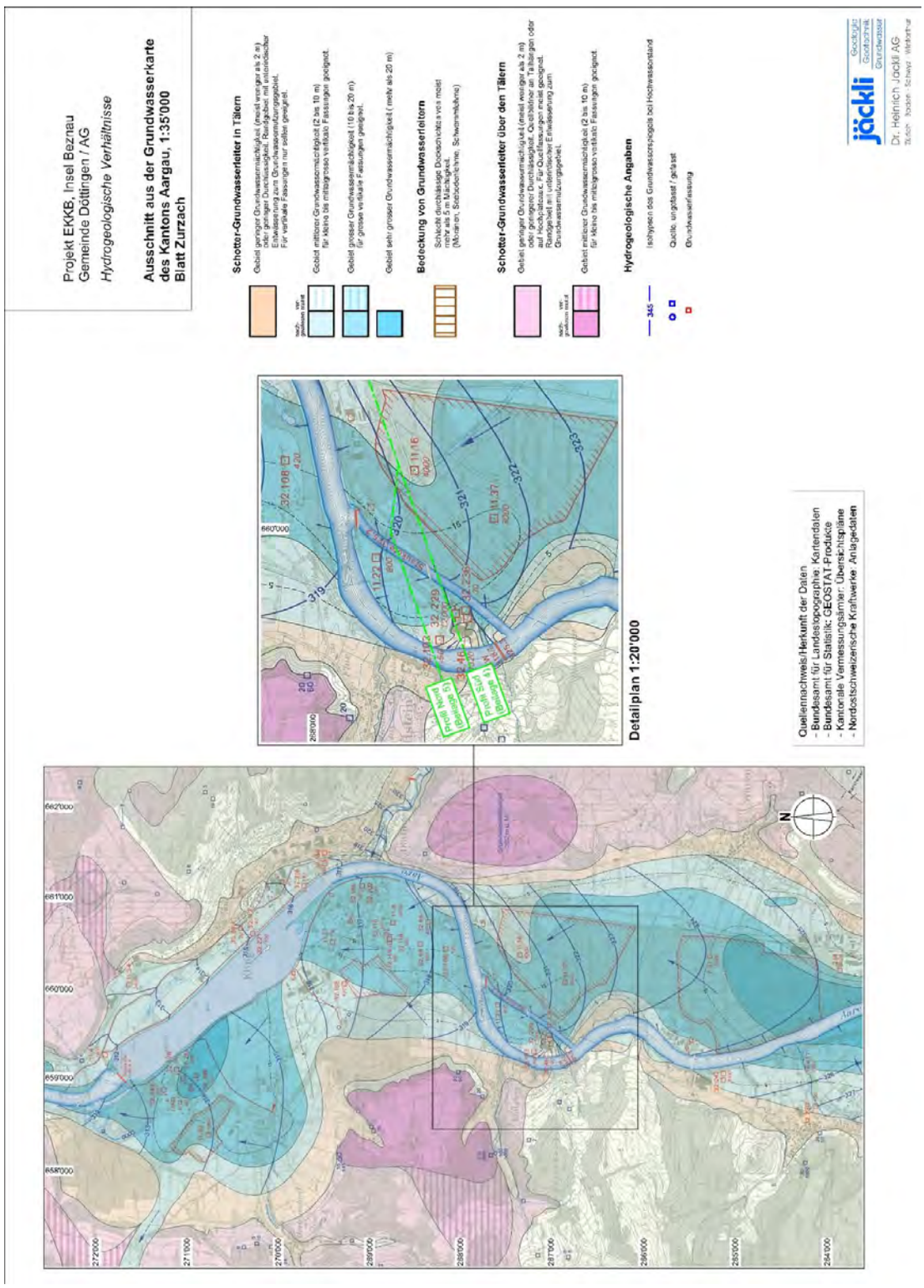
3.6.7.1.1 Modélisation numérique de l'état actuel par moyennes eaux (calibrage)

Dans un premier temps, on a numérisé l'écoulement actuel des eaux souterraines par moyennes eaux.

C'est principalement la carte des eaux souterraines au 1:25 000, feuille de Zurzach, qui a servi de base au calibrage stationnaire du modèle d'écoulement (voir Figure 3.6-18).

On a en outre tenu compte des résultats d'une mesure de référence du niveau de la nappe souterraine effectuée le 11 juillet 2008, mesure qui présente en détail la courbe de la surface des eaux souterraines dans la région de l'île de Beznau. Les nouvelles mesures montrent en aval une possibilité d'écoulement nettement plus marquée que ce qui était indiqué dans la carte au 1:25 000.

Figure 3.6-18 : Extrait de la carte des eaux souterraines du canton d'Argovie



En se basant sur le modèle stationnaire calibré, on a effectué une vérification et validation *instationnaire* sur la base des essais de pompage suivants près de la KKW de Beznau :

- Essais de pompage simple dans les puits d'essai VB1 et VB2 (1981)
- Essai de pompage simultané dans les puits d'essai VB1 et VB2 (1985)
- Essai de pompage dans le puits de secours (1988).

Comme les étapes suivantes de la modélisation se construisent à partir du « modèle de base », la qualité de celui-ci va largement déterminer la fiabilité des résultats des modélisations subséquentes. C'est pourquoi on a comparé les résultats de ce modèle avec les mesures disponibles et on a fait varier les paramètres dans les limites de plausibilité afin d'obtenir la meilleure concordance possible.

3.6.7.1.2 Modélisation numérique de l'état actuel par étiage

La modélisation de l'état actuel tient compte de la situation hydraulique de la centrale hydraulique de Beznau (cote du barrage, profondeur du canal, etc.). Il est prévu de moderniser la centrale. Ces projets de rénovation seront terminés avant le début de la construction de l'EKKB. Toutes les éventuelles modifications des données hydrauliques seront prises en considération lors de la préparation des documents relatifs à la productivité et de la conception des éventuels systèmes de puits nécessaires. Pour le moment, on ne prévoit ni un approfondissement du canal, ni une élévation de la cote du barrage. Les documents qui seront établis pour la demande de l'autorisation de construire tiendront compte de l'état de la centrale hydraulique modernisée.

Les influences sur la capacité d'écoulement des eaux souterraines (voir aussi chapitre 3.6.6.2) sont traitées dans le rapport d'impact sur l'environnement.

A partir de la modélisation de l'état actuel, on a simulé un niveau de basses eaux (BE). Pour ce faire, on a fixé un écoulement bas de l'eau de l'Aar. La perméabilité du lit de l'Aar est restée inchangée.

Les limites à potentiel fixe et les affluents ont été redéfinis en fonction d'un niveau de basses eaux.

3.6.7.1.3 Modélisation numérique de l'état après réalisation du projet EKKB par moyennes et basses eaux

Dans les étapes suivantes, l'état après réalisation du projet EKKB a été modélisé et parmi les trois concepts en discussion, c'est la variante EPR qui a été retenue. Dans ce cas, les cotes des fondations des bâtiments «Nuclear Island» et «Turbine Island» de la future EKKB, qui atteignent une grande profondeur et agissent localement comme obstacles à l'écoulement des eaux souterraines, se trouvent à une altitude d'env. 316 m.

Avec la variante EPR, la réduction de la capacité d'écoulement due aux installations atteint moins de 10%, ce qui fait que le projet serait apte à recevoir une autorisation dans le sens d'une dérogation sans mesures de compensation, selon l'ordonnance sur la protection des eaux. La variante ESBWR entraînerait en revanche une réduction de la capacité d'écoulement de plus de 10% et des mesures de compensation seraient donc exigées. Comme celles-ci ne peuvent pas être fixées à l'heure actuelle, il n'est pas possible d'en tenir compte dans le modèle. Il est à noter

cependant que, du point de vue hydrologique, la variante « ESBWR avec mesures » aurait des effets comparables à la variante EPR. La variante AP1000 provoquerait une moindre réduction de la capacité d'écoulement et aurait ainsi des conséquences moins négatives sur la productivité de l'aquifère.

Pour le refroidissement de secours de l'EKKB, on a admis des besoins en eaux souterraines de 300 l/s. C'est une approximation car les exigences de conception pour une installation future ne sont pas encore connues. On a en outre supposé que pour la KKB 1 et 2 existante, il faut un pompage simultané de 200 l/s dans le puits de secours. Ce taux correspond à la quantité d'eau de la concession. Le système de puits de secours de la KKB 1 et 2 est en fait construit pour une prise d'eau de 160 l/s au maximum. D'autres projets actuellement envisagés dans la KKB pourraient entraîner des besoins très légèrement accrus en eaux souterraines. C'est pourquoi il est possible que les besoins globaux de la KKB dépassent les 200 l/s. C'est le besoin en eaux souterraines actuel de la KKB qui est pris en considération pour établir les documents détaillés relatifs à la productivité de la nappe souterraine, requis pour la demande de l'autorisation de construire.

Le fonctionnement des pompes dans les deux systèmes de puits de secours a été simulé sur une durée de 30 jours. Dans la perspective actuelle, ce besoin cumulé en eaux souterraines de 500 l/s, constant sur une période de 30 jours, constitue une base raisonnable pour l'évaluation de la productivité de la nappe souterraine sur le site.

3.6.7.1.4 Modélisation numérique de la situation particulière « perte de la retenue » (état actuel et état après réalisation du projet)

Lors d'une étape suivante, les effets d'une éventuelle perte de la retenue ont été simulés. Pour cela, les hauteurs du niveau de l'eau de l'Aar ont été saisies dans le modèle pour un état de départ non influencé, tel qu'il était avant la construction de la centrale nucléaire. Les autres conditions aux limites et les données d'entrée du modèle sont restées inchangées.

3.6.7.2 Choix du modèle et données d'entrée

3.6.7.2.1 Choix du modèle numérique de la nappe souterraine

C'est le logiciel «FEFLOW» de la firme WASY GmbH qui a été choisi. Avec ce modèle d'eaux souterraines, l'équation de l'écoulement est résolue de manière itérative selon la méthode de volumes finis. FEFLOW permet un maillage flexible, qui peut donc être adapté aux structures naturelles comme les cours d'eau et les sites des puits. La région modélisée a été découpée en éléments tétraédriques et affinée localement dans des zones significatives. Dans le cas présent, un modèle instationnaire à deux couches est suffisant. La couche supérieure a servi à prendre en compte les bâtiments de la centrale plongeant dans l'aquifère.

Comme la répartition verticale de la perméabilité n'est connue que localement et que l'écoulement sur une grande étendue peut être décrit avec une précision suffisante à l'aide d'une valeur de k moyenne, on a admis que la perméabilité de l'aquifère était constante sur toute la profondeur. De même, le modèle a dû être subdivisé en deux couches afin que les constructions existantes et planifiées de la centrale nucléaire plongeant dans l'aquifère puissent être prises en

compte. Ces constructions agissent en effet comme des obstacles imperméables dans la partie supérieure de l'aquifère.

3.6.7.2.2 Dimensions et maillage du modèle

Le modèle d'eaux souterraines comprend le secteur de la vallée de l'Aar – env. 2 km de large et 6 km de long – qui va de la zone industrielle près de la station de Siggenthal jusqu'au lac de retenue de Klingnau.

L'orientation du modèle suit la direction N-S des coordonnées nationales : celles-ci sont en même temps les coordonnées du modèle. Le modèle totalise 15 000 cellules.

3.6.7.2.3 Données d'entrée du modèle

a) Limites à potentiel fixe

Les limites du modèle au sud et au nord ont été définies comme limites à potentiel fixe, c'est-à-dire avec un niveau piézométrique fixé à l'avance. Les niveaux d'eaux souterraines suivants ont été choisis – basés sur la carte des eaux souterraines et les mesures de niveau de la nappe souterraine disponibles (voir Tableau 3.6-5) :

Tableau 3.6-5 : Niveau de la nappe souterraine

Potentiel à la limite	Affluent (sud)	Effluent (nord)
Moyennes eaux (ME)	env. 325.0 m	316.0 m
Basses eaux (BE)	env. 324.5 m	315.5 m

b) Renouvellement des eaux souterraines par les précipitations et les affluents

Dans la région modélisée, le renouvellement en surface des eaux souterraines par les précipitations a été entré avec un indice de 300 mm par an.

Dans une première approximation, les affluents latéraux ont été estimés sur la base de la grandeur du bassin d'alimentation voisin et d'un taux de renouvellement supposé d'environ 30 cm par an. Dans le cadre du calibrage, une légère adaptation a été apportée. Le long du bord oriental du modèle, les quantités affluentes qui en résultent atteignent env. 2.6 m^3/jour par mètre linéaire, par moyennes eaux, et env. 2.3 m^3/jour par mètre linéaire, par étiage. Au bord nord-ouest du modèle, les affluents atteignent respectivement 1.3 et 1.1 m^3/jour par mètre linéaire.

c) Interaction hydraulique avec l'Aar et le canal de retenue

Les niveaux de l'Aar introduits dans le modèle sont basés sur les résultats des estimations d'écoulement. On a retenu un écoulement moyen de 560 m^3/s pour la modélisation des moyennes eaux et de 243 m^3/s pour celle des basses eaux.

L'interaction hydraulique entre la nappe souterraine et l'Aar est déterminée par la différence de potentiel et par ce que l'on appelle le facteur de détection de fuite (leakage), qui représente la perméabilité du lit de la rivière. Contrairement aux niveaux des eaux et du lit de la rivière que des

mesures permettent de connaître avec précision, le facteur de fuite ne peut pas être mesuré directement.

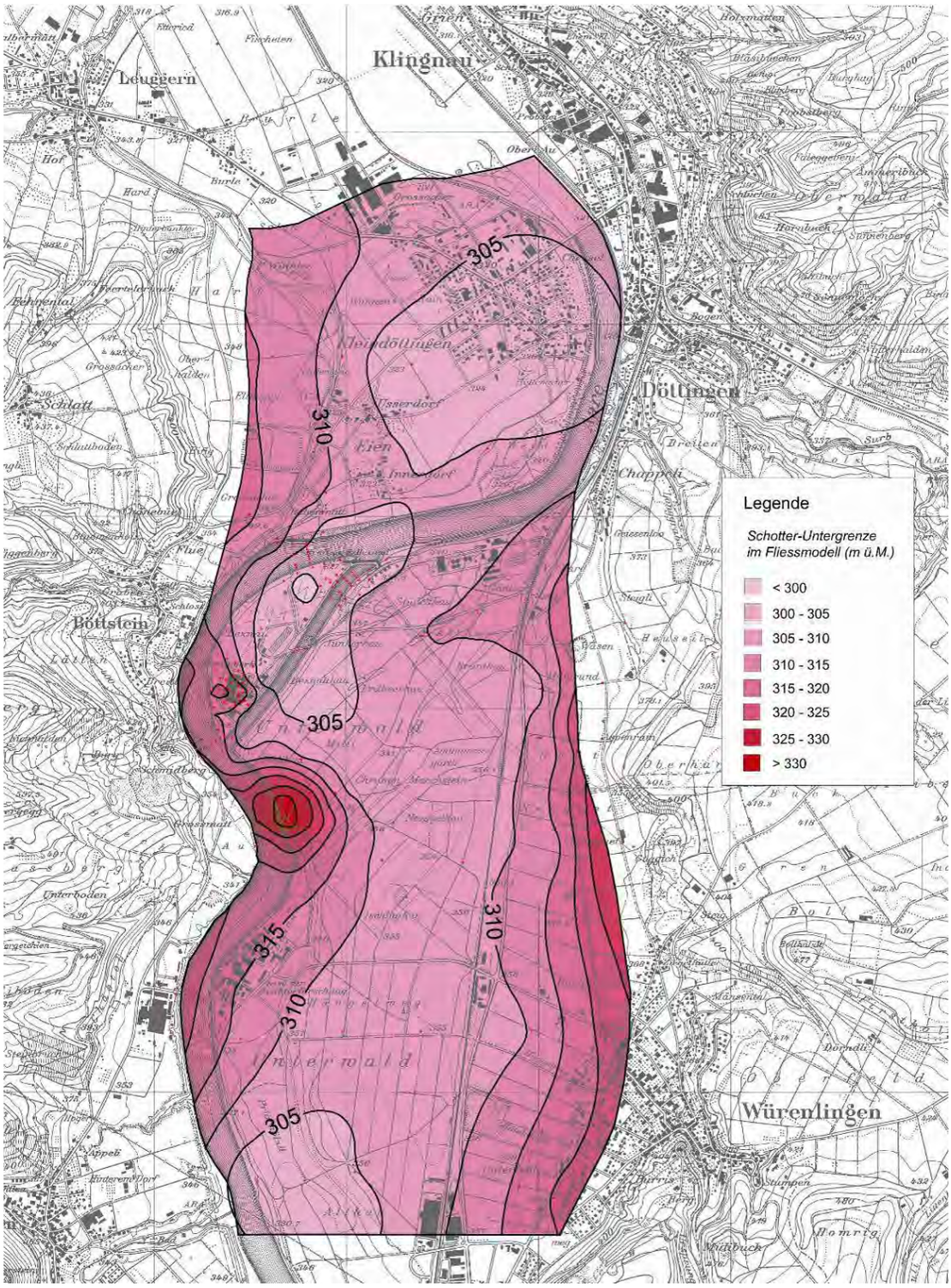
Selon des relevés hydrauliques et hydro-chimiques, on constate une infiltration plus importante dans certains secteurs de la rivière. On admet un colmatage faible à inexistant dans ces zones, ce qui a conduit, dans une première approche, à introduire dans ces secteurs des valeurs plus élevées pour le facteur de fuite.

L'importance « effective » du facteur de fuite doit être déterminée de façon indirecte, c'est-à-dire itérativement à partir de l'étalonnage du modèle. Pour cela, on a choisi une limite minimale et maximale et on a pris le résultat de chaque étape de l'itération comme valeur de départ pour le calcul suivant. Le processus a été répété jusqu'à ce que la solution ne puisse plus être améliorée. Les éléments déterminants pour l'interpolation numérique ont été les courbes isopiéziques, l'abaissement mesuré pendant les essais de pompage et l'évolution dans le temps des courbes d'abaissement correspondantes.

d) Fond de l'aquifère

Sur la base des forages disponibles, le fond de l'aquifère alluvial a été interpolé en trois dimensions selon la méthode de Kriging, au moyen d'un programme informatique, et retravaillé manuellement en fonction du tracé général de la vallée. Le fond de l'aquifère et la surface de l'aquifuge introduits dans le modèle sont présentés sous forme d'isohypses à la Figure 3.6-19.

Figure 3.6-19 : Isohypses de la surface rocheuse / de la limite inférieure des alluvions



e) Porosité

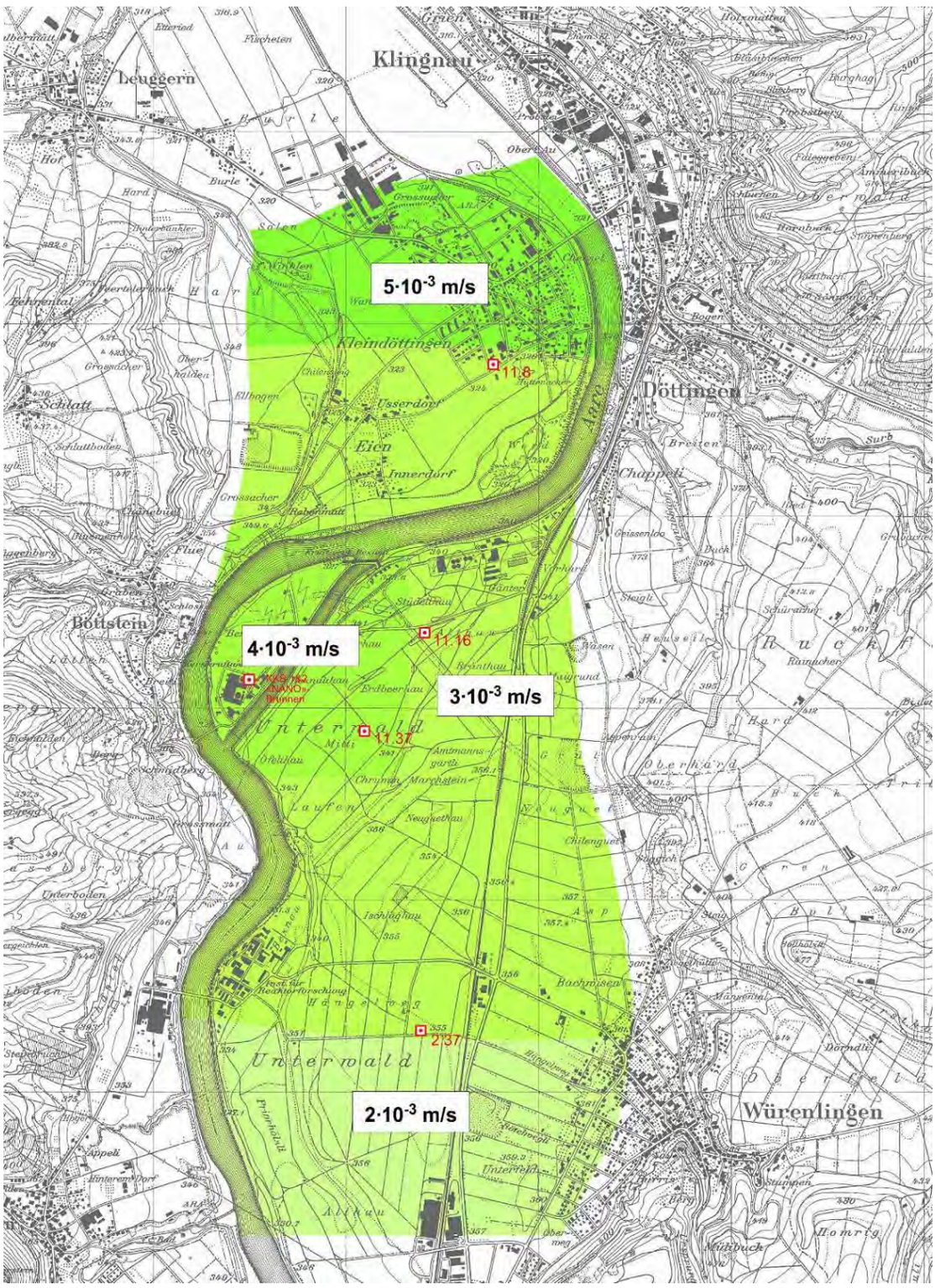
Pour la porosité effective ou utile de l'aquifère alluvial, une valeur unique de n_{eff} = 0.15 a été utilisée dans l'ensemble de la région modélisée.

f) Perméabilité de l'aquifère

Divers essais de pompage ont déjà été effectués dans le passé dans la région modélisée. Les coefficients de perméabilité k fournis alors oscillaient entre env. 1 x 10^{-3} et 1 x 10^{-2} m/s. L'essai de pompage effectué en 1981 dans le puits VB1 sur l'île de Beznau a donné un coefficient de perméabilité k de 5.2 x 10^{-3} m/s (valeur k du profil). L'essai de pompage suivant dans le puits VB2 (k = 2.6 x 10^{-3} m/s) est moins représentatif car celui-ci n'était alors probablement pas assez bien désensablé.

Au début, des perméabilités de k = 3 x 10^{-3} m/s, identiques partout, ont été utilisées dans le modèle. Mais il est apparu, lors des calculs, qu'avec une répartition homogène de la perméabilité, les hauteurs du niveau des eaux souterraines et les gradients hydrauliques ne pouvaient être simulés que de façon insatisfaisante. Le resserrement du profil d'écoulement au sud du lac de retenue de Klingnau, notamment, exigeait des perméabilités localement plus élevées (k = 5 x 10^{-3} m/s) pour obtenir des résultats plausibles dans le modèle. Les perméabilités ont en outre été augmentées à k = 4 x 10^{-3} m/s dans la région de l'île de Beznau et réduites à k = 2 x 10^{-3} m/s au sud. Ces adaptations locales de la valeur k concordent en général bien avec les coefficients de perméabilité fournis par les essais de pompage. La distribution des perméabilités choisies est présentée à la Figure 3.6-20.

Figure 3.6-20 : Répartition des valeurs de perméabilité dans le modèle



Dans le modèle, on a renoncé à une différenciation verticale de l'aquifère dans les alluvions des terrasses hautes – un peu moins perméables – et dans celles des terrasses basses – plus perméables – car les données ne sont suffisantes qu'en peu d'endroits.

g) Prélèvements existants d'eau souterraine

Les prélèvements d'eau réguliers effectués par les grands captages ont également été pris en compte dans le modèle. Les prélèvements annuels moyens de 1998 à 2007 ont été utilisés pour les stations de pompage suivantes (SP) :

- SP Beim Schulhaus (concess. n° 11.8), Böttstein[40] ; Q = 870 l/min
- SP Unterwald (concess. n° 11.16), Döttingen[40],[41] Q = 1120 l/min
- SP Unterwald (Concess. n° 11.37), NOK[42] ; Q = 670 l/min
- SP Am Hängelweg (Concess. n° 2.37), Würenlingen[42] ; Q = 1385 l/min

Les données ont été déduites des prélèvements annuels moyens. Lorsque la situation l'exige, la quantité prélevée peut être plus importante ou plus faible pour le puits de secours.

Il est actuellement question de déplacer la station de pompage de l'Unterwald (concess. n° 11.16) de la commune de Döttingen. L'exploitation d'un captage de remplacement non loin du site actuel, avec la même quantité de prélèvement, n'aurait aucun effet sur la vaste nappe souterraine. Un déplacement éventuel de la SP Unterwald en direction du sud à sud-est n'entraînerait de même aucune modification des résultats des calculs – décrits au chapitre suivant – pour le refroidissement de secours sur l'île de Beznau.

3.6.7.2.4 Résultats des calculs du modèle

a) Etat actuel par moyennes eaux

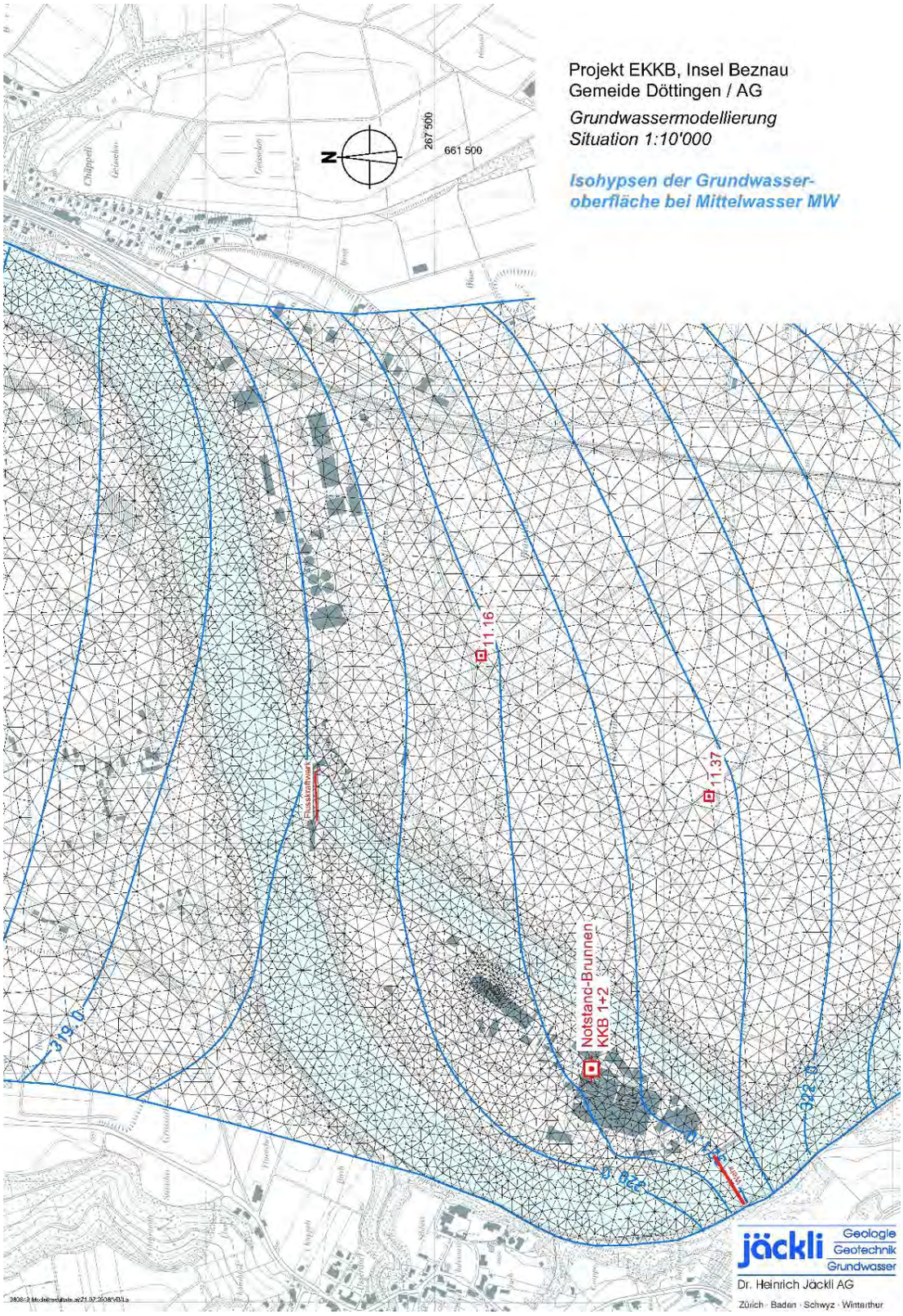
Le résultat de la simulation hydraulique « état actuel » est représenté à la Figure 3.6-21.

[40] Q correspond au prélèvement annuel moyen.

[41] On examine actuellement un déplacement de la SP Unterwald (concess. n° 11.16), Döttingen.

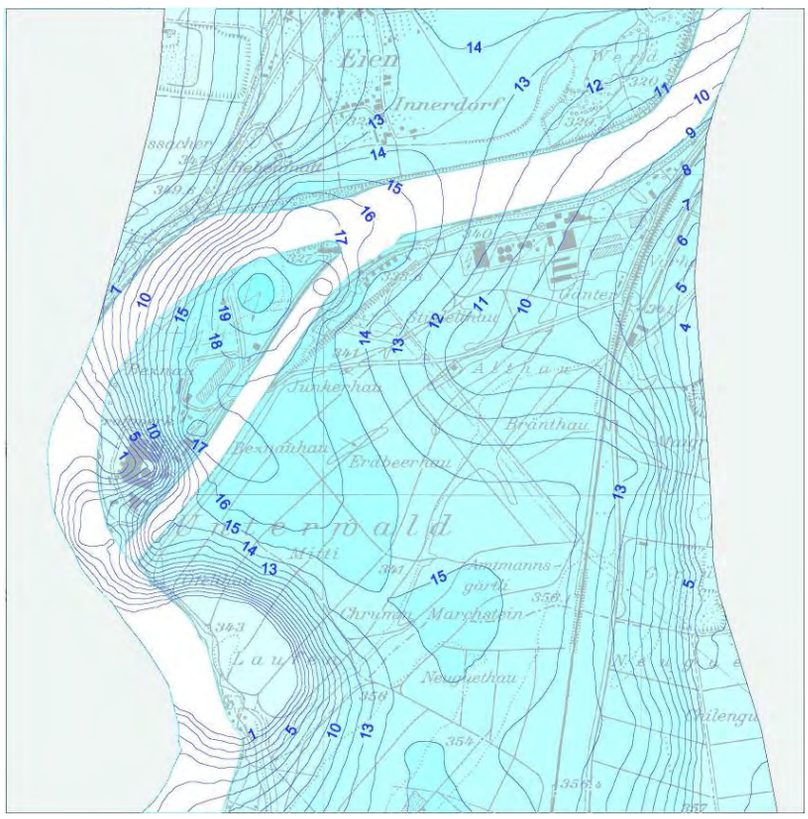
[42] Q correspond à env. 20% de la quantité de la concession.

Figure 3.6-21 : Résultats de l'analyse du modèle hydraulique



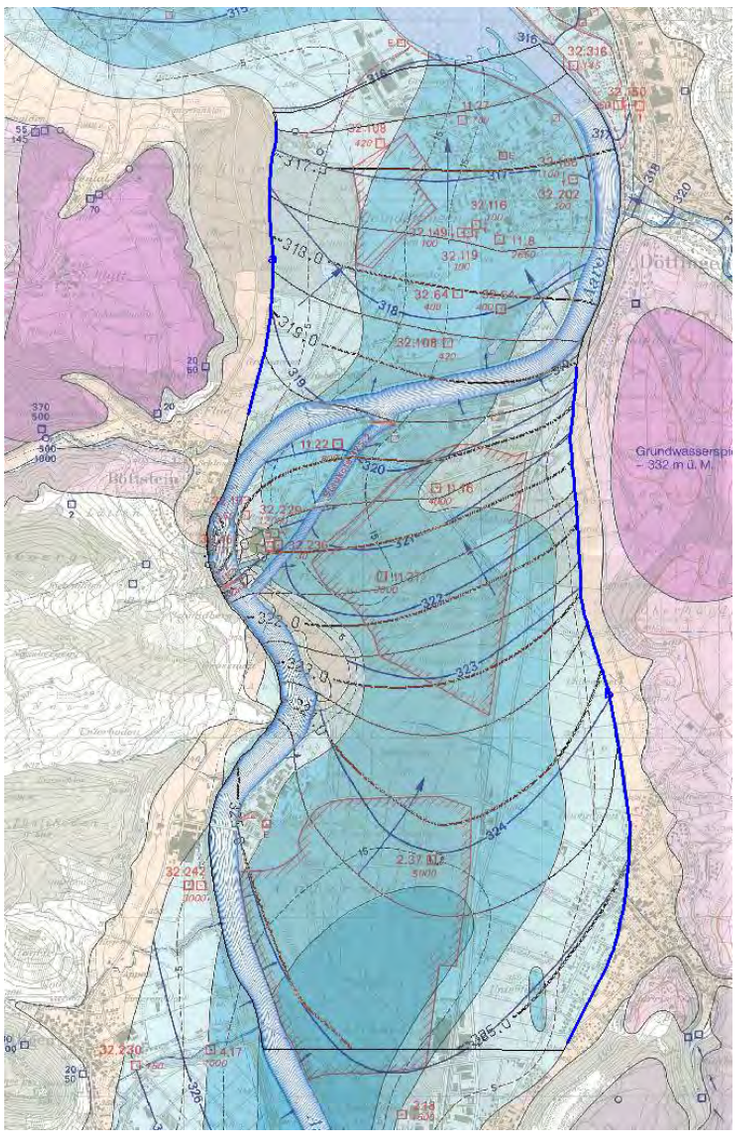
En complément, la Figure 3.6-22 présente l'épaisseur utile de la nappe souterraine dans la région de l'île de Beznau par moyennes eaux, sur la base des calculs du modèle.

Figure 3.6-22 : Épaisseur de la nappe souterraine par moyennes eaux, selon le modèle, dans la région de l'île de Beznau



La Figure 3.6-23 montre les isopièzes de la surface de la nappe souterraine par moyennes eaux selon le modèle en comparaison avec la carte des eaux souterraines (extrait de la Figure 3.6-18). La surface des eaux souterraines calculée présente une bonne concordance avec la carte (calibrage régional). Dans les paragraphes suivants, on montrera qu'en outre les entonnoirs piézométriques constatés pendant les essais de pompage ont eux aussi pu être bien modélisés (instationnaires, calibrage local).

Figure 3.6-23 : Isopièzes de la surface de la nappe souterraine par moyennes eaux selon le modèle (en noir), en comparaison avec la carte des eaux souterraines (en bleu). Voir aussi Figure 3.6-18



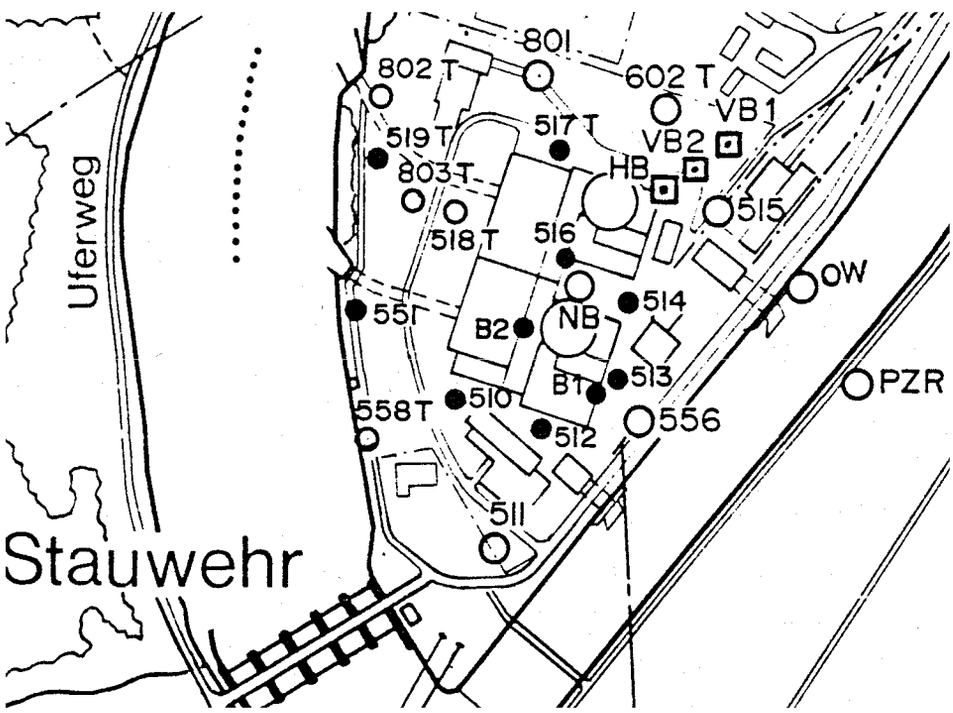
Essais de pompage isolés dans les puits d'essai VB1 et VB2 (1981)

Des essais de pompage d'une durée de 10 et 7 jours respectivement ont été effectués en septembre 1981 dans les deux puits d'essai sur l'île de Beznau (pour les emplacements, voir la Figure 3.6-25) Dans les deux cas, les quantités prélevées ont été poussées jusqu' à 83 l/s, puis ont été maintenues constantes pendant quelques jours. Dans le puits VB1, le prélèvement de cette quantité d'eau a entraîné une baisse du niveau de la nappe souterraine d'environ 1 m seulement. Il est intéressant de constater que dans le puits VB2, le niveau de la nappe souterraine s'est abaissé de 3.1 m. Comme mentionné plus haut, le puits filtrant VB2 n'avait probablement pas été désensablé correctement au début. Une analyse de la baisse du niveau de l'eau dans les tubes d'observation situés aux environs montre d'ailleurs que ceux-ci se trouvent dans le même cadre

que l'essai de pompage dans le puits VB1. L'abaissement simulé n'est de ce fait comparé qu'avec l'essai de pompage de VB1.

Le calcul du modèle fait apparaître un abaissement de presque 1.5 m pour VB1 et peut ainsi être considéré comme une hypothèse prudente en comparaison avec les mesures. Dans les tubes d'observation, l'évolution dans le temps de la baisse du niveau de la nappe souterraine – mesurée et simulée – est comparable.

Figure 3.6-24 : Carte au 1:5000 avec emplacements du puits Nano (HB), du puits de secours (NB), des puits d'essai VB1 et VB2, ainsi que des points d'observation



Essai de pompage simultané dans les puits VB1 et VB2 (1985)

Avant le début du pompage, le puits d'essai VB2 a été à nouveau désensablé à l'aide de chocs, ce qui a conduit à une meilleure productivité et à un abaissement du niveau de la nappe souterraine nettement plus faible que ce qui avait été mesuré en 1981. Les quantités prélevées dans les puits VB1 et VB2 ont été augmentées par étapes jusqu'à un total simultané de 260 l/s d'eau souterraine. On a mesuré un abaissement d'env. 3.4 m dans VB1 et de 4.7 m dans VB2. Le modèle restitue un abaissement d'env. 4.2 m pour les deux puits VB1 et VB2.

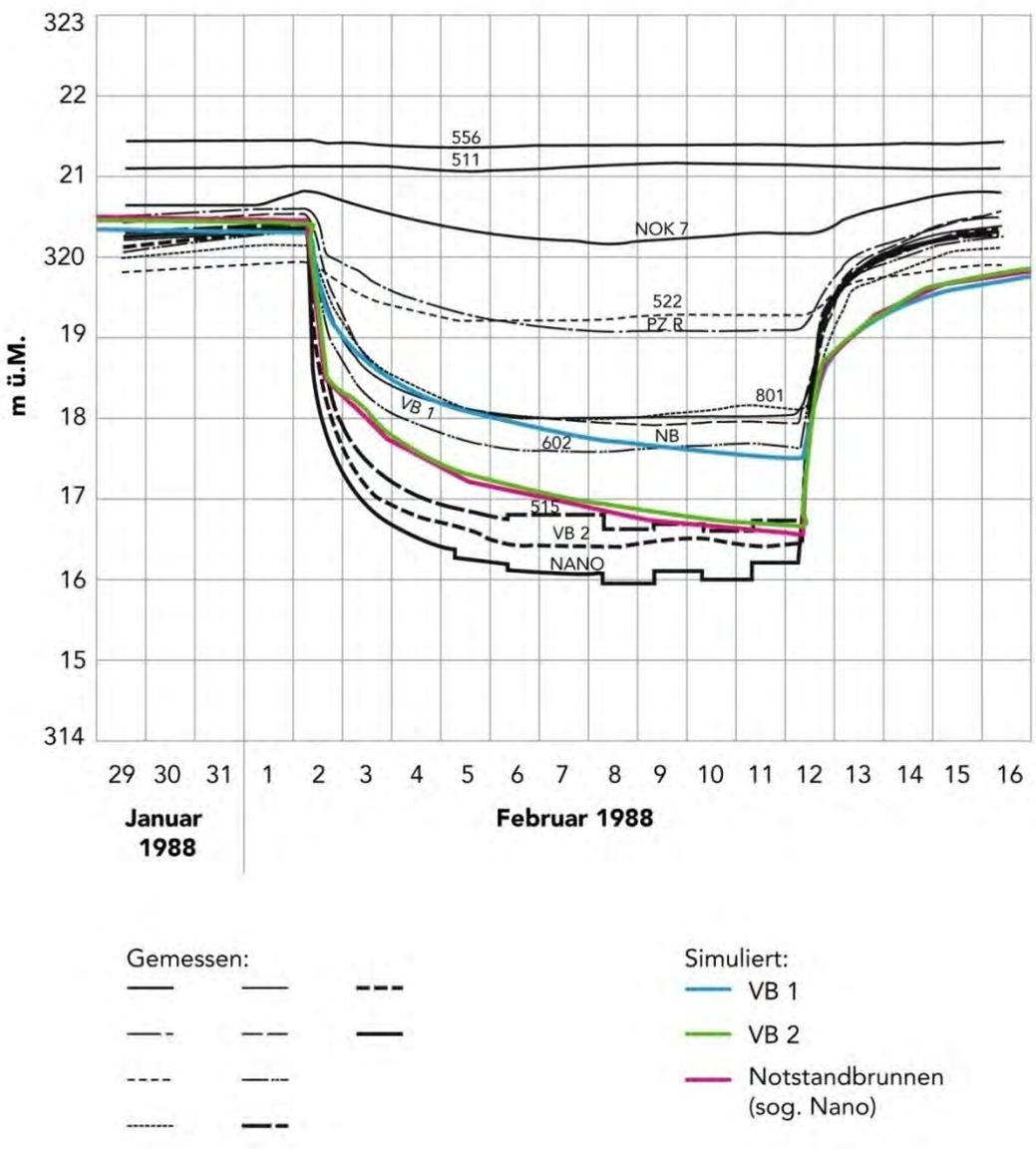
Essai de pompage dans le puits de secours (1988)

En 1987, un puits filtrant horizontal a été construit un peu au sud-ouest du puits d'essai VB2 pour l'alimentation en eau de secours de la KKB 1 et 2. Pour réaliser le maillage, on a tenu compte de la situation, de la géométrie et du nombre des lignes des filtres horizontaux. Le puits filtrant horizontal se définit par plusieurs puits sur des nœuds le long de ces lignes.

En février 1988, la productivité du puits a été testée par un pompage d'une durée de dix jours. Le taux de prélèvement était d'env. 240 l/s. Le niveau de l'eau s'est abaissé d'env. 4.0 m et a atteint un seuil de quasi stabilité dès le septième jour. Dans le VB2, qui se trouve à proximité immédiate des lignes des filtres horizontaux du puits Nano, on a mesuré un abaissement de 4.0 m. Celui-ci correspond à l'abaissement effectif du niveau de la nappe souterraine dans la zone proche du puits filtrant horizontal. Dans le puits VB1, situé à env. 25 m au nord-est, un abaissement de 2.5 m a été constaté et l'état quasi stationnaire a aussi été atteint étonnamment rapidement en quatre ou cinq jours (Figure 3.6-25).

Dans le modèle, un abaissement un peu plus marqué résulte d'une durée de pompage de dix jours dans le VB1, alors que dans le VB2, le niveau de l'eau ne s'est pas encore tout à fait abaissé jusqu'au niveau correspondant aux anciennes mesures. Selon les calculs du modèle, l'état de stabilité n'est pas encore atteint après dix jours. Pour l'état d'abaissement stationnaire, le modèle indique un abaissement d'env. 3.0 m dans le VB1 et de 4.0 m dans le VB2. L'abaissement aux abords immédiats du puits filtrant horizontal concorde ainsi exactement avec les valeurs mesurées, alors que selon la simulation, le niveau de l'eau dans le VB1 est abaissé d'env. 0.5 m de plus.

Figure 3.6-25 : Essai de pompage de dix jours dans le puits de secours en février 1988 (Q = 240 l/s), comparaison entre les courbes mesurées et simulées du niveau de la nappe souterraine



Remarque : le graphique montre d'une part l'évolution du niveau de la nappe souterraine mesuré à l'époque dans le puits de secours de la KKB, ainsi que dans les tubes d'observation, y compris les puits d'essai VB1 et VB2 (en noir), d'autre part l'évolution simulée dans le puits de secours VB1 ou VB2 (en couleur).

Bilan

La concordance des résultats du modèle avec ceux des mesures fournies par les trois essais de pompage est en partie très bonne, un peu moins pour le gradient de l'abaissement du niveau. Comme le scénario du modèle prévoit, en sus du pompage dans le nouveau puits de secours de l'EKKB, un prélèvement simultané dans le puits de secours actuel de la KKB 1 et 2, on a cherché à reproduire le mieux possible l'essai de pompage de 1988.

Le modèle fait apparaître un abaissement décalé dans le temps par rapport aux résultats de mesure fournis à l'occasion de l'essai de pompage et l'état de stabilité n'est pas encore atteint après dix jours (voir Figure 3.6-25). Dans le modèle, un abaissement comparable se manifeste dans le puits de prélèvement et à proximité pour l'état final quasi stationnaire. Les courbes d'abaissement sont en revanche un peu plus plates, d'où des abaissements de niveau un peu plus importants aux alentours.

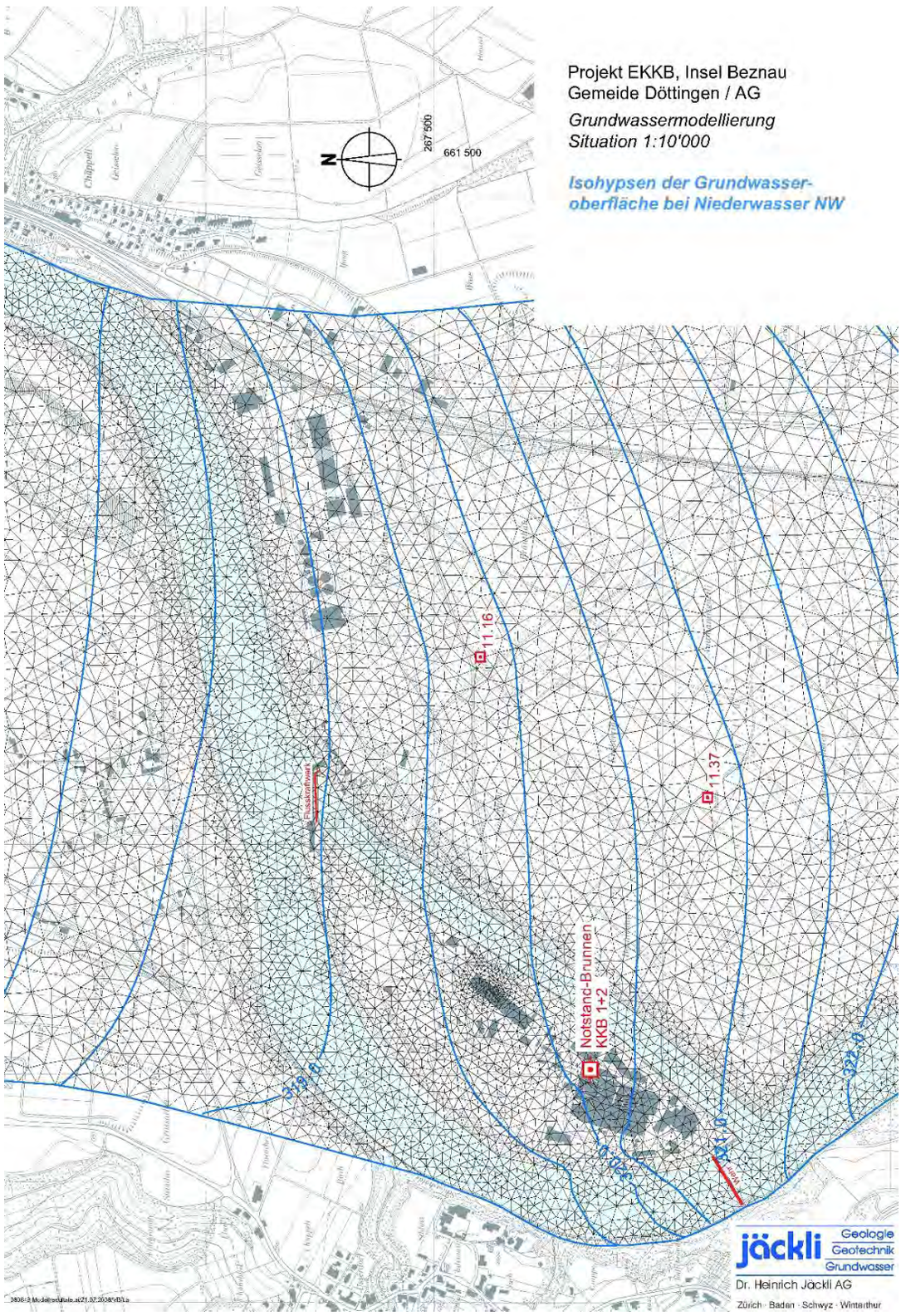
b) Etat actuel par étiage

La Figure 3.6-26 présente les résultats de la simulation hydraulique par étiage. On ne dispose pas de mesures comparatives pour les basses eaux de la nappe souterraine. Des séries de mesures sur une longue période sont en revanche disponibles pour les captages Am Hängelweg, Unterwald et Beim Schulhaus. Ci-dessous (voir Tableau 3.6-6) les niveaux des basses eaux (BE) mesurés jusqu'à maintenant dans les captages mentionnés sont mis en parallèle avec les niveaux des BE calculés dans le modèle de la nappe souterraine.

Tableau 3.6-6 : Comparaison des niveaux mesurés et modélisés des basses eaux

	BE mesurées	BE modélisées
SP Am Hängelweg	env. 323.6 m	env. 323.8 m
SP Unterwald	env. 319.9 m	env. 319.8 m
SP Beim Schulhaus	env. 317.1 m	env. 317.0 m

Figure 3.6-26 : Isopièzes de la surface de la nappe souterraine par étiage



c) Etat après réalisation du projet avec refroidissement de secours

Une autre phase de travail a consisté à intégrer au modèle la variante de projet basée sur l'EPR.

Le nouveau puits filtrant pour l'EKKB a été placé au sud-est de la « Turbine Island » et un besoin en eaux souterraines de 300 l/s a été admis. Dans le modèle, le puits a été conçu comme un puits filtrant horizontal semblable au puits de secours actuel KKB 1 et 2.

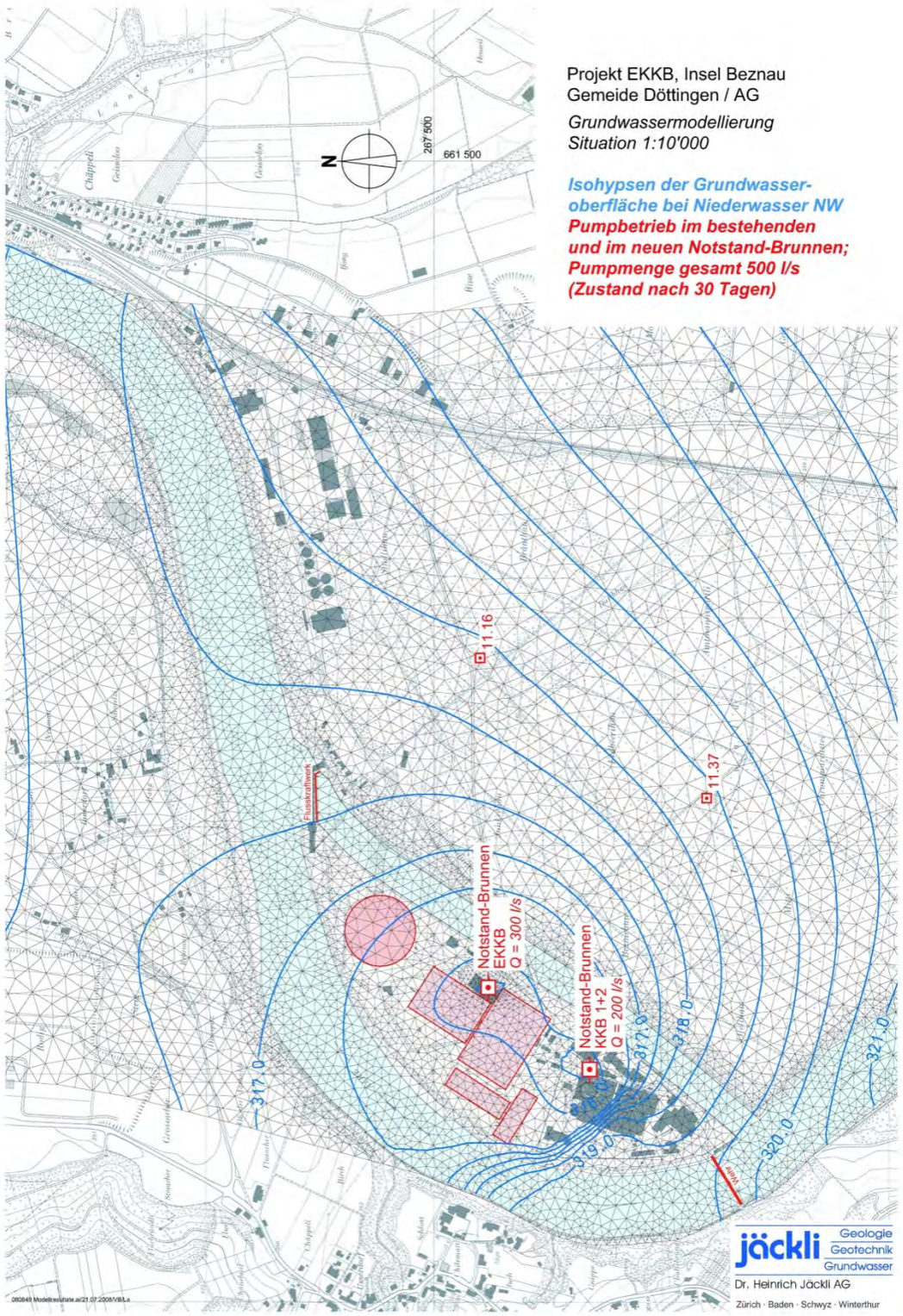
Parallèlement au pompage près de l'EKKB, mentionné ci-dessus, on a déterminé un prélèvement de 200 l/s dans le puits de secours existant pour la KKB 1 et 2.

Les taux de pompage ont été simulés sur une durée de trente jours. Ce sont donc des hypothèses très prudentes qui sous-tendent les calculs du modèle puisque cette quantité ne doit être disponible que durant quelques jours au début du refroidissement de secours et que les besoins en eau diminuent peu à peu par la suite.

Modélisation des moyennes eaux

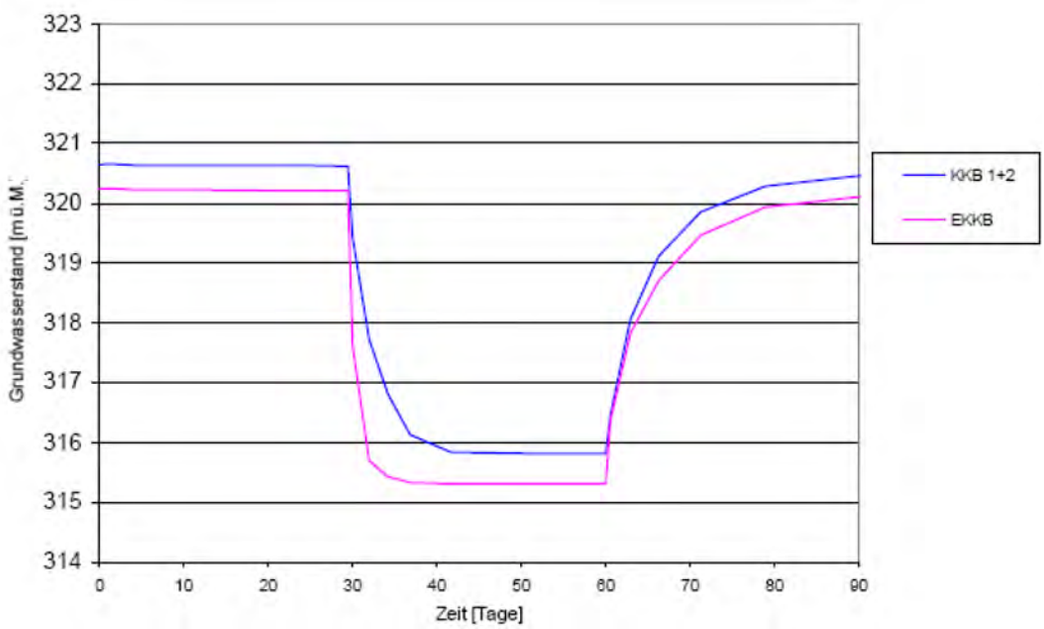
Selon les résultats des calculs, il est possible de fournir sans problème, avec les deux puits filtrants, la capacité exigée de 300 l/s ou 200 l/s, sur une durée de trente jours. La Figure 3.6-27 présente l'image isopiézique de la surface de la nappe souterraine après trente jours.

Figure 3.6-27 : Isopièzes de la surface de la nappe souterraine par moyennes eaux et fonctionnement de secours après 30 jours (500l/s)



L'abaissement consécutif du niveau de l'eau est pratiquement identique dans les deux puits de secours et atteint env. 4.9 m (voir figure Figure 3.6-28).

Figure 3.6-28 : Courbes du niveau de la nappe souterraine dans les puits de secours (état moyennes eaux après réalisation du projet)



Dans les deux stations de pompage de l'Unterwald, proches l'une de l'autre (concess. n°11.37 et 11.16, voir Figure 3.6-27), le niveau de l'eau souterraine s'abaissera d'env. 1.3 ou 0.9 m au maximum après trente jours de pompage. Cet abaissement comparativement peu important n'entraînera aucune limitation notable dans le fonctionnement des deux stations de pompage.

Selon le modèle, dans les conditions de moyennes eaux naturelles, l'eau de l'Aar provenant du canal supérieur s'infiltre dans la nappe souterraine à raison d'env. 40 l/s. Pendant le pompage, avec un prélèvement total de 500 l/s dans les deux puits filtrants, les pertes d'eau du canal s'élèvent à environ 55 l/s. La hausse consécutive des taux d'infiltration de 15 l/s est modeste si on la compare avec la quantité pompée.

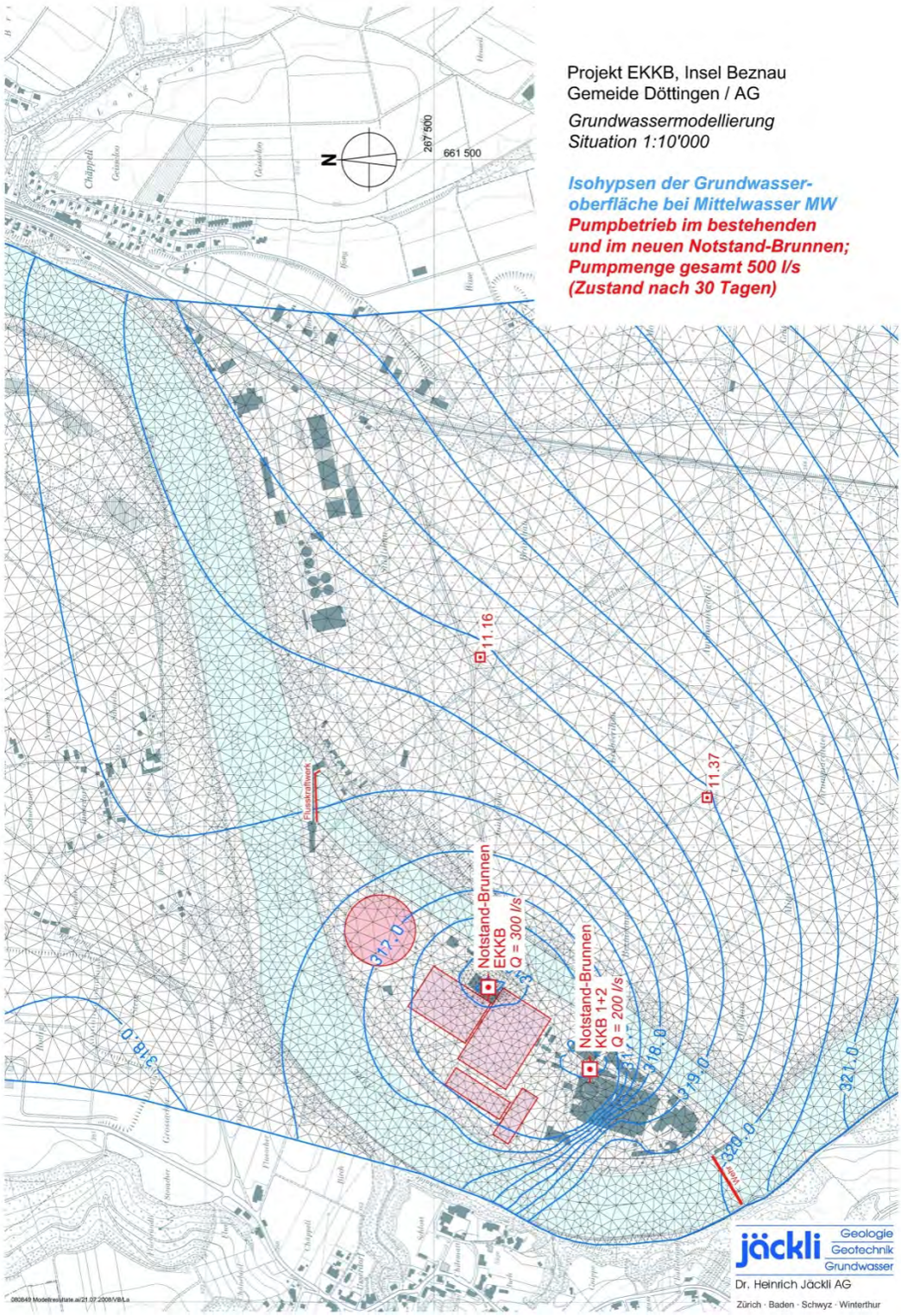
Comme déjà mentionné, il faut admettre un effet marqué d'exutoire de l'Aar en aval du barrage de retenue en raison du tracé des isopièzes des eaux souterraines dans la région de l'île de Beznau. Dans le secteur d'à peine 1.5 km de long entre le barrage et la centrale au fil de l'eau de Beznau, ce sont env. 135 l/s d'eau qui, selon le modèle, sont exfiltrés par moyennes eaux.

Du fait du pompage – avec un prélèvement total de 500 l/s dans les deux puits de secours – le niveau de la nappe souterraine est abaissé en aval en dessous du niveau d'étiage. Il en résulte une inversion de l'interaction entre l'Aar et les eaux souterraines, ce qui fait que l'eau de l'Aar peut alors s'infiltrer dans la nappe souterraine. Comme le colmatage du fond de l'aquifère offre une résistante plus forte à l'infiltration qu'à l'exfiltration, le facteur de fuite (leakage) a été diminué d'env. 50% pour le processus d'infiltration par rapport à l'exfiltration, qui se fait de manière naturelle, notamment via les flancs très perméables des zones riveraines. Selon le modèle, le taux d'infiltration est d'env. 105 l/s. La majeure partie de l'eau souterraine prélevée correspond à un afflux d'eau souterraine « véritable » provenant de l'aquifère souterrain en amont.

Modélisation de l'étiage

Dans un deuxième temps, on a examiné si les taux de prélèvement nécessaires pouvaient aussi être fournis pendant l'étiage (voir Figure 3.6-29). Selon le modèle, le niveau d'eau dans le puits de secours existant s'abaisserait de 4.3 m et il faudrait compter avec un abaissement d'env. 4.0 m dans le puits filtrant planifié de l'EKKB.

Figure 3.6-29 : Isopièzes de la surface de la nappe souterraine par étiage et fonctionnement de secours après 30 jours (500 l/s)



Selon le modèle, l'infiltration provenant du canal supérieur est d'env. 44 l/s en situation naturelle de basses eaux. La quantité infiltrée, légèrement plus importante si on la compare aux moyennes eaux, s'explique par le fait que l'intensité de l'infiltration est essentiellement déterminée par la différence entre le niveau de la nappe souterraine et celui des eaux fluviales. En conditions d'étiage, la quantité d'infiltration de l'Aar est légèrement plus importante en raison de la différence de potentiel plus importante.

Lors du pompage – avec un prélèvement de 300 l/s ou 200 l/s, sur une durée de trente jours – les pertes d'eau du canal augmentent d'env. 12 l/s pour atteindre 56 l/s. De plus, dans le secteur en aval, l'eau de l'Aar s'infiltrerait dans les eaux souterraines à raison de 130 l/s.

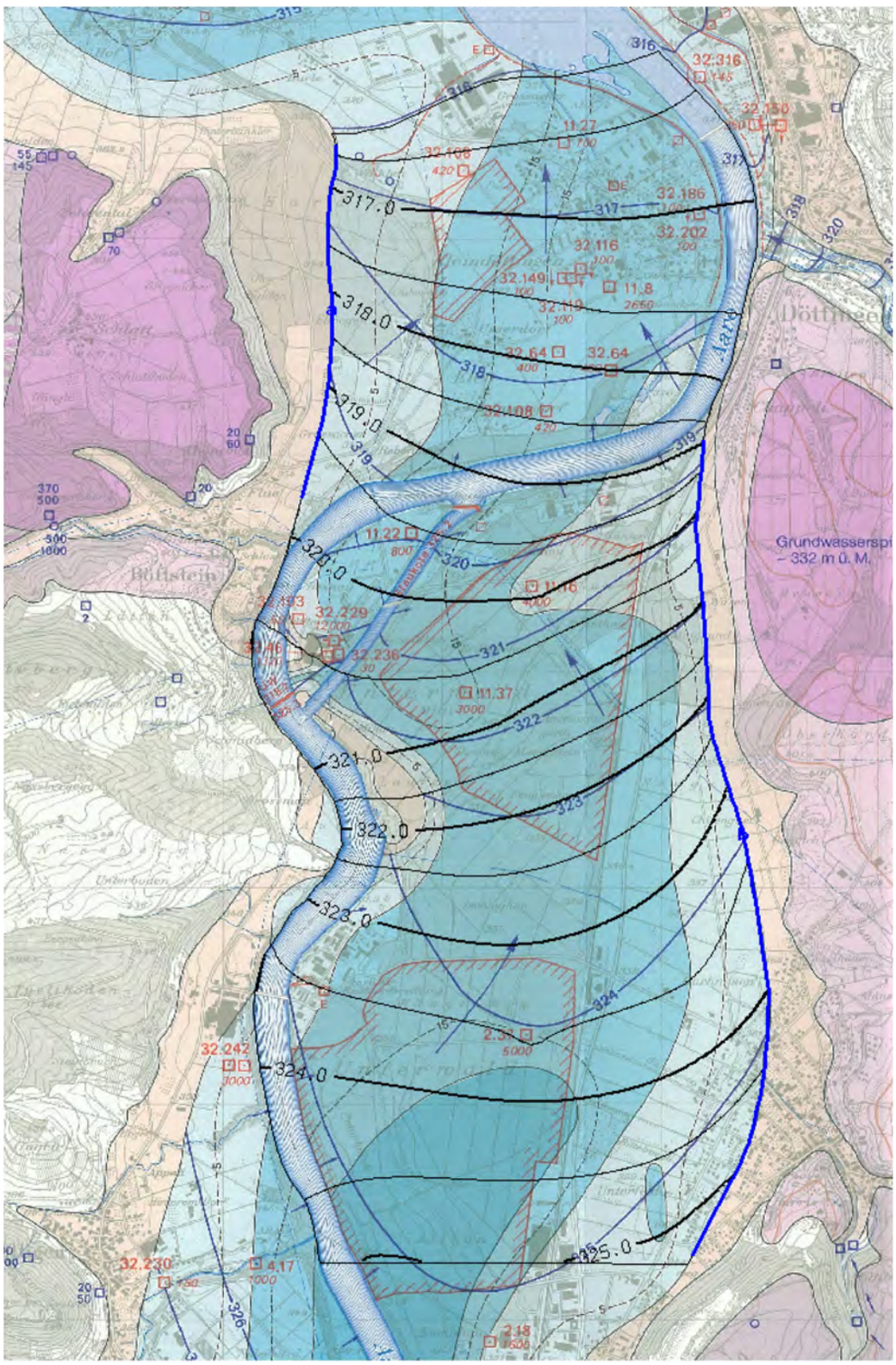
d) Cas particulier : disparition de la retenue

Dans une dernière phase, on a simulé les effets dus à la disparition de la retenue et on a cherché à savoir si les quantités d'eau nécessaires à l'alimentation de secours seraient encore disponibles dans ce cas.

Etat actuel

Selon les résultats de la simulation, ce scénario se solde par une baisse du niveau de la nappe souterraine en amont de la retenue, due à une infiltration moins importante de l'Aar. Dans la région de l'île de Beznau, l'eau du canal ne s'infiltre plus et les seules infiltrations proviennent de l'Aar. L'effet d'exutoire actuel en aval disparaît en grande partie, ce qui entraîne des modifications de l'écoulement dans la zone de la centrale. En dessous de la retenue, dans la partie nord du modèle, la surface de la nappe souterraine resterait à peu près identique. La Figure 3.6-30 montre l'image isopiézique simulée en cas de perte de la retenue en comparaison avec l'état actuel selon la carte des eaux souterraines.

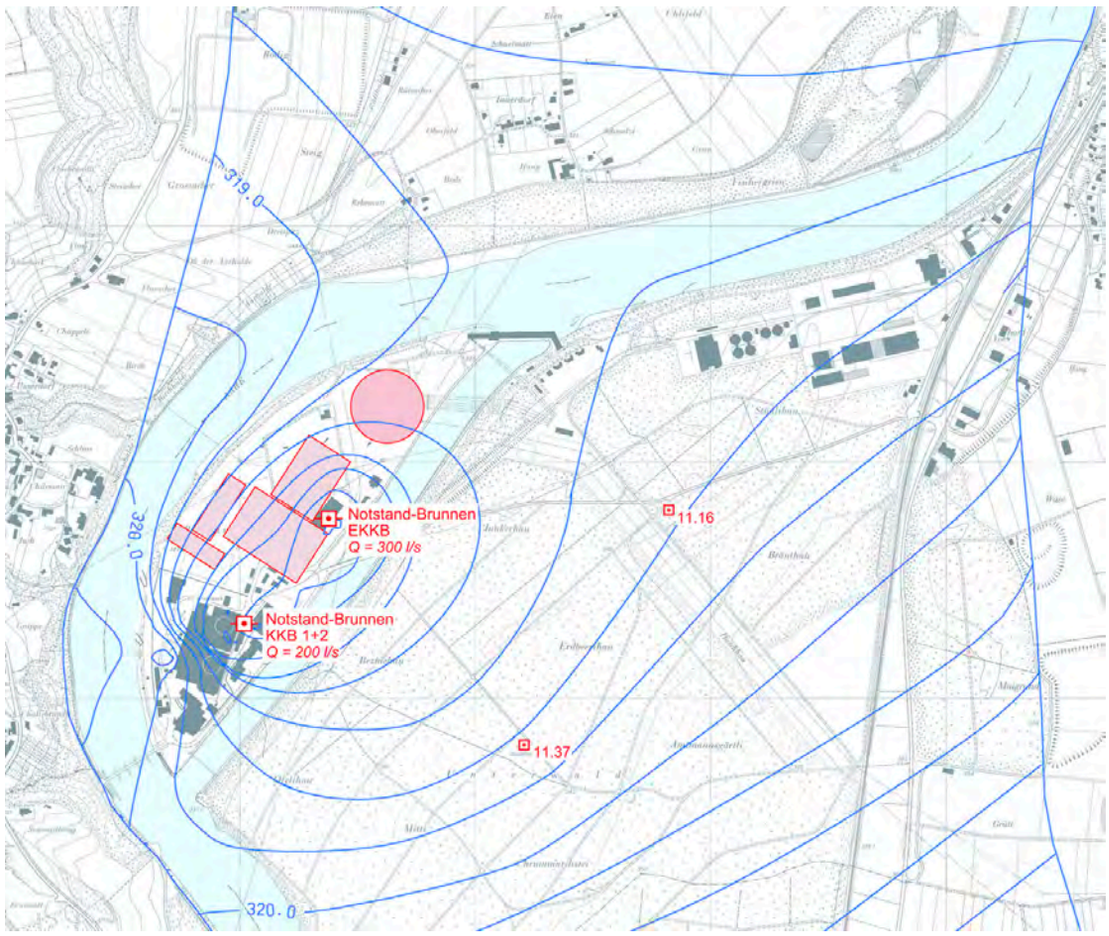
Figure 3.6-30 : Isopièzes de la surface de la nappe souterraine par moyennes eaux en cas de perte de la retenue (en noir), en comparaison avec la carte des eaux souterraines (en bleu)



Etat après réalisation du projet

Selon les résultats de la modélisation, même si la retenue n'existe plus, il reste possible d'obtenir les quantités d'eau nécessaires de 300 l/s ou 200 l/s sur une durée de trente jours avec les deux puits de secours. La Figure 3.6-31 montre l'image isopiézique de la surface de la nappe souterraine après trente jours. L'abaissement du niveau de la nappe souterraine est légèrement plus faible que dans le scénario de l'état actuel, ce qui s'explique par une plus forte infiltration de l'eau de l'Aar.

Figure 3.6-31 : Isopièzes de la surface de la nappe souterraine par moyennes eaux, en cas de disparition de la retenue ; pompage dans les puits de secours existant et nouveau : 500 l/s au total (état après 30 jours)



3.6.7.2.5 Fiabilité des résultats du modèle

a) Evaluation des incertitudes

Les résultats de calculs modélisés sont toujours accompagnés de marges d'incertitude et ne représentent en principe qu'une approximation des faits réels. Plus les incertitudes sur les données d'entrée sont faibles, meilleure est la fiabilité des résultats.

Dans le cas présent, l'hydrologie du cours souterrain de l'Aar a pu être simulée de façon très satisfaisante. Les perméabilités choisies correspondent à peu près aux valeurs fournies par les essais de pompage. La répartition homogène de la perméabilité dans le sens vertical représente une certaine simplification.

Les plus grandes incertitudes concernent les paramètres hydrauliques et la perméabilité du lit de l'Aar (fuite ou « leakage »). Ils ont été déterminés sur la base d'une première estimation, puis adaptés par calibrage pour l'état actuel.

Lors de l'étalonnage instationnaire du modèle et de la simulation des essais de pompage antérieurs, il est apparu que l'état quasi stationnaire (état de stabilité) était atteint nettement plus lentement dans le modèle que ce qui avait été observé dans ces essais. La différence pourrait s'expliquer par la « dépendance au temps » de la porosité lors d'un abaissement rapide du niveau de la nappe souterraine : un abaissement rapide de la nappe souterraine dû à un fort prélèvement fait que l'entonnoir de prélèvement se vide de manière retardée et incomplète. De ce fait, ce sont des porosités utiles nettement trop faibles qui sont simulées. La porosité utile effective ne prend effet que lorsque la durée de pompage se prolonge. Cette dépendance au temps de la porosité ne peut pas être simulée dans le modèle numérique FE. Une porosité constante de 0.15 a été utilisée dans le modèle, ce qui est une valeur représentative pour les alluvions des terrasses basses.

Pour l'état de stabilité, les calculs présentent en revanche une très bonne concordance avec l'abaissement du niveau de la nappe souterraine observé, ce qui montre qu'avec la porosité choisie dans le modèle, l'état stationnaire, lorsqu'il a atteint la stabilité, peut être simulé de façon pertinente.

b) Analyse de sensibilité

Dans le cadre d'une analyse de sensibilité, on a examiné l'influence des divers paramètres sur les résultats du modèle. Lors de cette analyse, les coefficients de perméabilité calibrés par zones sont apparus comme relativement sensibles. Au cas où une plus grande précision du modèle serait exigée, il faudrait un relevé de données plus complet pour ce paramètre. Si l'on choisissait des valeurs k supérieures, l'état de stabilité serait en principe atteint plus rapidement, ce qui concorderait mieux avec les mesures. Mais en même temps, il en résulterait un abaissement nettement plus faible du niveau de l'eau. L'étalonnage instationnaire ne peut donc pas être amélioré par la modification des valeurs k.

Une variation de la porosité effective conduit à une modification de la vitesse d'abaissement. Si la porosité est réduite dans le modèle, il y a moins d'eau accumulée dans le système et l'abaissement est d'autant plus rapide à proximité des puits. Il est cependant apparu que la sensibilité de ce paramètre est beaucoup moins élevée, car la porosité ne peut varier que dans

une fourchette étroite. Une variation temporelle de la porosité lors des essais de pompage, telle qu'elle a été discutée au chapitre précédent, ne peut pas être simulée dans le modèle.

Les résultats du modèle sont aussi fortement influencés par les valeurs de fuite de l'Aar et du canal supérieur. Si l'on admet des valeurs de fuite plus grandes, il y a davantage d'infiltration depuis le canal supérieur. Tout comme avec des perméabilités plus grandes, l'état quasi stationnaire pendant les essais de pompage est atteint plus vite, mais les abaissements simulés sont d'autant plus faibles. En faisant varier la valeur de fuite, on n'a non plus pas réussi à améliorer la concordance entre les résultats du modèle et les mesures quant à l'abaissement au fil du temps pendant les essais de pompage. Les autres paramètres n'ont pas influencé de manière significative les résultats du modèle par rapport aux résultats des essais de pompage.

3.6.7.3 Résumé et conclusions

Pour l'alimentation de secours des systèmes de refroidissement liés à la sécurité des centrales KKB 1 et 2, ainsi que de l'EKKB, on a postulé une quantité d'eau requise de 500 l/s. Pour répondre à la question de savoir si cette quantité d'eau souterraine est disponible et pour combien de temps, un modèle bidimensionnel FE d'écoulement des eaux souterraines a été élaboré. Ce modèle a été étalonné de manière aussi bien stationnaire qu'instationnaire à l'aide des résultats des essais de pompage antérieurs. Il a ainsi été possible d'obtenir une bonne concordance entre les données mesurées et simulées.

A l'aide du modèle d'écoulement calibré, on a ensuite calculé le scénario de prédiction avec un prélèvement de 200 l/s dans le puits de secours existant et de 300 l/s supplémentaires dans un nouveau puits filtrant horizontal près de l'EKKB. Les constructions actuelles plongeant profondément dans la nappe souterraine et celles prévues dans la variante EPR ont été prises en considération dans le modèle.

Selon le modèle, malgré un prélèvement important d'eaux souterraines, il n'en résulte pas de baisse de productivité, c'est-à-dire pas de surexploitation des ressources de la nappe souterraine existante. L'abaissement local dans les puits filtrants atteint au maximum env. 4-5 m. Le niveau d'eau du puits n'est ainsi abaissé que d'env. 0.5-1.5 m de plus qu'avec une seule installation et un prélèvement maximal dans le « puits Nano » existant. Lors du pompage, la quantité d'eau d'infiltration provenant du canal supérieur passe de 40-45 l/s à env. 55 l/s. A cela s'ajoutent les eaux de l'Aar en aval, qui s'infiltrent dans la nappe souterraine à raison de 100-130 l/s. La proportion d'infiltrat de l'Aar dans la région de l'île de Beznau représente ainsi env. 30-35% de la totalité de la quantité prélevée.

Dans les deux stations de pompage, proches l'une de l'autre, appelées toutes deux « Unterwald » – celle de la NOK (concess. n° 11.37) et celle de la commune de Döttingen (concess. n° 11.16, voir Figure 3.6-18) – le niveau de la nappe souterraine s'abaissera d'env. 1.3 et 0.9 m au maximum après trente jours de pompage. Cet abaissement comparativement faible n'entraînera aucune limitation notable dans le fonctionnement des deux stations de pompage. Même lorsque le niveau de la nappe souterraine est naturellement bas et que des prélèvements d'eau souterraine sont effectués simultanément pour le refroidissement de secours, le niveau de l'eau dans les deux captages se situera à environ 8 m (11.37) ou 2.3 m (11.16), au-dessus du niveau des pompes installées en aval. Un prélèvement intensif, c'est-à-dire utilisant pendant une longue durée les

maxima prévus par les concessions, sera par conséquent possible sans aucun problème, même dans des conditions aussi défavorables.

Les calculs effectués dans le modèle permettent d'affirmer qu'une alimentation de secours des systèmes de refroidissement liés à la sécurité est possible sans problème avec l'eau souterraine existante pendant une durée allant jusqu'à trente jours. On présuppose pour cela la réalisation d'un puits filtrant horizontal avec une productivité importante, analogue à celle du puits de secours de la KKB.

Une disparition du barrage de retenue n'aurait pas de conséquences défavorables quant à la productivité des deux puits de secours. Les simulations montrent que les ressources en eaux souterraines existantes suffiront à garantir une alimentation de secours pendant trente jours, même dans cette situation particulière.

3.6.8 Evénements externes

En ce qui concerne la nappe souterraine, il n'existe aucun événement extérieur qui pourrait entraîner des dysfonctionnements de la centrale. Une baisse rapide de l'épaisseur ou de la capacité de la nappe souterraine n'est pas imaginable. Même la perte totale de la retenue, à la suite d'un tremblement de terre par exemple, ne provoquerait pas une diminution marquée de l'épaisseur de la nappe souterraine.

Les vérifications des puits et des pompes, effectuées régulièrement par l'entreprise, sont à même de découvrir à temps une lente modification de la température de la nappe souterraine ou de sa productivité.

3.6.9 Evaluation de l'adéquation du site

Les eaux souterraines de la vallée inférieure de l'Aar sont exceptionnellement bien connues et documentées en détail dans de multiples dossiers, grâce à de nombreuses investigations liées à l'exploitation intensive – publique et privée – et à la protection des eaux, sans oublier les activités de la NOK dans la région de Beznau.

Les études montrent pour l'essentiel que les activités et exploitations menées jusqu'ici dans la région n'ont pas influencé à un degré notable l'importante nappe souterraine, ni qualitativement ni quantitativement.

Le cas échéant, selon le type de réacteur, il faudra avoir recours à de l'eau externe pour le refroidissement de composants et de locaux liés à la sécurité, d'une part pour la réalimentation des circuits fermés et d'autre part pour le refroidissement direct.

Comme indiqué plus haut, le site dispose d'une productivité suffisante des eaux souterraines pour garantir ces refroidissements. Les eaux souterraines peuvent aussi être utilisées pour remplir et réalimenter les réservoirs d'eau d'extinction.

Sur le site, les températures de la nappe souterraine présentent des marges de variations plus faibles que celles des eaux fluviales. Pour cette raison aussi, les eaux souterraines sont aptes à être utilisées comme moyen de refroidissement.

En raison des vastes ressources en eaux souterraines, des réserves sont encore disponibles. La productivité sur le site est également suffisante pour l'alimentation en cas d'urgence. En fonctionnement normal, l'approvisionnement ne pose aucun problème. Les régimes de température sont suffisamment connus et fournissent une bonne base pour l'aménagement des systèmes et composants refroidis par les eaux souterraines. En plus de cela, il est indispensable de prendre en considération les influences à long terme des changements climatiques sur la nappe souterraine afin de fixer les paramètres d'aménagement qui subsisteront jusqu'à la fin de vie de la centrale.

De même, les propriétés chimiques de la nappe souterraine sont bien connues et les expériences faites sur les centrales KKB 1 et 2 ne révèlent aucune difficulté.

Ces réflexions mettent en évidence le fait que sur le site de Beznau, les propriétés de la nappe souterraine sont favorables à la construction et à l'exploitation de l'EKKB.

Les effets du projet EKKB et ceux d'un réchauffement climatique sur le régime des températures de la nappe souterraine doivent être examinés plus en détail dans le cadre de la préparation de la demande de l'autorisation de construire. Pour les températures de l'air, selon les prévisions actuelles de l'Office fédéral de météorologie et climatologie MétéoSuisse à Zurich, il faut tabler, d'ici 2070, sur un réchauffement qui pourrait atteindre 4.7 °C. Cette augmentation des températures se répercutera sur les eaux de surface et, par elles, sur les eaux souterraines. Pour celles-ci, il faut donc postuler une augmentation de la température semblable à celle de l'air.

3.6.10 Mise en œuvre lors de la conception

Selon la conception du réacteur, il sera nécessaire d'utiliser de l'eau externe pour refroidir les composants et locaux liés à la sécurité, ainsi que pour évacuer la chaleur résiduelle du réacteur, du confinement et du bassin de stockage des éléments de combustible.

Comme mentionné plus haut, le site dispose d'eaux souterraines en quantité suffisante pour garantir le refroidissement ainsi que la réalimentation des réserves d'eau d'extinction et pour soutenir les autres systèmes. Les températures de l'eau se situent dans le cadre des exigences fixées pour l'installation de systèmes de refroidissement.

La disponibilité des puits et des systèmes destinés à assurer la sécurité doit être assurée en cas d'accidents, surtout lors d'un tremblement de terre (voir Chapitre 3.6.7).

Les principes qui régissent la conception des fonctions de sécurité en relation avec le refroidissement sont fixés dans l'ordonnance sur l'énergie nucléaire, art. 10, et dans la directive R-101 de la DSN (ou dans la nouvelle directive G02).

Les indications détaillées pour la conception des systèmes de refroidissement figurent dans le rapport de sécurité pour l'autorisation de construire et dans les spécifications provisoires et définitives de la conception des systèmes. Ces documents seront élaborés et déposés dans le cadre de la demande de l'autorisation de construire ou de ls première autorisation de construire, conformément aux exigences de l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire, annexe 4.

Les investigations suivantes, spécifiques aux eaux souterraines, sont prévues dans le cadre de la préparation de la demande de l'autorisation de construire :

- Etudes sur le site pour le puits de secours éventuellement exigé, au moyen de forages et d'essais de pompage
- Calcul continu de la diminution de la capacité de débit en fonction de l'avancement du projet
- Évaluation des effets d'un apport supplémentaire de chaleur dans l'Aar ou dans la nappe souterraine. Avec la variante choisie d'un circuit de refroidissement fermé pour le circuit primaire du réacteur, l'apport de chaleur dans l'Aar est minimisé. Un apport de chaleur dans la nappe souterraine peut se produire principalement par les fondations des bâtiments. La température de la nappe souterraine, qui a tendance à augmenter, continuera à être observée et l'influence des prévisions climatiques sera prise en considération. Au vu de la tendance à la hausse des températures des eaux souterraines, déjà bien réelle, cette problématique sera prise en compte très tôt lors de la planification à venir.

3.6.11 Annexe 17 : Propriétés chimiques des eaux souterraines

Fig. 3.6-32 : Propriétés chimiques des eaux souterraines à la SP Unterwald, Döttingen, partie 1

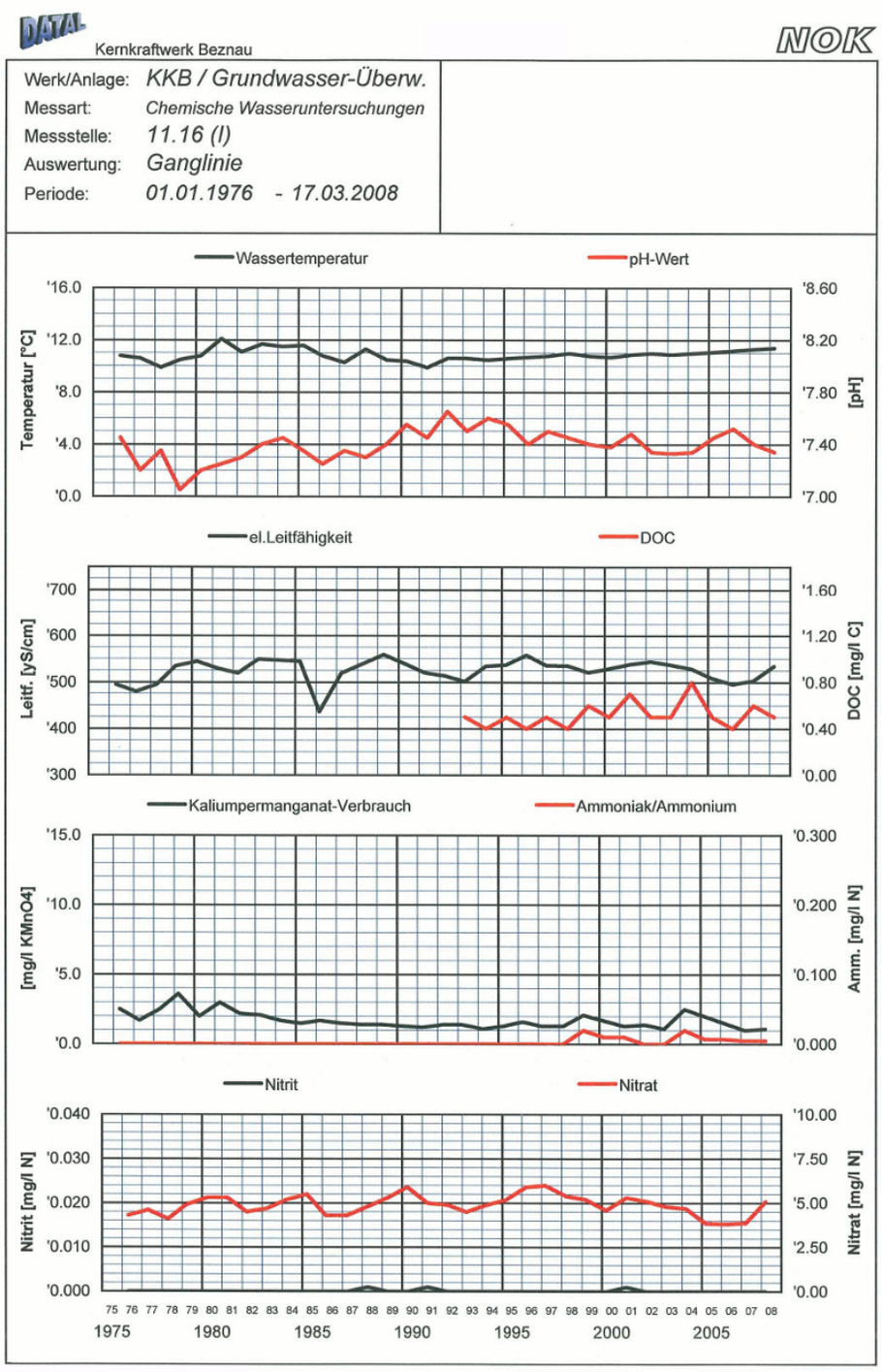


Fig. 3.6-33 : Propriétés chimiques des eaux souterraines à la SP Unterwald, Döttingen, partie 2

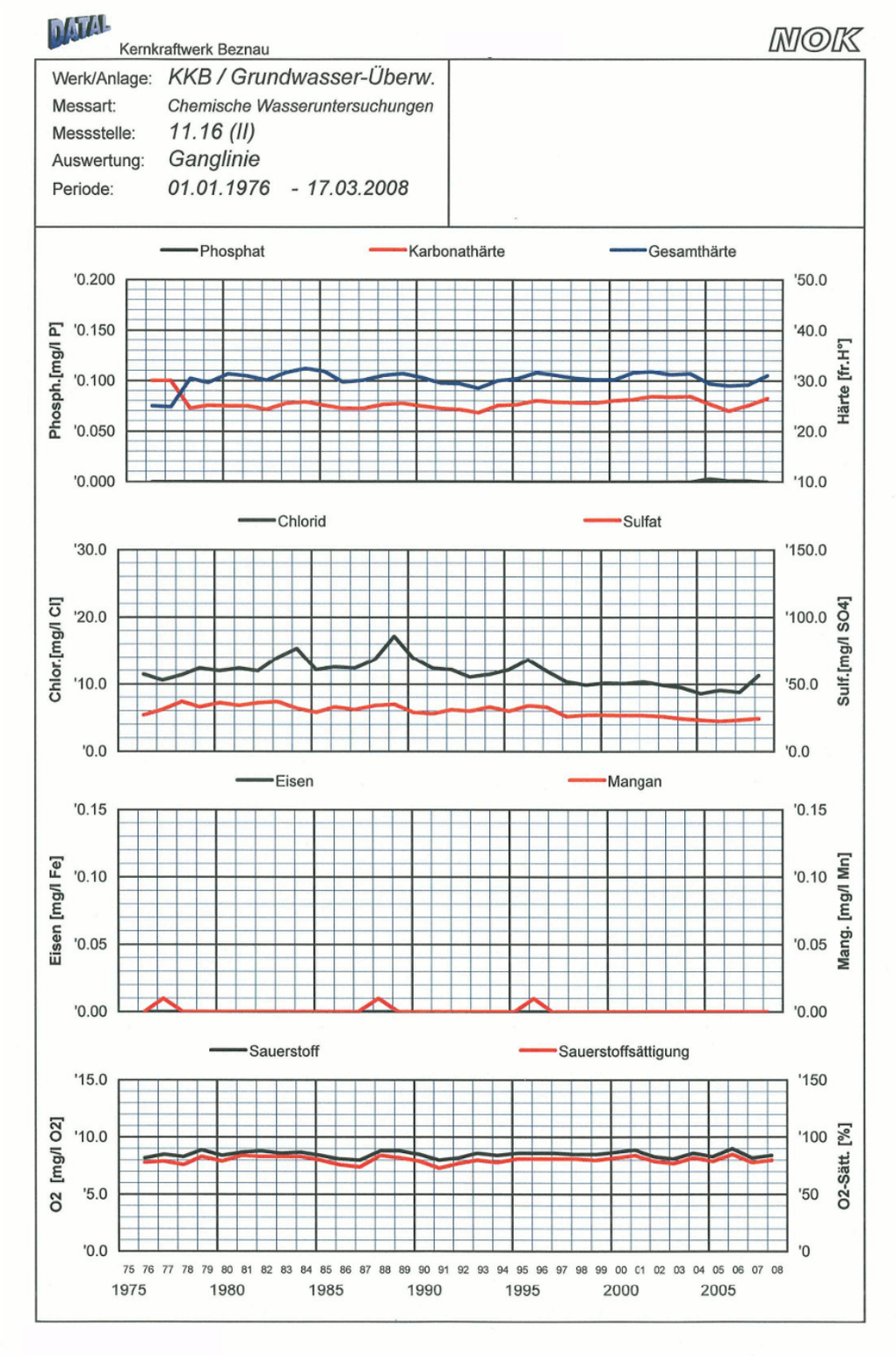


Fig. 3.6-34 : Propriétés chimiques des eaux souterraines à la SP Beim Schulhaus, Böttstein, partie 1

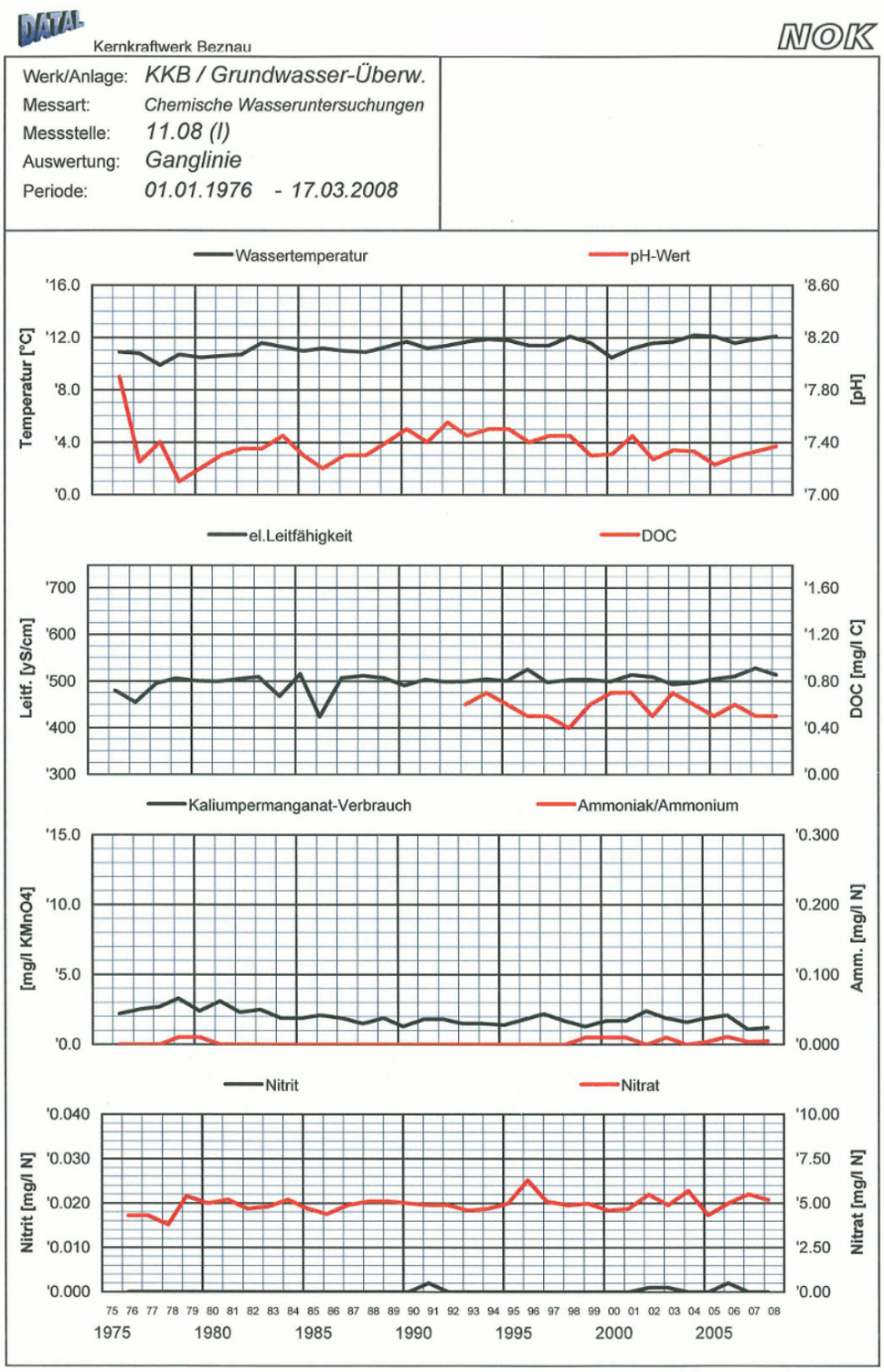


Fig. 3.6-35 : Propriétés chimiques des eaux souterraines à la SP Beim Schulhaus, Böttstein, partie 2

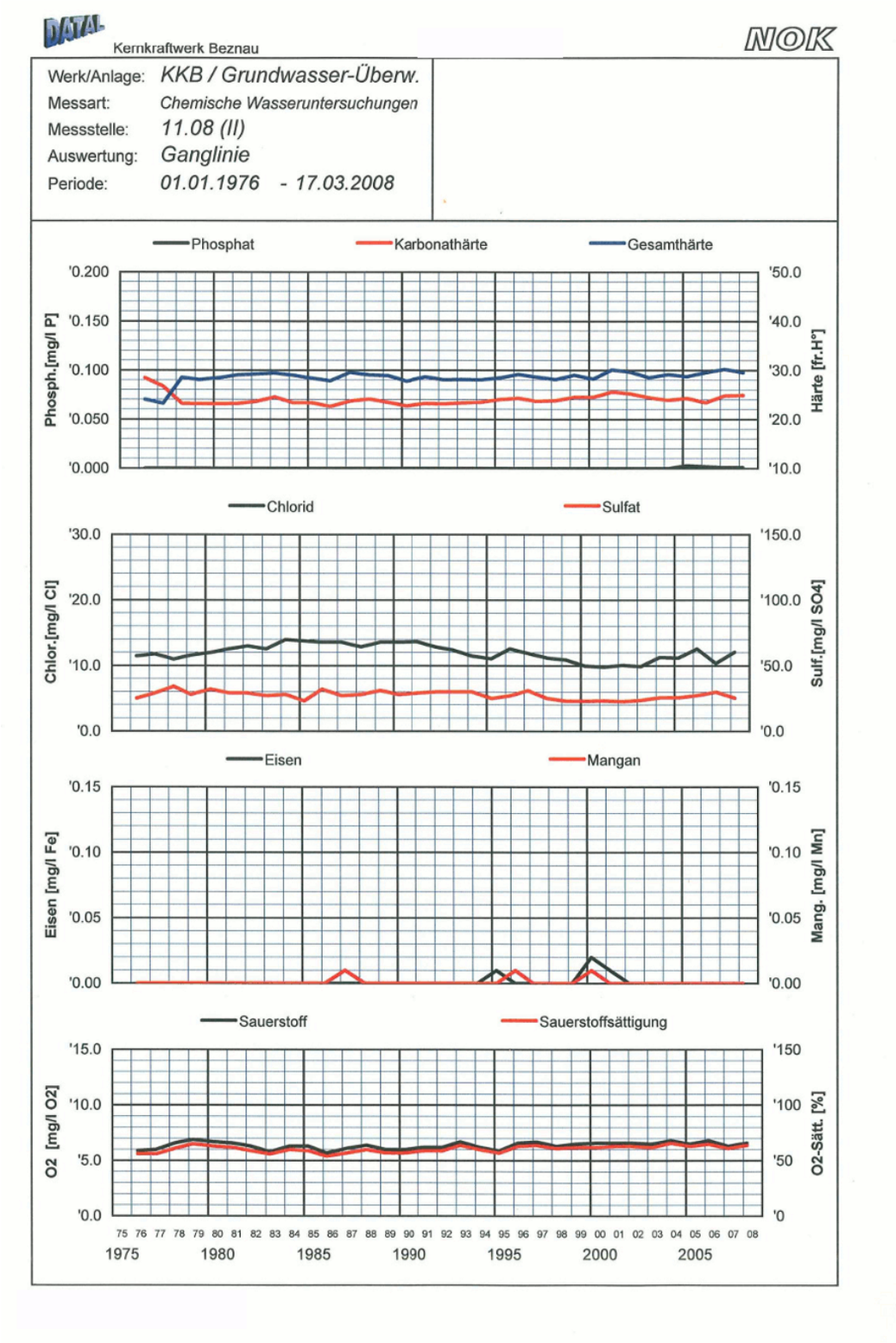


Fig. 3.6-36 : Propriétés chimiques des eaux souterraines dans le puits 1001, Kleindöttingen, partie 1

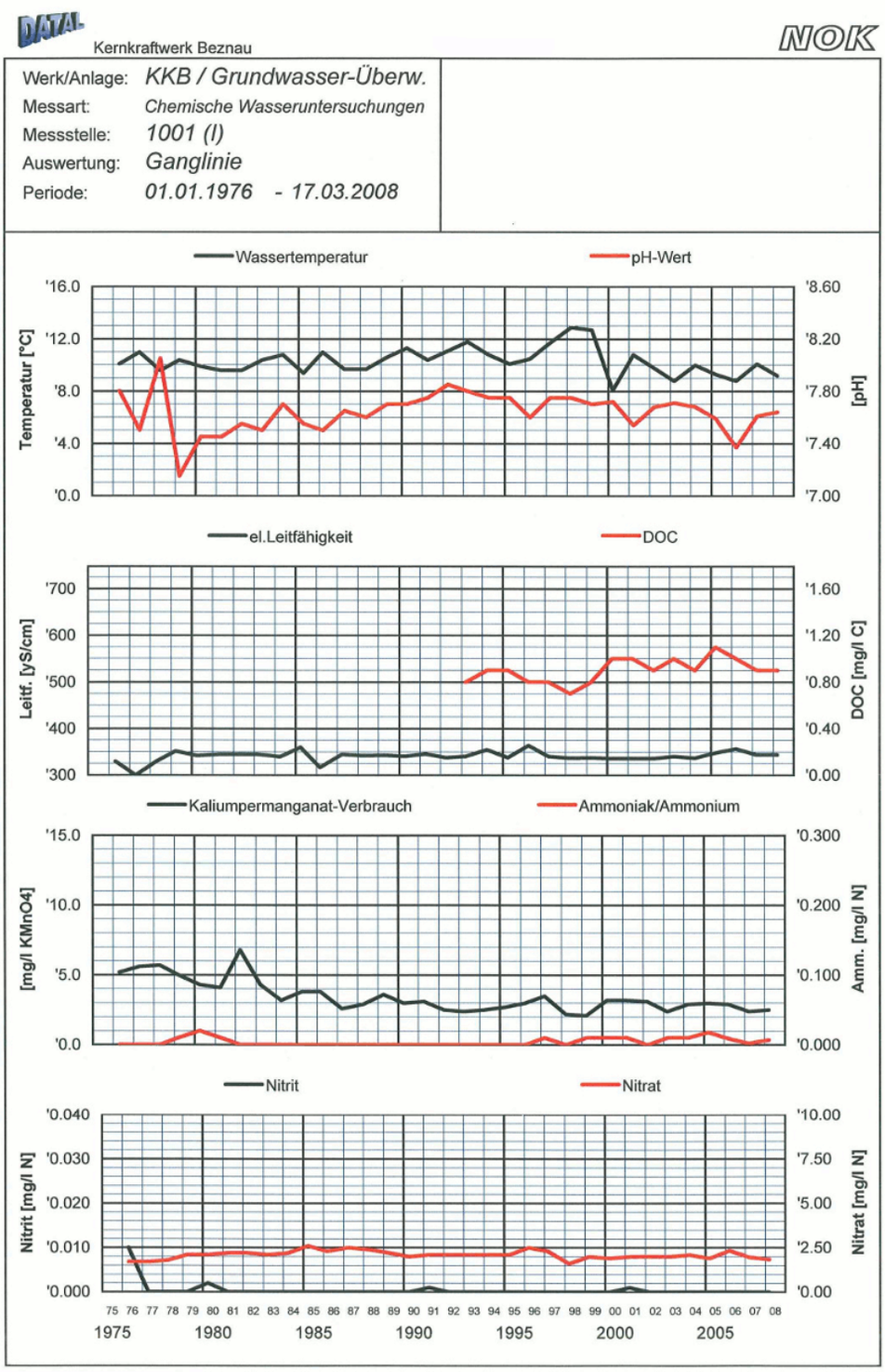
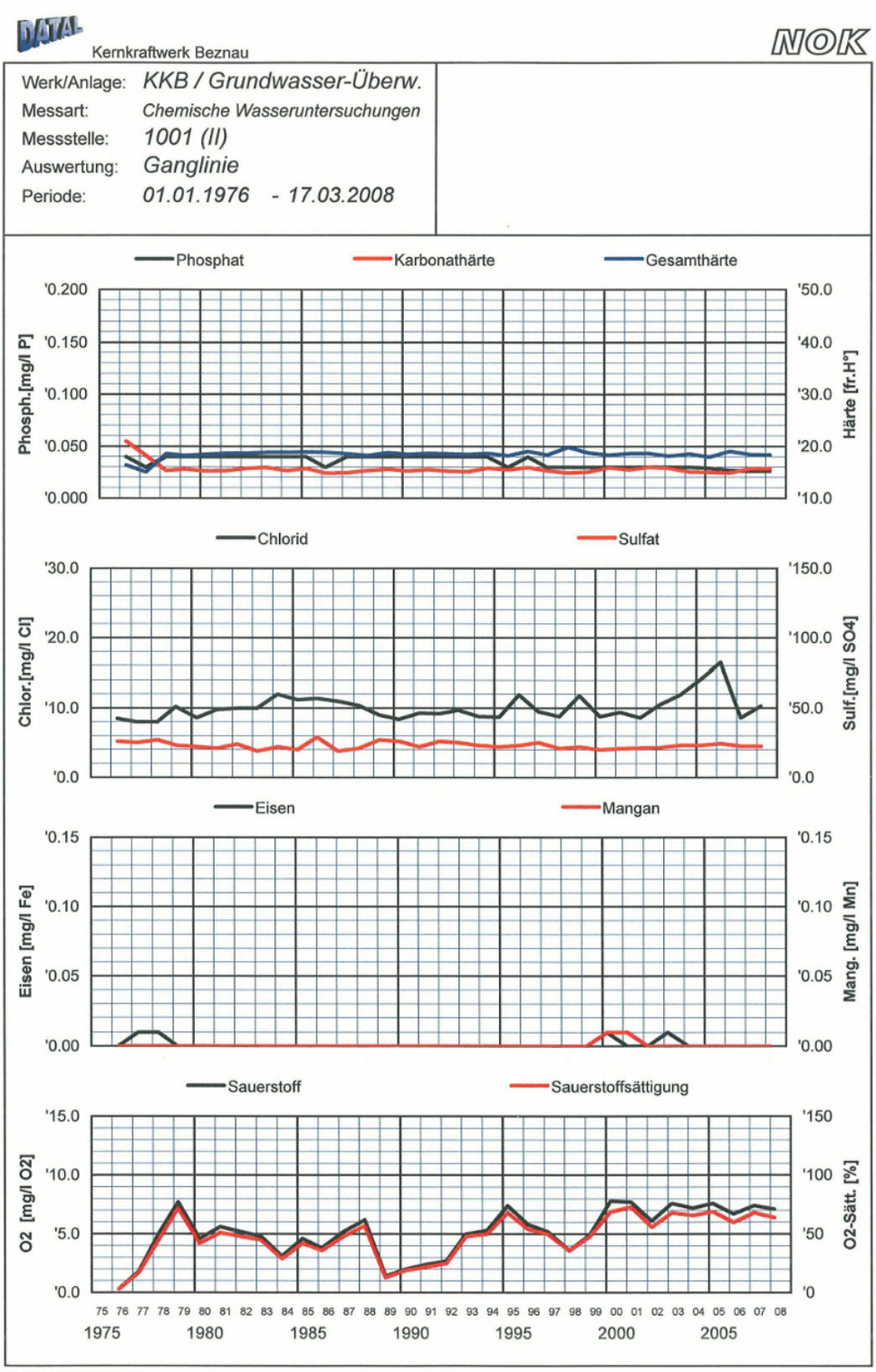


Fig. 3.6-37 : Propriétés chimiques des eaux souterraines dans le puits 1001, Kleindöttingen, partie 2



3.6.12 Annexe 18 : Température des eaux souterraines et de l'Aar

Fig. 3.6-38 : Courbes de température de l'Aar, point de mesure T22, canal supérieur, 1968-2007

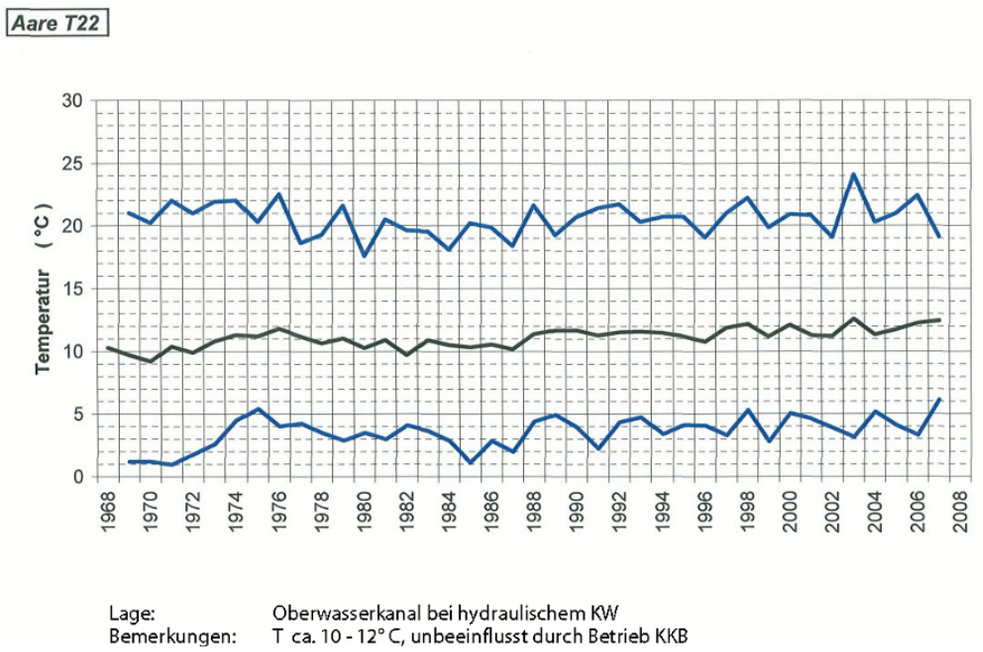


Fig. 3.6-39 : Courbes de température de l'Aar, point de mesure T4, en dessous de la KKB, 1976-2007

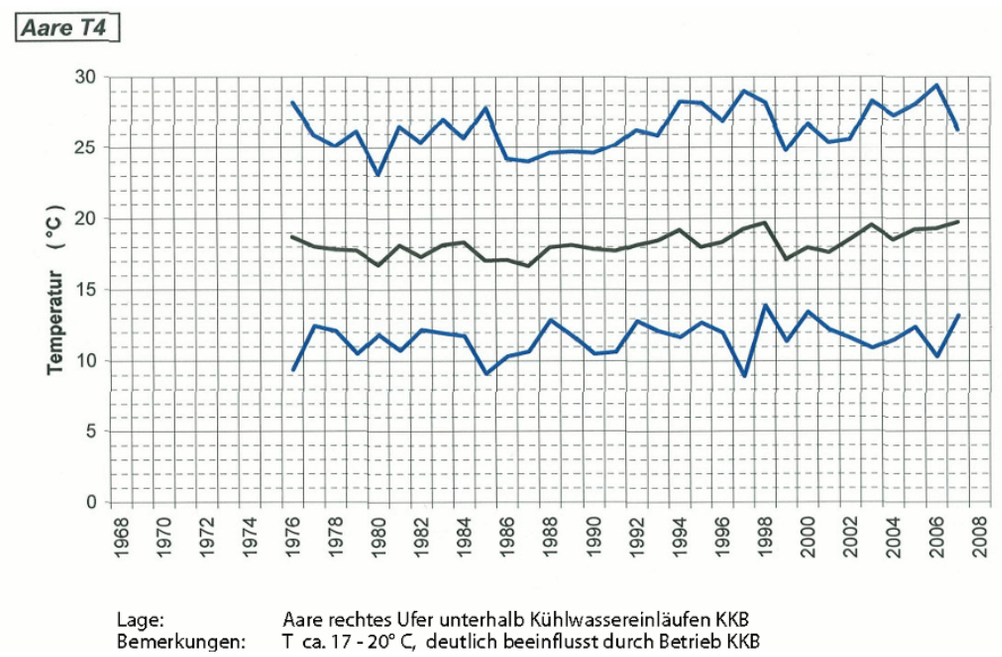


Fig. 3.6-40 : Courbes de température dans le tube d'observation 518, 1968-2007

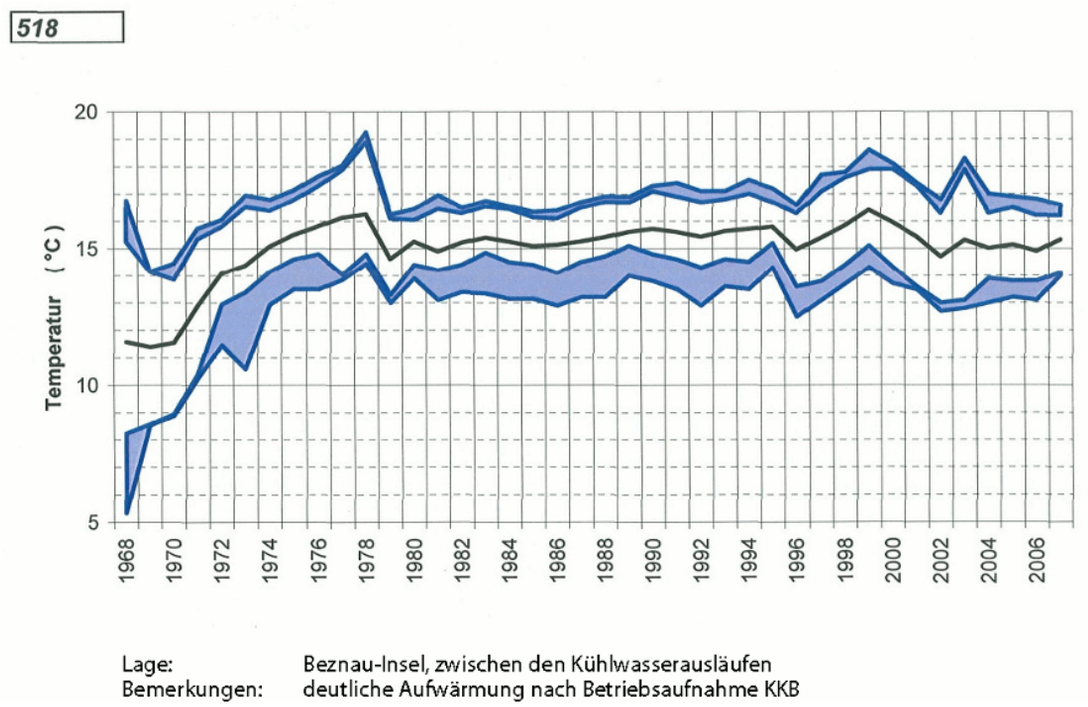


Fig. 3.6-41 : Courbes de température à la station de pompage de l'Unterwald, Döttingen (11.16), 1976-2007

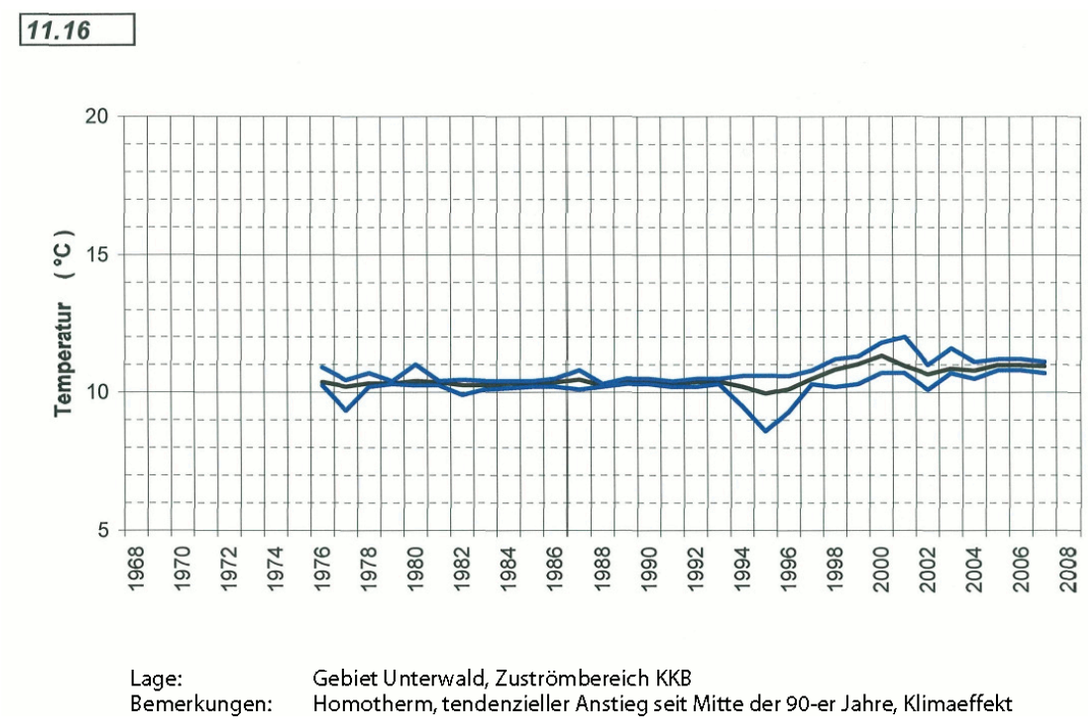
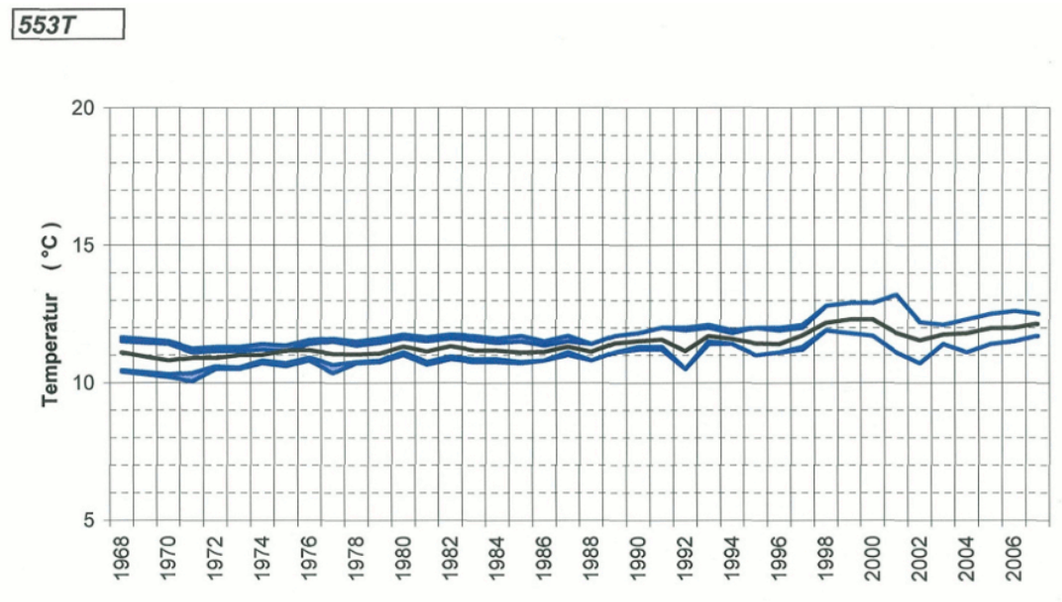
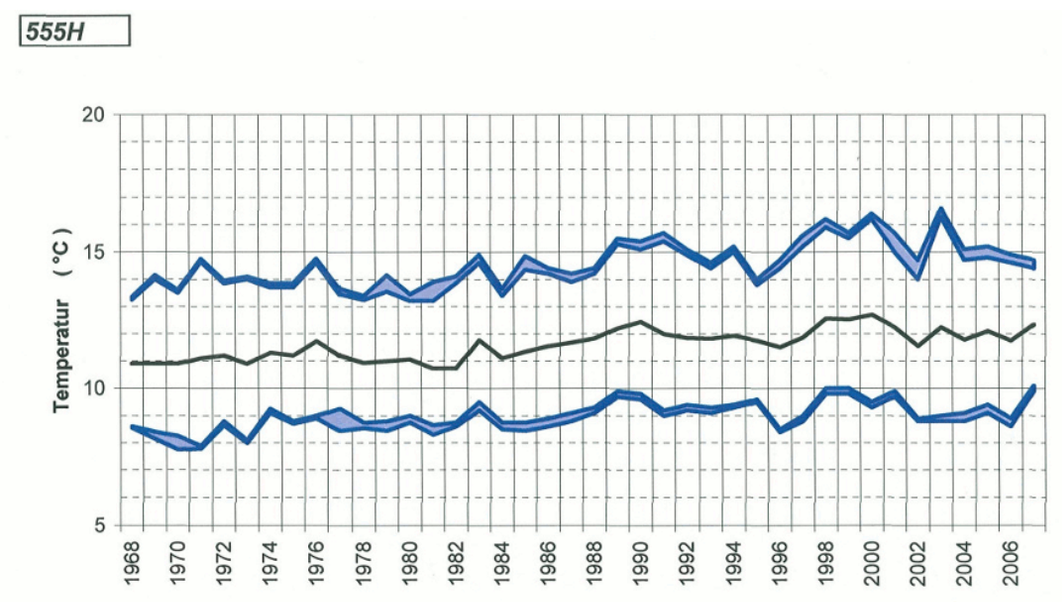


Fig. 3.6-42 : Courbes de température dans le tube d'observation 553T, 1968-2007



Lage: linkes Aareufer Nahbereich, tiefer Teil Grundwassersäule
Bemerkungen: Homotherm, tendenzieller Anstieg seit 80-er Jahren

Fig. 3.6-43 : Courbes de température dans le tube d'observation 555H, 1968-2007



Lage: linkes Aareufer entfernter Bereich, oberer Teil Grundwassersäule
Bemerkungen: deutliche Schwankungen, tendenzieller Anstieg seit 80-er Jahren

Fig. 3.6-44 : Courbes de température dans le tube d'observation 558, 1968-2007

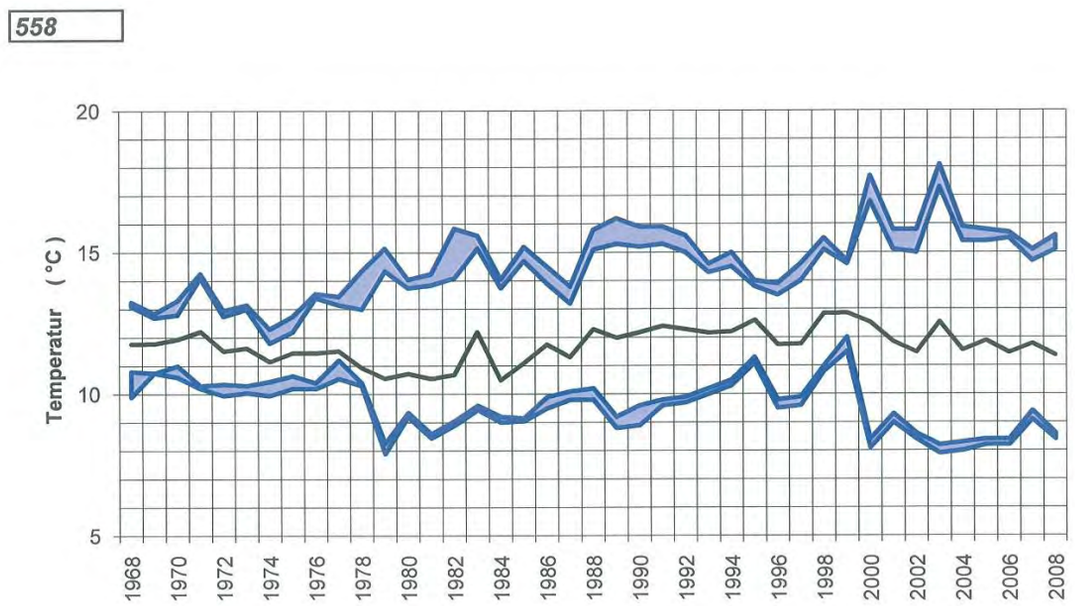
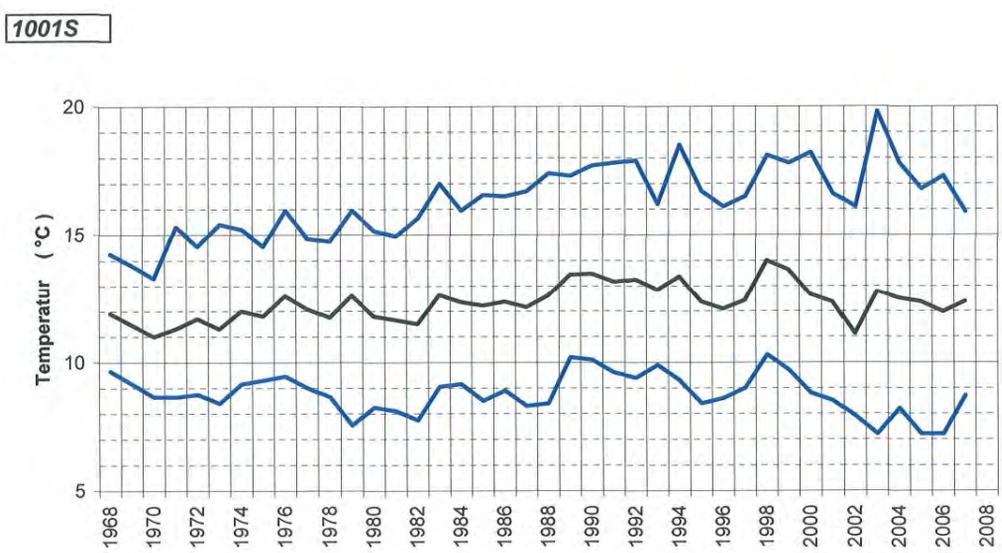
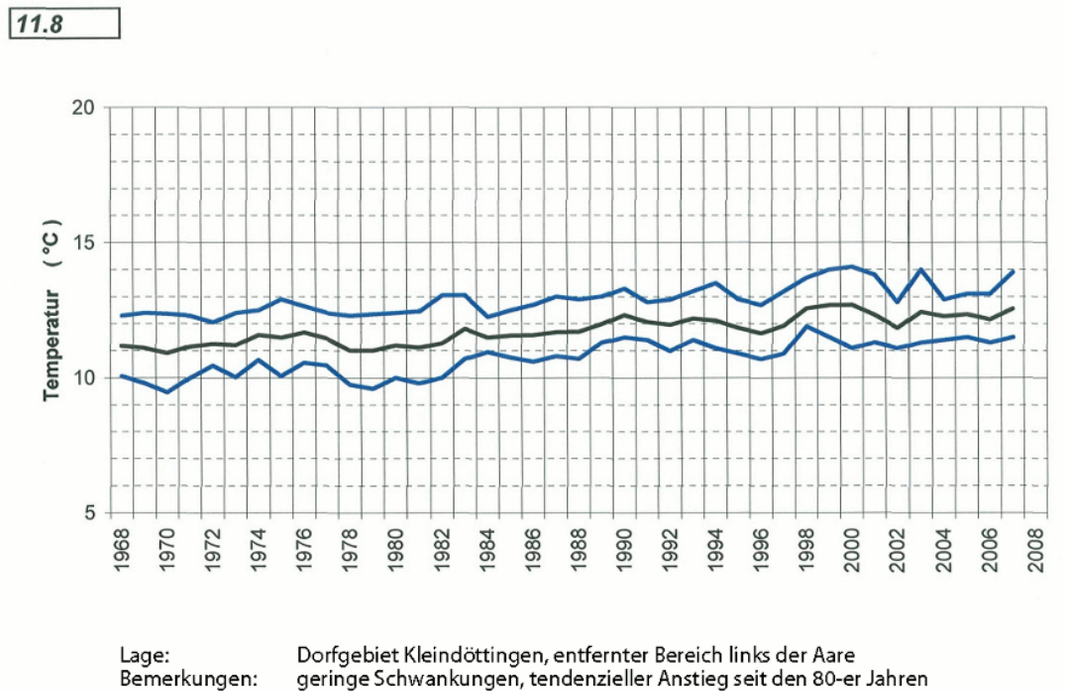


Fig. 3.6-45 : Courbes de température dans le puits 1001, Kleindöttingen, 1968-2007



Lage: Dorfgebiet Kleindöttingen, Nahbereich links der Aare
Bemerkungen: Mässige Schwankungen, tendenzieller Anstieg in den 80-er und 90-er Jahren

Fig. 3.6-46 : Courbes de température à la SP Beim Schulhaus, Kleindöttingen (11.08), 1968-2007



3.7 Géologie, sol de fondation et aléa sismique

3.7.1 Géologie

3.7.1.1 Géologie dans les environs éloignés du site

3.7.1.1.1 Evolution de la vallée

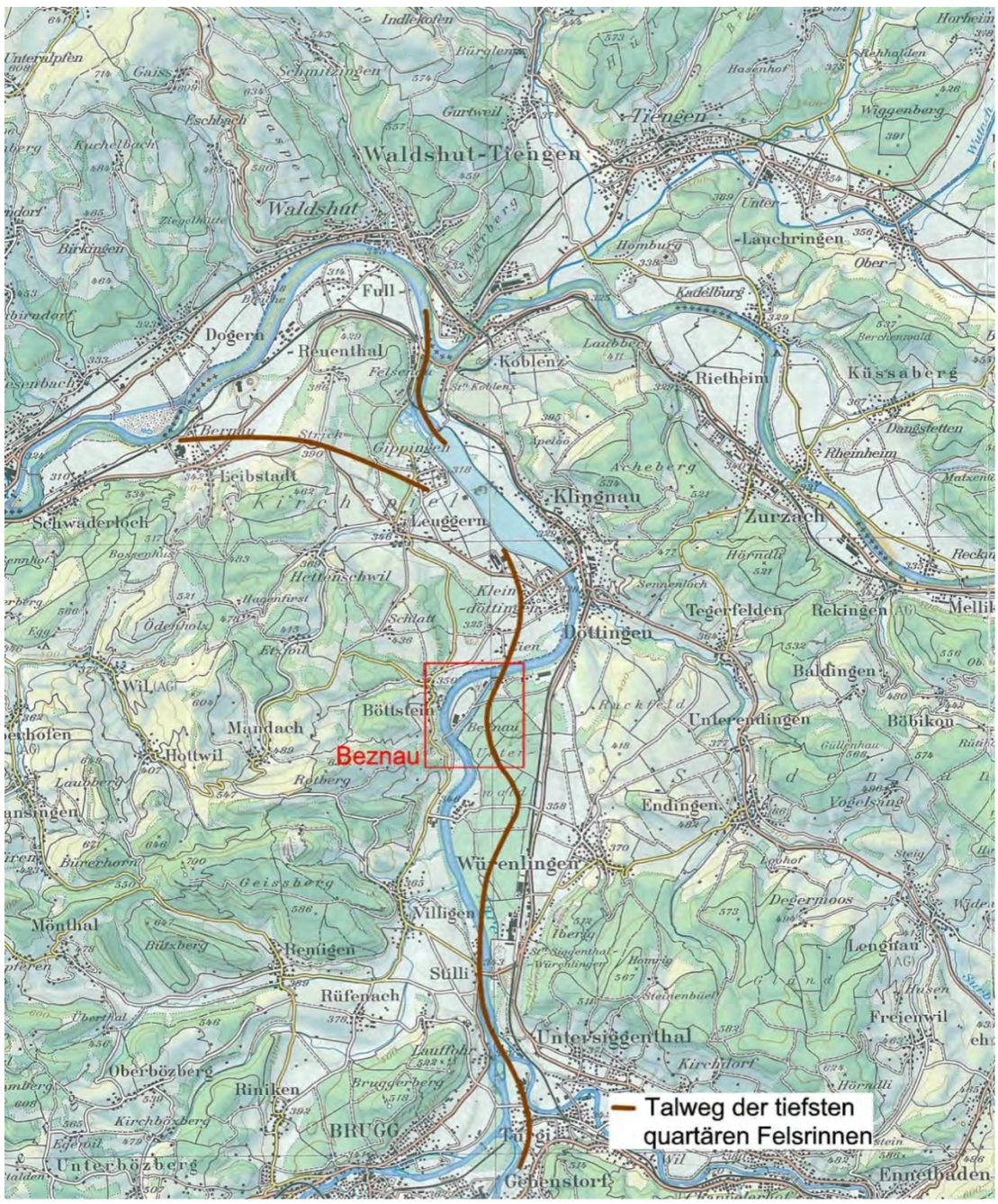
L'île de Beznau se trouve dans la vallée inférieure de l'Aar, creusée dans les couches du Jura tabulaire faiblement inclinées en direction du sud-sud-est. La vallée s'est formée au début du Pliocène, il y a environ dix millions d'années, ou au plus tard au début du plissement de la chaîne du Jura. Durant cette longue période, l'ensemble des systèmes fluviaux de l'Aar, de la Reuss et de la Limmat, voire temporairement du Rhin – par le lac de Walenstadt – s'écoulaient par cette vallée en direction du nord. A l'origine, les eaux, à partir de Klingnau, s'évacuaient vers le nord-est par la vallée de la Wutach en direction du Danube. Ce n'est qu'il y a environ 4.2 millions d'années que l'Aar fut déviée vers l'ouest, près de Klingnau/Coblence, en direction de l'actuelle haute vallée du Rhin. L'Aar n'a atteint le Rhin – par le lac de Constance – dans la région de Coblence que plus tard, soit il y a environ 1.7 millions d'années [98].

Au cours des nombreuses époques glaciaires du Quaternaire qui ont marqué les deux derniers millions d'années, la vallée de l'Aar s'est enfoncée de plus en plus profondément dans le soubassement rocheux, puis plus récemment, a été remplie de sédiments fluvioglaciaires de compositions diverses. L'érosion la plus marquée a certainement eu lieu il y a plus de 600 000 ans, lors de l'une des glaciations les plus importantes. Le talweg du sillon rocheux le plus profond ne suit pas le cours de l'Aar actuelle (Fig. 3.7-1). Le sillon se ramifie près de Leuggern : un chenal apparemment plus ancien, aujourd'hui rempli d'alluvions, s'oriente vers Leibstadt en passant en dessous du « Strick » ; un autre, plus récent, a réussi à traverser le calcaire coquillier (Muschelkalk), près de la centrale de Klingnau, en direction de Coblence.

Les alluvions fluvioglaciaires les plus récentes de la vallée de l'Aar, et donc aussi celles de l'Unterwald à l'est de l'île de Beznau, se sont accumulées pendant la dernière époque glaciaire il y a un peu plus de 20 000 ans. Depuis lors, l'Aar a creusé les alluvions sur une profondeur d'env. 30 m, formant ainsi des terrasses dont certaines sont très marquées.

On peut donc dire que la vallée de l'Aar est une vallée formée depuis longtemps dont le relief morphologique se trouve dans un stade mature.

Fig. 3.7-1 : Géomorphologie de la vallée inférieure de l'Aar



3.7.1.1.2 Géologie et stratigraphie

Dans le Jura tabulaire à partir de Brugg, l'Aar traverse des couches de plus en plus anciennes du Jurassique et du Trias en raison de l'inclinaison sud-sud-est des couches. Entre Stilli et l'Unterwald, ce sont des calcaires et des marnes du Malm (couches d'Effingen), dans la région de l'Institut Paul Scherrer (PSI), ce sont des calcaires et des marnes du Dogger. Dans la région de l'île de Beznau, ce sont principalement des argiles à Opalinus (Dogger inférieur), dans la région de Kleindöttingen, ce sont des calcaires du Lias et à Klignau et Leuggern des couches de gypse et de marnes du Keuper. Dans le resserrement après la centrale de Klingnau, l'Aar traverse les couches calcaires et dolomitiques du Muschelkalk moyen. La géologie du soubassement rocheux (subcrop) dans la vallée inférieure de l'Aar est décrite en détail dans Haldimann et al. 1984 [44].

Dans la région de l'île de Beznau, le soubassement rocheux est principalement constitué d'argiles à Opalinus. Grâce au forage de Beznau (Nagra 1984 [53]), la succession des couches est parfaitement documentée : il s'agit notamment de calcaires et de marnes du Lias, ainsi que de toute la succession des couches du Trias (Fig. 3.7-2). L'emplacement du forage est visible à la Fig. 3.7-4.

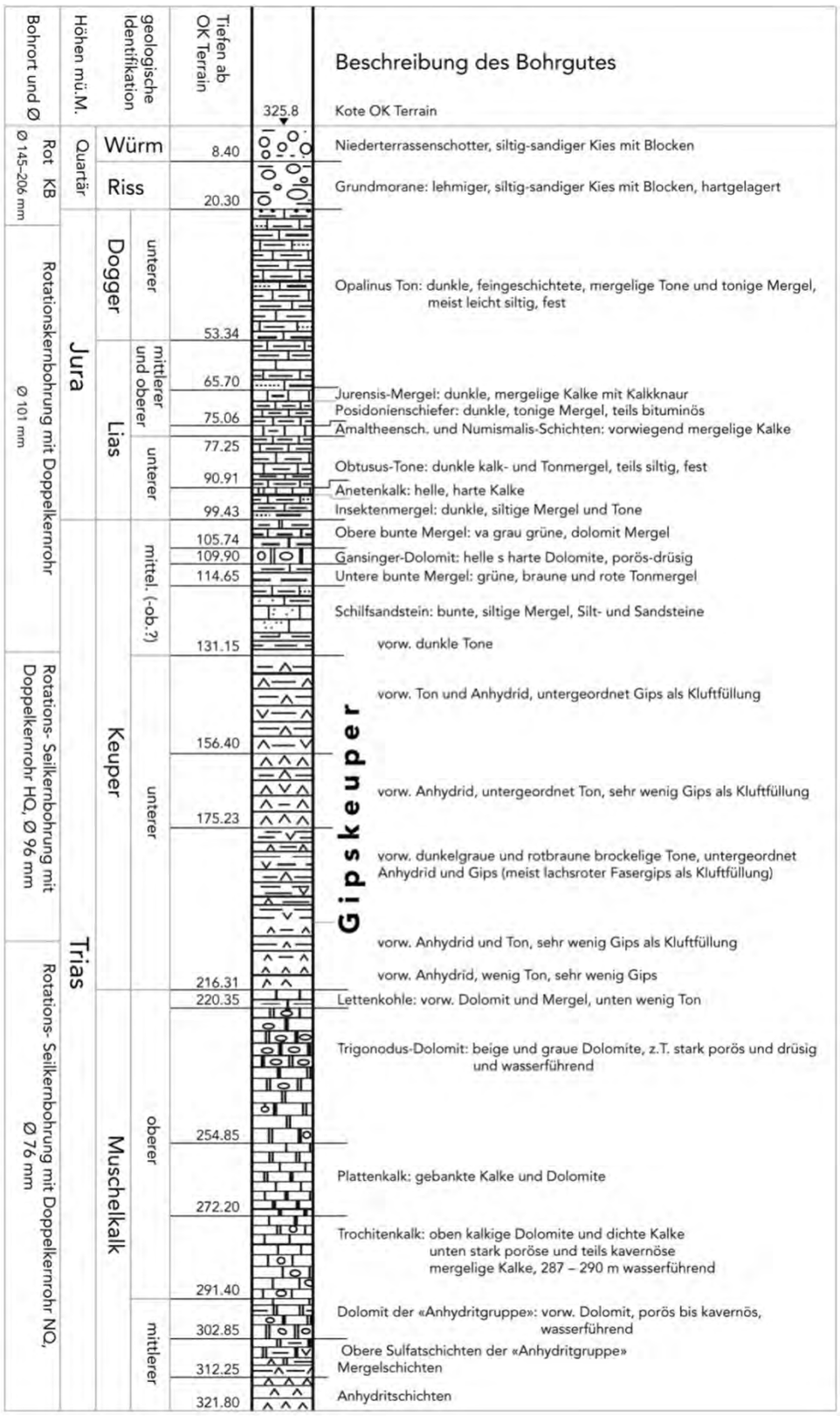
Selon le profil original de la Nagra, plusieurs couches poreuses sont décrites dans la coupe du Trias, notamment dans la dolomie à Trigonodus et dans le groupe anhydrite. La porosité est causée par des druses (centimétriques) partiellement remplies de calcite ou par des cristaux (millimétriques) de gypse dissous. On n'a observé aucune structure caverneuse ni aucune véritable cavité qui pourraient provoquer des ébranlements ou des tassements.

Depuis les années 1980, on sait que l'île de Beznau se trouve à la bordure septentrionale du fossé permo-carbonifère du nord de la Suisse, ce qui signifie que sous la couverture mésozoïque se trouve un tréfonds comprenant le socle cristallin et les roches sédimentaires du fossé permo-carbonifère (Fig. 3.7-10).

3.7.1.1.3 Roches meubles

De manière générale, le remplissage de la vallée inférieure de l'Aar se compose d'alluvions fluvioglaciaires formées par les dépôts accumulés au cours de plusieurs périodes glaciaires et qui sont appelées ici, de manière simplifiée et sans autres subdivisions, « alluvions des terrasses inférieures ». Le chapitre 3.7.2.1 donne des détails à ce sujet.

Fig. 3.7-2 : Profil du forage de Beznau (version simplifiée de [53])



3.7.1.1.4 Structures tectoniques du socle

Bordure septentrionale du fossé permo-carbonifère : la bordure septentrionale du fossé permo-carbonifère au nord du canton d'Argovie a autrefois été présentée par la Nagra avec un degré de détails variable et parfois avec des constructions spéculatives. La présentation la plus objective est celle qui se trouve dans Nagra [96] (Fig. 3.7-10). Comme le montre la figure, le fossé est accompagné, au nord, d'épaulements avec des bordures de fracture WSW-ENE ou des failles normales. Celles-ci sont découpées par diverses fractures hercyniennes qui s'étendent de WNW à ENE (en général décrochements dextres). La bordure septentrionale du fossé, qui s'étend en principe selon une direction WSW à ENE, est de ce fait déplacée en différents corps lenticulaires poussés l'un contre l'autre vers la droite (dans le sens horaire). Quelques-unes de ces anciennes fractures hercyniennes traversent aussi la région de l'île de Beznau.

Zone de faille de Vorwald : la faille de Vorwald est une fracture pré-hercynienne qui s'étend du nord-ouest au sud-est et qui se manifeste surtout dans le cristallin du sud de la Forêt Noire. On peut la suivre dans les profils sismiques sous les sédiments du Mésozoïque qui recouvrent la partie suisse : elle se présente comme une fracture avec faille normale orientée sud-ouest jusque dans la région de Döttingen et éventuellement au-delà en direction du sud-est. Tout porte à penser qu'elle passe au nord de l'île de Beznau à-travers la région d'Eien / Kleindöttingen et en dessous de la partie nord du Ruckfeld en direction de la petite vallée d'Unterendingen, où elle apparaît dans les calcaires du Malm sous la forme d'une flexure d'env. 110 degrés qui s'étend en direction du SSW.

Structure de Klingnau : avec la structure de Klingnau, Laubscher [50] postule une large zone de flexure orientée SSW-NNE dans la région de la vallée inférieure de l'Aar, le long de laquelle les structures du socle du Jura tabulaire décrites ci-dessus s'incurvent en direction de l'est-sud-est. La structure de Klingnau influence surtout le relief du socle sous le plan de cisaillement du Trias. Dans la région de Beznau, elle concerne la faille de Vorwald et la flexure de Mandach, puisque celles-ci s'enfoncent en direction du sud-est et qu'à l'est de la structure de Klingnau, elles présentent un autre aspect et apparaissent moins fortement qu'à l'ouest. On peut donc admettre un âge pré-triasique pour les principales fractures de la structure de Klingnau.

La structure de Klingnau apparaît avant tout non pas tellement comme un élément tectonique, mais plutôt comme une limite structurale qui sépare deux zones (l'une à l'est, l'autre à l'ouest) présentant chacune des caractéristiques tectoniques différentes. La structure de Klingnau ne peut pas être mise en relation avec d'autres structures tectoniques du fossé permo-carbonifère, découvertes depuis lors, et n'a encore jamais été observée directement sur le terrain.

Faille de Tegerfelden – Kohlgruben : la faille de Tegerfelden et de Kohlgruben est l'une des structures tectoniques publiées des environs de Beznau. Elle a été postulée au Ruckfeld par Bitterli et al. [41] comme une fracture avec faille normale orientée sud et comme flexure plus à l'est ; elle a été mise en relation avec la fracture de la petite vallée de Kohlgruben à l'est de Rekingen sur la rive allemande du Rhin. Vers l'ouest, Bitterli-Dreher et al. [42] font passer la faille à peu près en direction du nord de l'île de Beznau. A cet endroit, les lignes sismiques indiquent de faibles signes d'une flexure ou d'une faille normale à vergence sud, qui n'a en effet déplacé que le socle avec le cristallin et éventuellement les couches les plus anciennes du Mésozoïque, mais non les couches plus jeunes.

Diverses observations incitent à douter des hypothèses de Bitterli et al [41] :

- Sur la Surb près de Tegerfelden, on observe, dans la région de la faille présumée, un plongement un peu plus net des couches, qui indique une flexure, mais on ne discerne aucune fracture.
- Sur le versant à l'ouest de Tegerfelden, on ne constate aucun déplacement dû à une hypothétique faille, qui déplacerait le Malm au niveau du Dogger supérieur, celui-ci suit une ligne droite à cet endroit.
- Dans la forêt entre Tegerfelden et Rekingen, on ne distingue aucun indice de faille.
- Dans les profils sismiques de la Nagra, on reconnaît à chaque fois nettement la flexure de Rekingen comme une déformation de la succession des couches mésozoïques par une cassure de la bordure du fossé dans le socle, dans le sens WSW-ENE, mais on ne distingue aucunement la faille présumée de Tegerfelden-Kohlgruben.

Nous en concluons que la faille de Tegerfelden-Kohlgruben au sens de [41] n'existe pas.

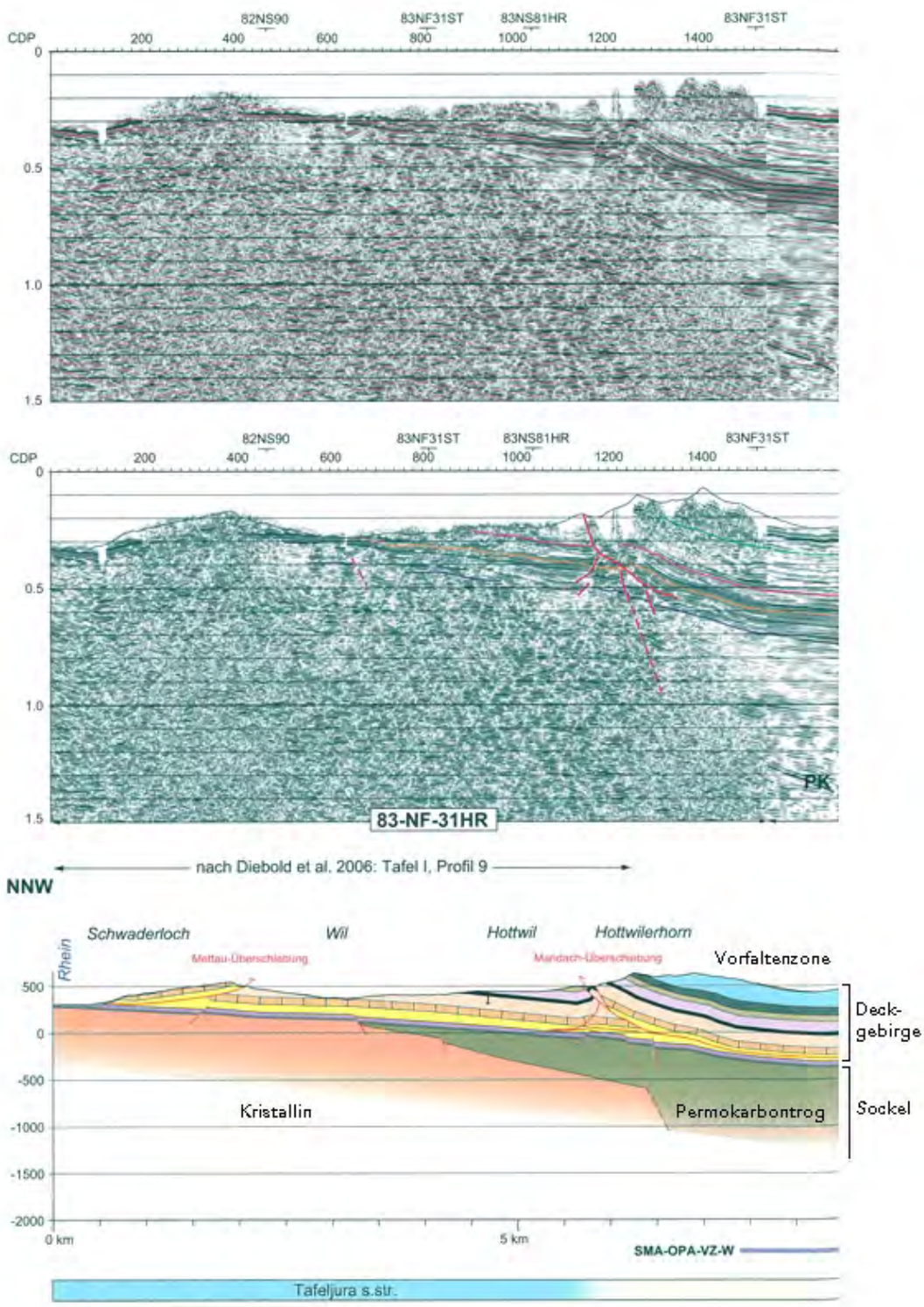
3.7.1.1.5 Structures tectoniques dans le terrain de couverture

L'événement tectonique le plus frappant dans la région de Beznau est le *chevauchement de Mandach*. Tout le chapitre 3.7.1.2.5 lui est consacré.

Le chevauchement de Mandach et les structures tectoniques de la flexure d'Endingen, de l'anticlinal de Siggenthal et de la flexure d'Iflue, situées plus au sud, ont conduit à diviser aujourd'hui le Jura tabulaire en un Jura tabulaire au sens strict et une zone dite des contreforts du Jura plissé [43]. Celle-ci comprend la région du Jura plissé proprement dit, du sud de Brugg au chevauchement de Mandach, ce qui correspond à peu près à la largeur du fossé permo-carbonifère dans cette zone (Fig. 3.7-10). Ce sont en fait aussi d'anciens déplacements et flexures sur la bordure septentrionale du fossé permo-carbonifère, comme par exemple la flexure de Mandach en dessous de la surface de faille inverse du chevauchement de Mandach proprement dit (sub-décollement au sens de Laubscher[50]), qui ont provoqué le cisaillement du chevauchement de Mandach dans les couches ductiles du Trias (Fig. 3.7-3).

Si l'on considère les choses de cette façon, la bordure nord du Jura plissé au sens large longe le chevauchement de Mandach et traverse donc la centrale de Beznau et la pointe méridionale de l'île. La plus grande partie de l'île de Beznau se trouve dans la région du Jura tabulaire au sens strict, avec des couches plus calmes du point de vue tectonique que dans la zone des contreforts du Jura plissé.

Fig. 3.7-3 : Le chevauchement de Mandach à l'ouest de la vallée de l'Aar (tiré de [96], complété)



3.7.1.2 Géologie à proximité du site

Pour la région de l'île de Beznau, la densité des informations géologiques et géotechniques et l'état des connaissances sur le sous-sol est exceptionnellement riche. Il n'existe guère d'autre lieu en Suisse où l'on dispose, sur un espace aussi restreint, d'une quantité comparable de forages, de lignes de sismique-réflexion, de relevés géologiques et d'investigations géotechniques. Les nombreuses données locales sont bien intégrées aux relevés à plus grande échelle et aux réseaux de mesure. Grâce à des bases de données performantes et aux nombreux travaux de recherche effectués dans cette région, on dispose de conditions suffisamment bonnes pour évaluer de manière fiable les aspects géologiques qui jouent un rôle dans le choix du site.

3.7.1.2.1 Base de données avant le projet OPAL

La base de données a été constituée sur quelques décennies et résulte de plusieurs campagnes d'investigation et de mesures qui avaient déjà commencé avant la construction de la centrale nucléaire actuelle et qui se sont poursuivies à diverses occasions dans les années 1970 et au début des années 1980. Les derniers travaux de terrain avant le début du projet OPAL datent des années 1990.

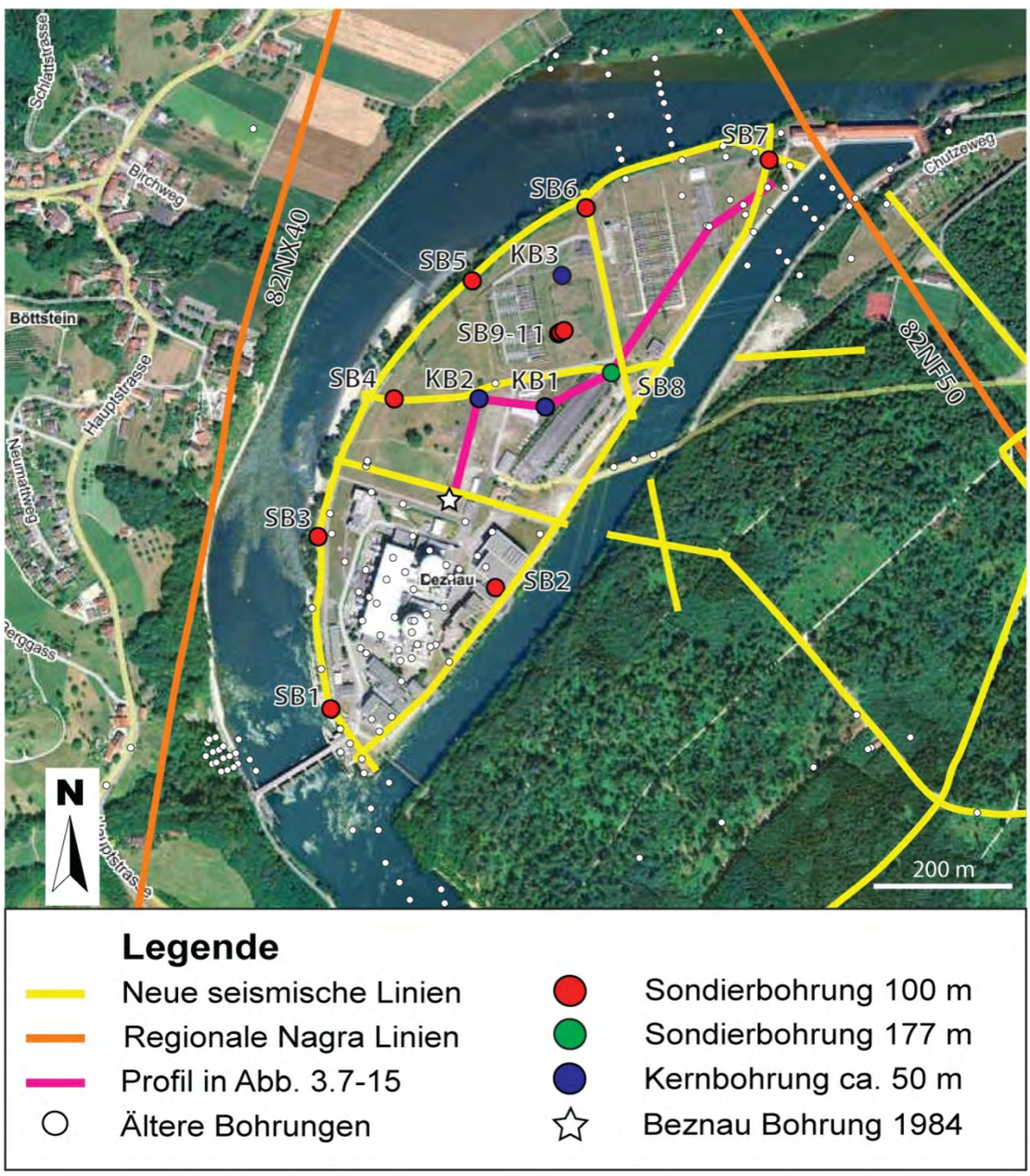
Dans la partie sud-ouest et, dans une moindre mesure, à l'extrême nord-est de l'île, la densité de forages carottés et de forages de reconnaissance était déjà très forte. Avec une profondeur finale de 320 m, le forage le plus profond a été – et reste après le projet OPAL – celui de Beznau, effectué en 1984 à travers le Muschelkalk moyen ([53], voir Fig. 3.7-2 et Fig. 3.7-4). Au nord de l'île, le forage profond de Böttstein, effectué par la Nagra, a creusé le cristallin jusqu'à une profondeur de 1500 m. Dans la partie centrale de l'île, les données de forage étaient lacunaires, si bien que la carte actuelle des isohypses du fond rocheux de cette zone résulte essentiellement d'interpolations. Dans le forage de Beznau, des mesures géophysiques ont été effectuées dans le puits de forage de 320 m de profondeur au moyen de différentes sondes afin de déterminer les paramètres physiques. Ceux-ci, ainsi que d'autres investigations destinées à déterminer la vitesse de propagation des ondes sismiques, fournissent notamment des paramètres permettant de calculer l'« effet de site », c'est-à-dire le renvoi des ondes sismiques par des couches géologiques proches de la surface, spécifique au site. Les données géophysiques fournies par le puits de forage se sont avérées peu fiables, si bien que les experts de l'étude sur les aléas sismiques PEGASOS ont utilisé, dans le cas de Beznau, plusieurs profils alternatifs de vitesses des ondes de cisaillement avec diverses pondérations (voir chapitre 3.7.3.5.5 et Fig. 3.7-31). Les essais et analyses de laboratoire sur les carottes – plus nombreuses que la moyenne et bien documentées pour l'époque – ont au contraire été jugés positifs, ce qui a permis aux experts de se mettre d'accord, pour leur modèle de Beznau, sur un seul jeu de propriétés non linéaires des matériaux.

Des lignes de sismique-réflexion de bonne qualité sont à disposition à l'ouest (82NX40), à l'est (82NF50) et au nord de l'île (83NS81-HR) (voir Fig. 3.7-7 comme exemple). Il s'agit certes de lignes régionales de la Nagra des années 1980, mais dans la région de l'île de Beznau, elles se situent très près les unes des autres et leur orientation est favorable à une bonne compréhension des structures du sous-sol.

3.7.1.2.2 Base de données après le projet OPAL

Le projet OPAL (Osiris-Pegasos-Beznau-Leibstadt) a été lancé début 2008 afin de compléter la base de données existante. Il s'agissait de recueillir des données complémentaires, d'une part pour la demande de l'autorisation de construire de l'EKKB et d'autre part pour le «PEGASOS Refinement Project» (PRP) (voir chapitre 3.7.3.4). Le programme de recherche était orienté sur des données techniques relatives au terrain prévu pour les constructions et sur les paramètres d'entrée destinés à la quantification de l'effet du site (chapitre 3.7.3.5.5). Des investigations complémentaires sur le terrain ont été effectuées là où les données étaient absentes ou lacunaires (au centre de l'île) ou ne satisfaisaient plus aux nouvelles exigences.

Fig. 3.7-4 : Vue d'ensemble des forages existants et des travaux de terrain effectués dans le cadre du projet OPAL



Le programme destiné à l'exploration structurale du sous-sol comportait :

a l'acquisition de plusieurs profils de sismique hybride (une combinaison de sismique réflexion et réfraction),

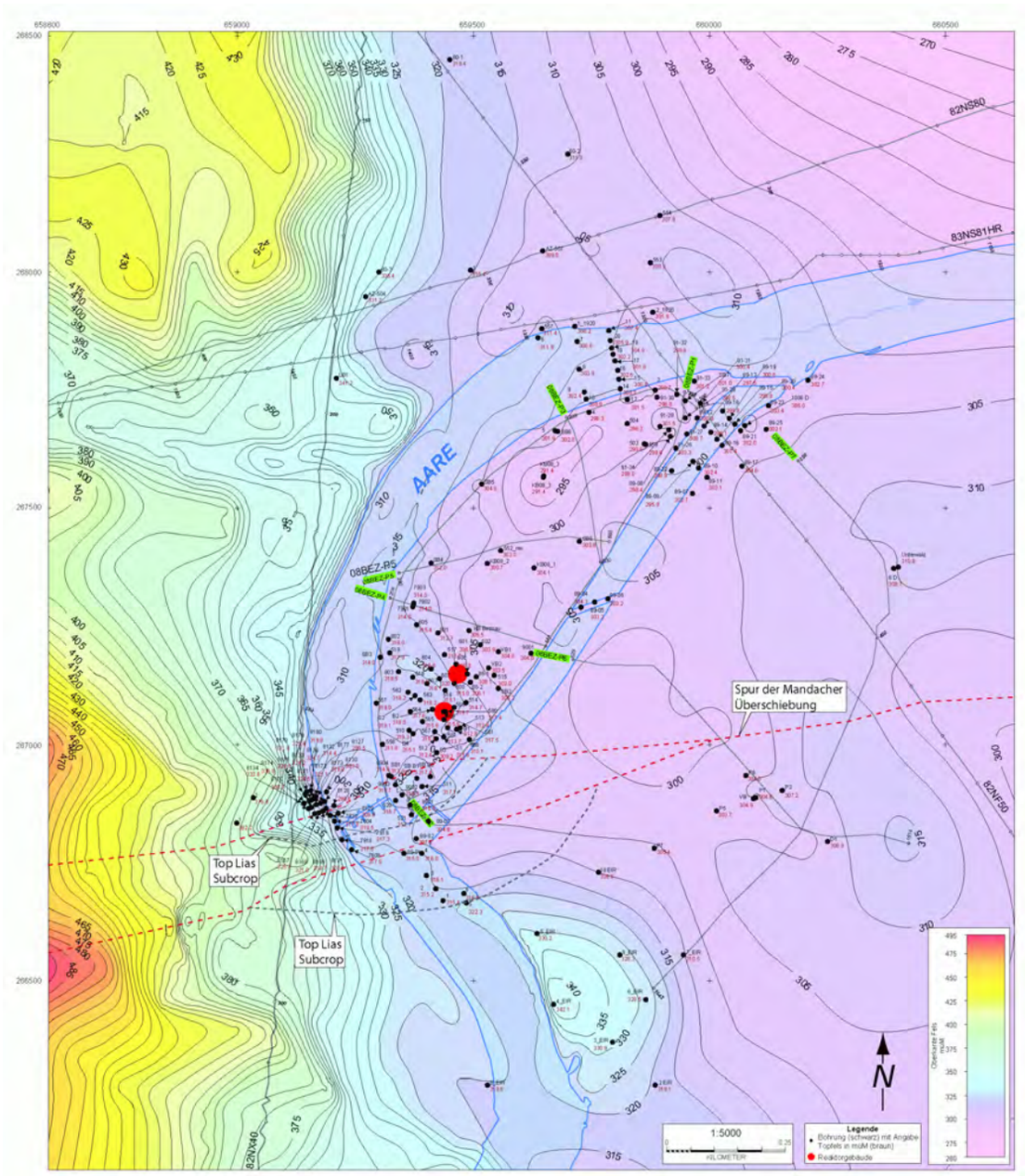
b le creusement de huit forages de reconnaissance (destructifs) avec des mesures géophysiques dans le puits de forage, ainsi que – pour la caractérisation géotechnique de la roche en place et des roches meubles –

c le creusement de trois forages carottés dans la partie (centrale) de l'île prévue pour le nouveau réacteur et

d un programme extensif de mesures de laboratoire sur ces carottes.

Les recherches géophysiques dans les puits de forage comportaient en outre des mesures de la vitesse des ondes de cisaillement avec la méthode *down-hole* dans les forages carottés et la méthode *cross-hole* dans les trois forages de rinçage creusés spécifiquement dans ce but. Des STP (Standard Penetration Tests) in situ et des essais de pression latérale ont également été effectués dans les forages carottés. Une évaluation des données MASW (Multiple Array Surface Wave) des profils sismiques, ainsi qu'une nouvelle mesure MASW de la réponse sismique au sol environnant (Ambient Vibration) – pour lesquelles il s'agit d'analyses de la dispersion des ondes de surface – ont également été effectuées pour déterminer la vitesse des ondes de cisaillement. Finalement, de nouvelles mesures ponctuelles de la relation V/H et de la réponse sismique au sol ont permis de préciser la fréquence propre au site. Toutes ces recherches sont décrites dans [108].

Fig. 3.7-5 : Nouvelle interprétation des isohypses du fond rocheux dans la région de Beznau, à partir des données existantes et des résultats du programme d'investigations sur site OPAL. Les deux points rouges indiquent l'emplacement des bâtiments des réacteurs de KKB 1 et 2 [108]



Les recherches d'OPAL in situ ont permis de détailler et d'affiner les connaissances relatives à la géologie du sous-sol de l'île de Beznau. Les résultats les plus importants pour ce qui est de l'adéquation du site et de la demande d'autorisation générale peuvent être résumés ainsi :

- Conditions géologiques locales : les deux lignes sismiques qui se prolongent loin en direction du sud ont confirmé le tracé est-ouest du chevauchement de Mandach et le fait que celui-ci ne touche pas l'île, mis à part la pointe sud-ouest (voir Fig. 3.7-7). La carte des isohypses du fond rocheux (Fig. 3.7-5) a en outre pu être affinée grâce aux nouveaux forages.
- Modélisation du terrain prévu pour la construction : les recherches en laboratoire ont affiné localement le modèle du terrain prévu pour la construction, sans que les connaissances antérieures aient dû être révisées.
- Influence du site sur les aléas sismiques : les nouveaux essais triaxiaux statiques et dynamiques sur des échantillons du sol ont confirmé pour l'essentiel les propriétés de matériaux non linéaires (voir ci-dessus), qui avaient été déterminées par les anciens essais et entièrement reprises par les experts de PEGASOS. Les investigations destinées à déterminer la vitesse des ondes de cisaillement ont en revanche conduit à de nouveaux résultats. Dans l'optique actuelle, les vitesses des ondes de cisaillement semblent plutôt plus hautes que ce qui avait été évalué dans le cadre du projet PEGASOS sur la base d'une ancienne mesure cross-hole et de la fréquence propre au site. C'est principalement une nouvelle recherche cross-hole qui a fourni la base de ces nouveaux résultats : pour les interpréter, il s'est avéré nécessaire de prendre en considération la grande anisotropie de certaines formations lithologiques, comme celle de l'argile à Opalinus notamment. Les forages effectués sur le nouveau site ont en outre mis en évidence une plus grande épaisseur de roches meubles (env. 24 m pour l'EKKB contre 9 m pour la KKB) et une plus faible épaisseur d'argiles à Opalinus (env. 35 m pour l'EKKB contre 55 m pour la KKB). Malgré cela, les nouvelles déterminations de la fréquence propre au paquet de sédiments, effectuées à l'aide des mesures de la réponse au sol, attestent que cette fréquence spécifique ne varie guère latéralement et se situe entre 2.5 et 2.9 Hz.

3.7.1.2.3 Description de la géologie locale

Sous-sol rocheux : dans la région de l'île de Beznau, la vallée de l'Aar traverse la formation des argiles à Opalinus. Il s'agit d'une argilite faiblement marneuse contenant env. 5% de carbonates, finement délitée à schisteuse et présentant une tendance à l'altération en surface par l'eau, ce qui la transforme en argile meuble. Sur le flanc gauche de la vallée près de Böttstein, en dessous de l'île de Beznau et en dessous de l'Unterwald, limitrophe à l'est, ce sont les argiles à Opalinus qui forment le sous-sol rocheux. Leur épaisseur stratigraphique atteint env. 110 m ; les couches sont inclinées à env. 4° en direction du SSE. Les premiers examens postulaient un affleurement sous faible couverture du Lias au nord de l'île (Fig. 3.7-6:) [44]. Mais une nouvelle interprétation des données de forage montre que le sous-sol rocheux de toute l'île de Beznau est formé d'argiles à Opalinus ; ce n'est qu'au nord de l'Aar que l'on trouve, dans l'affleurement, des couches de marnes et de calcaires du Lias, ce qui a été confirmé par les investigations d'OPAL (forages SP6 et SP7). À env. un kilomètre plus au sud, dans la région de Laufen et du PSI, le sous-sol rocheux est constitué par les calcaires et les marnes du Dogger moyen.

Surface du socle rocheux : dans la région de Beznau, la surface du socle rocheux, c'est-à-dire la surface d'érosion de la roche, y compris la couche d'altération, présente une morphologie très accentuée, comme on le voit sur les cartes des isohypses (Fig. 3.7-5 et Fig. 3.7-6 :). Le chevauchement de Mandach a une influence indirecte sur la morphologie. Sa partie méridionale est surélevée d'au moins 60 m par rapport à la partie septentrionale, ce qui fait qu'au sud du chevauchement – c'est-à-dire au sud de la ramification du canal supérieur – les formations plus profondes du Lias (calcaires et marnes) et parfois aussi du Keuper (marnes et évaporites) sont localement affleurantes (Fig. 3.7-6). Les calcaires du Lias notamment offrent une plus grande résistance à l'érosion. Avant la construction de la centrale hydraulique, ils formaient des barres rocheuses provoquant des rapides dans l'Aar, alors encore indomptée. La centrale de Beznau a été construite sur l'emplacement de la barre des calcaires du Lias, où se trouvait déjà un seuil rocheux naturel.

Comme le montre la carte des isohypses de la Fig. 3.7-5, la surface du socle rocheux sous l'île de Beznau a une inclinaison générale WSW à ENE et se situe à des cotes entre 300 et 305 m d'altitude dans la région de l'EKKB. L'une des particularités est la morphologie finement structurée de la surface du socle rocheux avec des creux, des sillons et des buttes atteignant des différences de hauteur de 5 m ; cette morphologie apparaît mieux aux endroits à forte densité de forages, par exemple dans la zone des nouvelles constructions de la centrale hydraulique. Deux dépressions marquées sont particulièrement frappantes, s'étendant chacune sur env. 20 000 m² avec une profondeur de 10-15 m : l'une se trouve directement en aval de la barre du Lias près de la centrale et l'autre près de l'EKKB en dessous de l'installation en plein air. Ces dépressions fermées sont en partie circulaires, en partie allongées. Il ne s'agit donc pas de creusements fluviaux, mais plutôt de vastes « dolines » qui ont été formées par des eaux de fonte sous-glaciaires lors d'une période glaciaire antérieure et entièrement recouvertes plus tard par des alluvions.

Dans la région de Beznau, le talweg du sillon le plus profond ne suit pas le cours actuel de l'Aar (Fig. 3.7-1 et Fig. 3.7-5). A partir de Stilli, l'axe de la vallée de l'Aar érodée par les glaciers passe à peu près au milieu de la vallée en dessous de l'Unterwald et, près de la centrale au fil de l'eau de Beznau, continue en direction du nord-nord-est en dessous de l'Aar qui, elle, s'oriente vers l'est. L'Aar ne suit pas ce sillon le plus profond, mais à une époque ultérieure, son cours s'est déplacé vers le flanc ouest de la vallée sur les terrasses alluvionnaires inférieures et la rivière s'est encaissée par épigénie dans le substrat rocheux du Dogger, du Lias et des argiles à Opalinus.

Haldimann et al. [44] (voir Fig. 3.7-6) attirent l'attention sur un éperon rocheux masqué qui surmonte le fond de la vallée de l'Aar dans la région de Bränthau (Unterwald) à partir du nord-est. Les forages complémentaires pris en considération et la sismique dont on n'avait alors pas tenu compte (spécialement la nouvelle sismique réfraction) confirment certes, dans cette zone, de petites élévations et buttes de la surface du socle rocheux (Fig. 3.7-5), mais un véritable éperon rocheux dans les argiles à Opalinus au nord du tracé du chevauchement de Mandach – tel que représenté dans la Fig. 3.7-6: – ne peut plus être confirmé aujourd'hui.

Roches meubles : les roches meubles qui remplissent le sillon creusé dans les argiles à Opalinus proviennent d'alluvions fluvioglaciaires. Celles-ci ont une composition hétérogène due à plusieurs générations d'alluvions. Par mesure de simplification, on les appelle ici alluvions des terrasses inférieures, sans donner plus de détails sur l'histoire de leur formation ni sur les alluvions antérieures qu'elles contiennent. L'épaisseur des alluvions correspond à la différence entre la cote de la surface du terrain et celle du socle rocheux. Il n'y a qu'à certains endroits, peu nombreux, qu'une ancienne moraine de faible épaisseur recouvre la surface du socle rocheux.

Le fait que les dépressions mentionnées ci-dessus et notamment la doline près de la centrale de Beznau sont remplies d'une grande épaisseur d'alluvions montre que la surface du socle rocheux a été modelée sous cette forme il y a plus de 25 000 ans (lors du dernier maximum glaciaire) par l'érosion fluviale ou glaciaire. Voici au moins 25 000 ans (vraisemblablement même depuis beaucoup plus longtemps) que cette surface rocheuse, aujourd'hui enfouie sous des alluvions fluvioglaciaires, est cachée sous des alluvions fluvioglaciaires et n'a pas été modifiée par des processus exogènes.

Le chapitre 3.7.2.1 traitera plus en détail la nature et la succession des couches meubles.

3.7.1.2.4 Structures tectoniques locales

Les structures tectoniques décrites aux chapitres 3.7.1.1.4 et 3.7.1.1.5 affectent la région de Beznau de la façon suivante :

A la bordure septentrionale du fossé permo-carbonifère, sous la couverture mésozoïque, on trouve dans le socle certaines *ruptures du fossé* sous forme de failles normales qui traversent la région de l'île de Beznau. L'une des plus importantes, la flexure de Mandach, passe cependant nettement au sud du front du chevauchement de Mandach et donc au sud de l'île (Fig. 3.7-25). Les profils sismiques ne révèlent aucune rupture du fossé sous l'île de Beznau. Ces ruptures concernent avant tout le socle cristallin et le fossé permo-carbonifère.

La *faille de Vorwald*, qui est également une structure du socle, débute au sud de la Forêt-Noire et passe au nord de l'île de Beznau selon une direction ouest-nord-ouest. Elle concerne essentiellement le socle cristallin et le Paléozoïque. Au chapitre 3.7.1.3.2, on verra qu'elle est restée inactive depuis le Miocène.

Selon certaines publications, la faille dite de *Tegerfelden-Kohlgruben* [41] s'étendrait de l'est-nord-est (Ruckfeld) vers la région de l'Unterwald et en direction de l'île de Beznau. D'après les explications fournies au chapitre 3.7.1.1.4, leur existence doit être infirmée.

La *structure de Klingnau*, si elle existe, serait une vaste zone axiale de flexure dans le socle qui s'étendrait en direction SSW-NNE à travers la vallée inférieure de l'Aar et déplacerait toutes les structures du socle selon une direction est-ouest. Des complications géométriques aux abords des intersections pourraient en résulter, mais elles n'auraient aucune conséquence importante pour le site.

Dans la région de l'île de Beznau, la structure la plus importante et la plus frappante est le *chevauchement de Mandach*, auquel est consacré tout le chapitre 3.7.1.2.5.

Les éléments tectoniques situés au sud et au sud-est du chevauchement de Mandach – la flexure d'Endingen, l'anticlinal de Siggenthal et la flexure d'Iflue – se trouvent dans une zone plus éloignée de l'île de Beznau, dans la région dite des contreforts du Jura plissé caractérisée par des structures de compression. Même si ces éléments pouvaient causer des mouvements ou des glissements différentiels, cela n'aurait aucune incidence sur le site.

3.7.1.2.5 Le chevauchement de Mandach

Le chevauchement de Mandach s'étend sous l'Aar, à partir de Frick, où il apparaît comme un décollement WSW-ENE orienté vers le nord près de la ramification du canal supérieur. Encore affleurant sur les flancs de la vallée à l'ouest de la centrale de Beznau, il se prolonge en dessous de celle-ci et continue sous la couverture alluviale de la vallée de l'Aar. Dans la région de l'Aar près de Beznau, il prend la forme d'un recouvrement qui pourrait avoir une composante verticale de plus de 60 m et une composante horizontale de plus de 100 m.

Si l'on se base sur la cartographie détaillée du socle rocheux établie grâce à des sondages et sur les profils sismiques, on doit postuler que le front du chevauchement présente au moins deux lobes (par ex. [44] voir Fig. 3.7-6). La Fig. 3.7-6 doit cependant être corrigée sur la base des recherches les plus récentes effectuées dans le cadre du projet OPAL : deux lobes sont nettement repérables dans la région de la centrale et de l'embranchement du canal supérieur. La division est déjà présente à l'ouest de l'Aar. Les deux lobes se réunissent à environ 600 m à l'est de l'Aar et un seul chevauchement se poursuit en direction de l'est en dessous de l'Unterwald (Fig. 3.7-5).

Dans le compartiment sud, ce sont des calcaires et des marnes du Lias (tout au sud localement aussi des marnes du Keuper) qui forment la surface des deux lobes. Sur le lobe méridional, on peut déduire un déplacement vertical d'au moins 40 m (épaisseur de tout le Lias).

Bitterli [41] signale en outre trois fractures nord-sud dans la région de la centrale. Sur le terrain, on ne peut vérifier que celle qui se trouve le plus à l'est. Comme elle est de faible amplitude et que son influence est minime, elle est considérée comme négligeable.

Dans l'Unterwald, le chevauchement de Mandach n'est certes plus visible en surface, mais son tracé peut être reconstitué de manière fiable grâce aux profils sismiques réalisés et interprétés à l'époque par la Nagra [58] et [43] et aux nouveaux résultats apportés par le projet OPAL [108]. D'après ces données, le chevauchement de Mandach s'étend assez précisément en direction de l'est à partir de la centrale de Beznau (Fig. 3.7-5) et se voit encore nettement dans le profil sismique 82NF50 (Figure 3.7-37). Il semble se perdre plus à l'est.

Les chapitres 3.7.1.3.3 et 3.7.3.6 traiteront plus en détail des mécanismes de mouvement du chevauchement de Mandach. La sismologie du chevauchement et des autres systèmes d'aléas locaux est décrite au chapitre 3.7.3.6.

Fig. 3.7-6 : Carte de 1984 des isohypses du socle rocheux de Beznau [44]

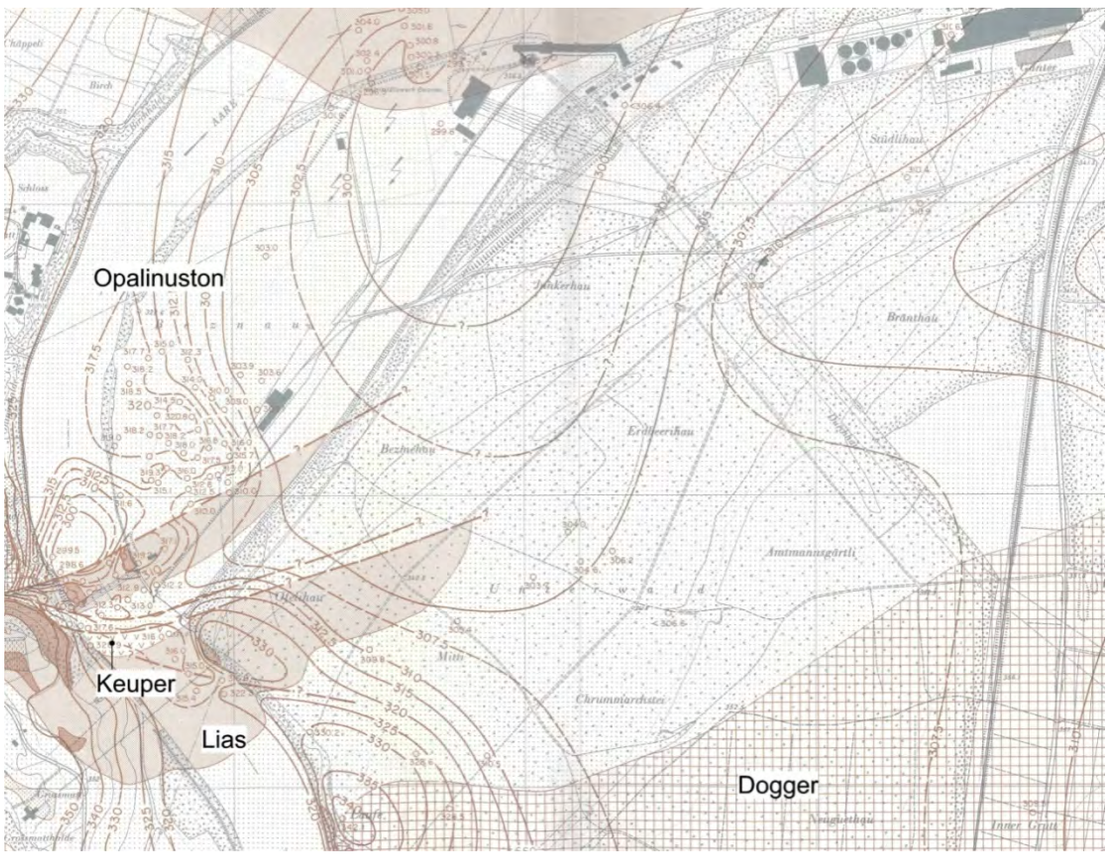
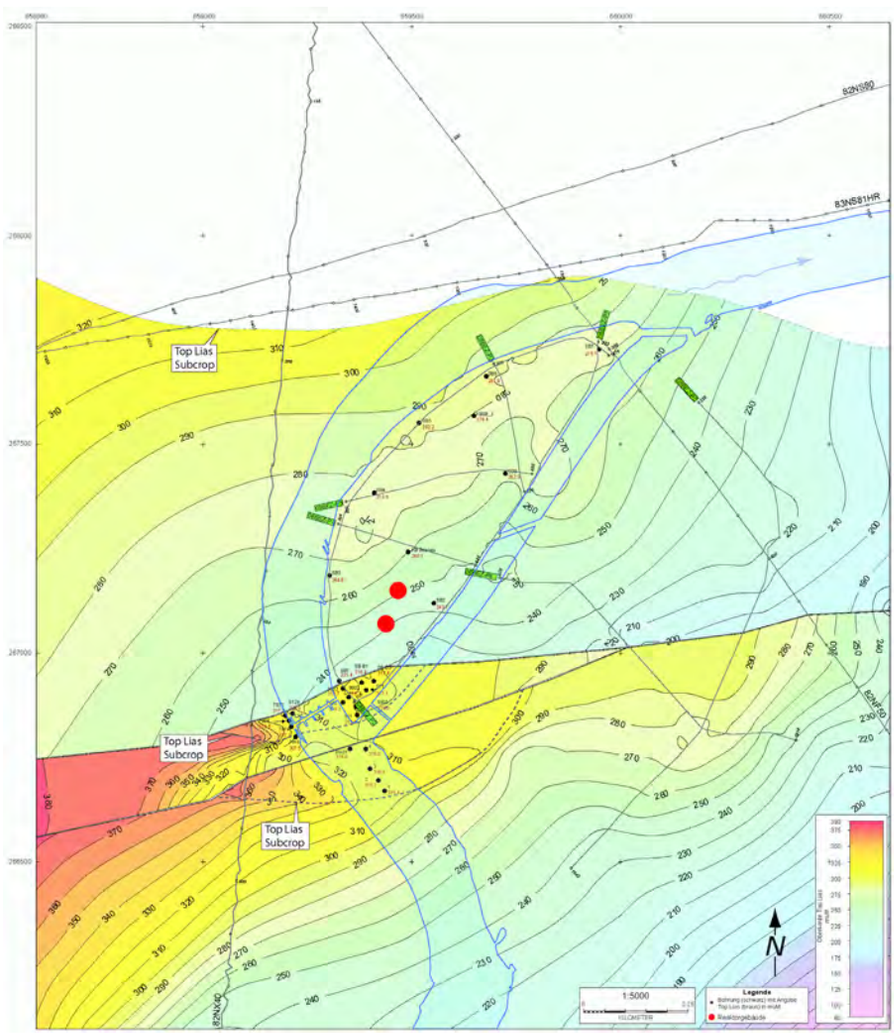


Fig. 3.7-7 : Carte des isohypses du sommet du Lias avec le tracé du chevauchement de Mandach au sud de l'île de Beznau à partir des données disponibles et des résultats du programme de recherches sur le site OPAL. Les deux points rouges marquent l'emplacement des bâtiments des réacteurs de la KKB 1 et 2 [108]



3.7.1.2.6 Hydrogéologie

Grâce à leur grande – voire très grande – perméabilité, les terrasses alluvionnaires inférieures de la vallée de l'Aar constituent un aquifère souterrain de première qualité. L'aquifuge est formé principalement par le socle rocheux, ainsi que localement par des dépôts lacustres et des moraines situés sous les alluvions. Les eaux souterraines des abords du site sont décrites en détail aux chapitres 3.7.2.2 et 3.6. La Fig. 3.7-8 présente un extrait de la carte des eaux souterraines du canton d'Argovie.

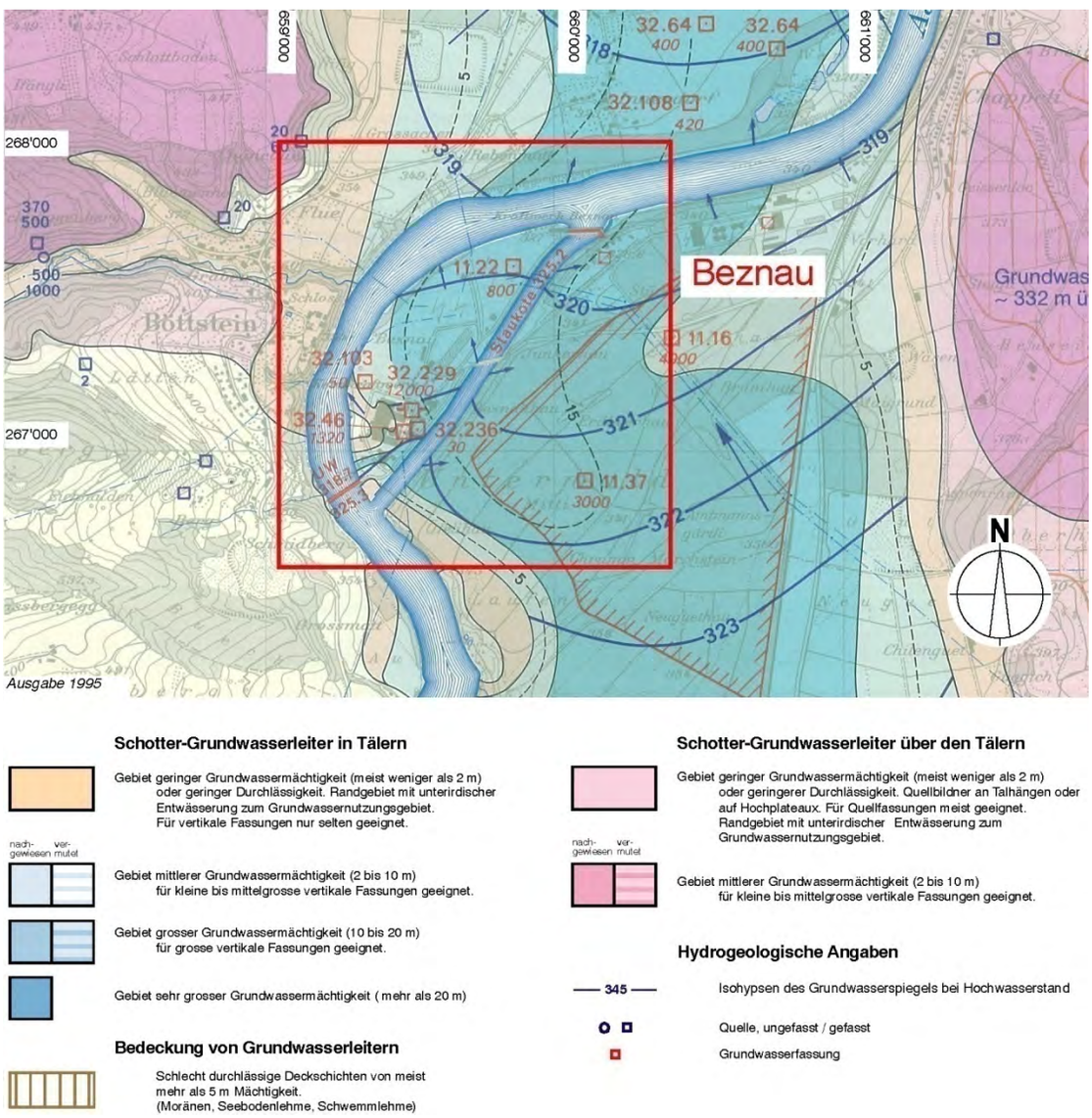
Dans la vallée inférieure de l'Aar, les eaux souterraines s'écoulent de manière générale parallèlement à l'axe de la rivière, approximativement en direction du nord et présentent, en-dehors de la zone d'influence directe de l'Aar, une pente faible d'env. 1-2 ‰ seulement. Aux abords plus immédiats de l'île de Beznau, l'écoulement diffère un peu du modèle général en raison de la retenue des eaux dans le canal supérieur et dans l'Aar. En aval, entre le canal supérieur et l'Aar, les eaux souterraines s'écoulent en direction du nord-ouest avec une chute nettement plus forte.

Dans la vallée inférieure de l'Aar, l'épaisseur utile de la nappe souterraine est généralement d'env. 10-15 m, et même de plus de 20 m localement dans des zones d'étroits chenaux. Elle n'est plus que de moins de 5 m en bordure de la vallée.

Dans la région de l'île de Beznau, l'épaisseur de la nappe souterraine est très variable. Le bord de la nappe utile se trouve directement à l'ouest de la centrale nucléaire. En direction de l'est et du nord-est, l'épaisseur de la nappe souterraine augmente rapidement et atteint déjà 10 m dans la région des bâtiments existants, et même plus de 15 m un peu plus à l'est. Certaines installations existantes de la centrale s'enfoncent profondément en dessous du niveau de la nappe souterraine et limitent ainsi artificiellement l'écoulement par endroits. Dans la région des deux bâtiments du réacteur, dont les fondations se trouvent dans le socle rocheux, l'épaisseur de la nappe souterraine est presque complètement interrompue.

Dans une grande partie de la vallée inférieure de l'Aar, la distance entre le niveau de la nappe et celui du sol – c'est-à-dire l'épaisseur des alluvions sèches déposées au-dessus des eaux souterraines – est considérable et atteint env. 15-30 m. Dans la région des terrasses alluviales les plus basses, cette distance s'amenuise et n'est plus que de 3 à 6 m dans la région de l'île de Beznau, en fonction de la cote du terrain.

Fig. 3.7-8 : Extrait de la carte des eaux souterraines du canton d'Argovie



Les variations du niveau de la nappe souterraine sont généralement modestes en raison de l'effet régulateur de l'Aar. En cas de variations saisonnières normales, les amplitudes n'atteignent qu'env. 1 m. Elles peuvent s'élever à env. 2 m en cas de niveaux d'eau extrêmes.

Les eaux souterraines se renouvellent par l'infiltration des précipitations dans le fond de la vallée, par l'afflux des eaux provenant des flancs de la vallée et surtout par l'infiltration des eaux de l'Aar.

3.7.1.3 Modèle géodynamique

3.7.1.3.1 Objectif

Le modèle géodynamique présenté ici donne une vue d'ensemble de la modélisation géodynamique dans la région de Beznau sur laquelle se base le rapport de sécurité.

Fig. 3.7-9 : Carte tectonique synoptique (tirée de [96], complétée)



3.7.1.3.2 Tectonique du socle

Sous la succession des couches mésozoïques, la bordure septentrionale du fossé permo-carbonifère du nord de la Suisse, qui a une direction WSW-ENE, est en contact avec le socle cristallin. Les failles de la bordure du fossé ont été actives surtout au Carbonifère supérieur et au Permien inférieur (failles normales à vergence sud-est). Le long de ces failles, les épaulements du fossé d'une part et la partie centrale de celui-ci d'autre part se sont affaissés de plusieurs centaines, voire milliers de mètres.

Les derniers affaissements notables, comprenant aussi les épaulements du fossé sur lesquels se déposaient encore des sédiments, ont certainement eu lieu au Permien supérieur (Fig. 3.7-10). Les failles de la bordure septentrionale du fossé permo-carbonifère sont donc très anciennes, puisqu'elles ont une incidence sur le socle cristallin avec le fossé permo-carbonifère et les épaulements de celui-ci (Permien), mais pas sur la couverture composée des couches stratigraphiques du Mésozoïque. Cette interprétation est corroborée par les trois profils sismiques 82NX40, 82NF50 et 82NS80 (Sprecher & Müller [58], Diebold et al. [43] et Nagra [96]). La publication [43] confirme aussi que dans la vallée inférieure de l'Aar, la tectonique hercynienne – avec ses coulissements dextres de la bordure septentrionale du fossé permo-carbonifère –

n’influence pas les couches du Mésozoïque, mais qu’elle était déjà complètement inactive à la fin du Permien, à la seule exception peut-être du prolongement de la faille de Vorwald, qui a pu rester active jusqu'au Miocène (voir ci-dessous).

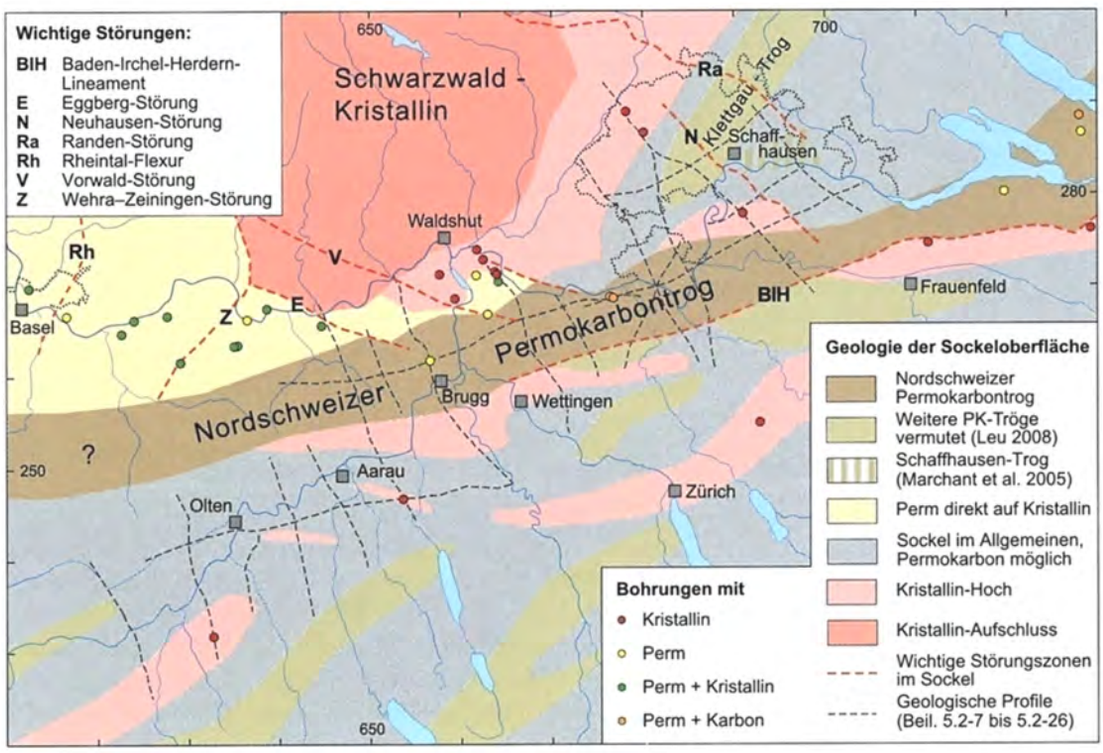
Comme on a pu prouver que les failles de la bordure septentrionale du fossé permo-carbonifère sont restées inactives depuis la fin du Permien, la question de mouvements néotectoniques ne se pose pas. Les failles de cette bordure ne présentent pas non plus de potentiel de séisme ou de mouvement de surface.

La bordure septentrionale du fossé permo-carbonifère est fractionnée par différentes surfaces de failles de direction NW-SE (décrochements dextres en général). La bordure et les épaulements du fossé sont de ce fait déplacés en différents corps lenticulaires poussés l’un contre l’autre dans le sens horaire. La fracture la plus importante est la faille de Vorwald, qui s’étend de la Forêt-Noire, par Albbruck, à la région du nord de l’île de Beznau et semble se perdre à l’est de la vallée de l’Aar (Fig. 3.7-10).

L’activité principale le long de ces failles a également eu lieu au Carbonifère et au Permien : le socle a été cisaillé et fragmenté par ces mouvements, dont certains ont atteint plusieurs kilomètres à l’horizontale et plusieurs centaines de mètres à la verticale.

Des indications de mouvements plus récents n’apparaissent tout au plus que le long de la faille de Vorwald. Dans la Forêt-Noire, on constate une dernière phase d’activité de celle-ci à l’Oligocène comme faille normale à vergence sud avec un déplacement vertical d’un peu plus de 100 m et avec une tendance nettement décroissante vers l’est, en direction de la Suisse. Dans la petite vallée d’Unterendingen, on distingue, dans les calcaires du Malm, une flexure à vergence sud que l’on pourrait interpréter comme un prolongement de la faille de Vorwald. La couverture non faillée de cette flexure consiste en un poudingue à huîtres du Miocène, ce qui permet de déduire que les derniers mouvements auraient eu lieu après le Malm, mais avant le Miocène et donc il y a plus de 25 millions d’années. Les observations faites en Forêt-Noire peuvent ainsi être confirmées.

Fig. 3.7-10 : Structures du socle (tiré de Nagra NTB 08-04 [96])



3.7.1.3.3 Tectonique des roches de couverture

Les roches de couverture formées par la succession des couches du Mésozoïque reposent sans perturbation sur les structures hercyniennes du socle. Leur sédimentation s'est effectuée dans des conditions relativement calmes entre le Trias (il y a env. 245 millions d'années) et le Malm supérieur (il y a env. 160 millions d'années). Au cours de cette longue phase de sédimentation relativement calme, seules les couches du Trias présentent certains signes qui font penser que les anciennes structures hercyniennes du socle auraient encore été actives.

Entre le Malm et le milieu du Tertiaire, c'est-à-dire pendant tout le Crétacé, la région était continentale et donc soumise aux altérations météoriques, ce qui a provoqué le développement de systèmes karstiques profonds dans les calcaires du Malm. Au Tertiaire, dans le contexte de la formation des Alpes, les couches du Mésozoïque ont subi une contrainte tangentielle sud-nord et dès le Miocène supérieur, il y a env. 12 millions d'années, la chaîne du Jura a commencé à se former. Au sud de Brugg, ces phénomènes s'expriment par le plissement et le chevauchement du Jura. Au nord, dans le Jura tabulaire, la contrainte tangentielle a provoqué un décollement des couches du Mésosoïque au niveau des évaporites du Trias moyen. C'est ainsi que les couches du Jura tabulaire ont formé des structures anticlinales et des flexures le long d'axes de direction principalement E-W, dont les plus importants sont la flexure d'Endingen et l'anticlinal de Siggenthal avec la flexure d'Iberig. Tous ces éléments structuraux sont dus au cisaillement des roches de couverture au-dessus du socle. En raison des nombreux phénomènes tectoniques dans la zone comprise entre le Jura plissé et le chevauchement de Mandach, cette partie du Jura tabulaire est appelée aujourd'hui « contreforts du Jura plissé » (Fig. 3.7-9).

La plus septentrionale de ces structures résultant de contraintes tangentielles est le chevauchement de Mandach, qui, à partir de Frick et selon une direction WSW-ENE, passe à travers la centrale de Beznau, puis semble se perdre sous la vallée de l'Aar. Le prolongement oriental du chevauchement dans la vallée de la Surb n'est pas clairement identifiable. Il est tout à fait envisageable que la flexure et le chevauchement de Mandach se séparent à l'est de l'Unterwald. La flexure de Mandach, en tant que structure du socle et témoin des failles normales WSW-ENE de la bordure du fossé, pourrait se poursuivre en direction de l'est-nord-est, alors que les manifestations dues à la compression du chevauchement de Mandach pourraient être compensées dans les flexures, relativement nombreuses.

3.7.1.3.4 Indices de mouvements néotectoniques

Dans les contreforts du Jura plissé et dans la zone du chevauchement de Mandach, les mouvements tectoniques sont étroitement liés au plissement du Jura et ont été actifs surtout au Miocène supérieur (il y a 12 millions d'années) et au Pliocène (il y a 3 millions d'années).

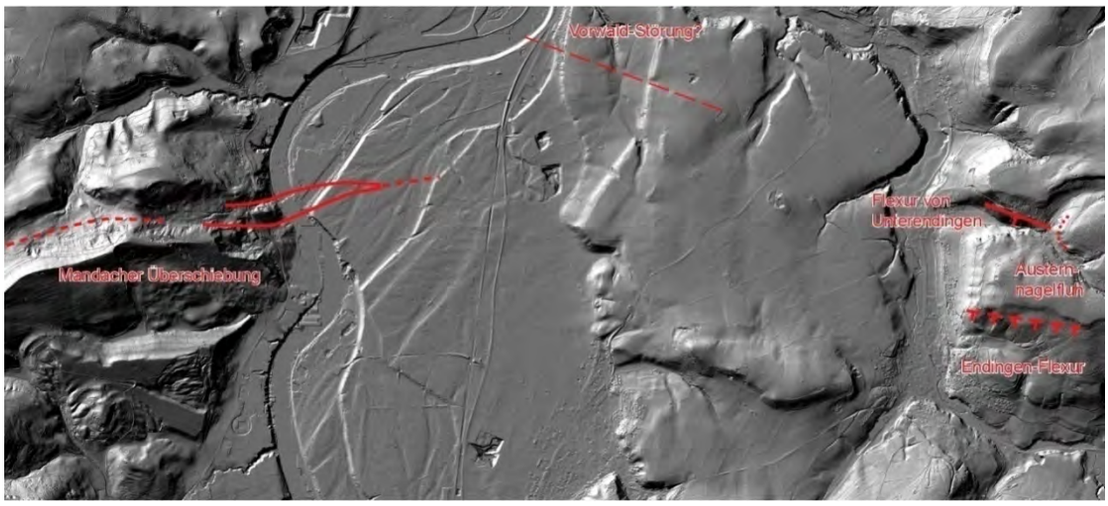
Sur la base de différents arguments, Haldimann et al. [44] avaient postulé que le long du chevauchement de Mandach, des mouvements néotectoniques avaient eu lieu à une époque plus récente, c'est-à-dire au Quaternaire et même encore aujourd'hui. Selon les données les plus récentes, cette étude doit cependant être corrigée sur un point important.

Le seuil rocheux constitué d'argiles à Opalinus, identifié en 1984 sur la base de trois forages à Bränthau, au nord du tracé du chevauchement de Mandach (voir Fig. 3.7-5 et Fig. 3.7-6:), ne peut plus être confirmé aujourd'hui sous sa forme d'alors (chapitre 3.7.1.2.2). La représentation des isohypses de la surface rocheuse, reconstituée sur la base des données actuelles, ne fournit aucun indice de mouvements qui auraient eu lieu depuis l'érosion glaciaire du fossé rocheux il y a plusieurs centaines de milliers d'années (Fig. 3.7-5).

Les données actuelles ne fournissent plus aucun argument pour le soulèvement postulé par [44], qui serait survenu au Pléistocène supérieur dans le compartiment sud du chevauchement de Mandach, avec des taux d'env. 8 mm par siècle.

Aucun indice de mouvements qui auraient eu lieu il y a moins de 20 000 ans dans les terrasses alluviales, notamment dans le niveau d'accumulation de la terrasse inférieure – qui date de 20 000 ans - n'a pu être trouvé, non plus, dans les dernières études de la morphologie de surface dans la vallée de l'Aar [98], même avec un modèle numérique à haute résolution du prolongement oriental du chevauchement de Mandach (Fig. 3.7-11).

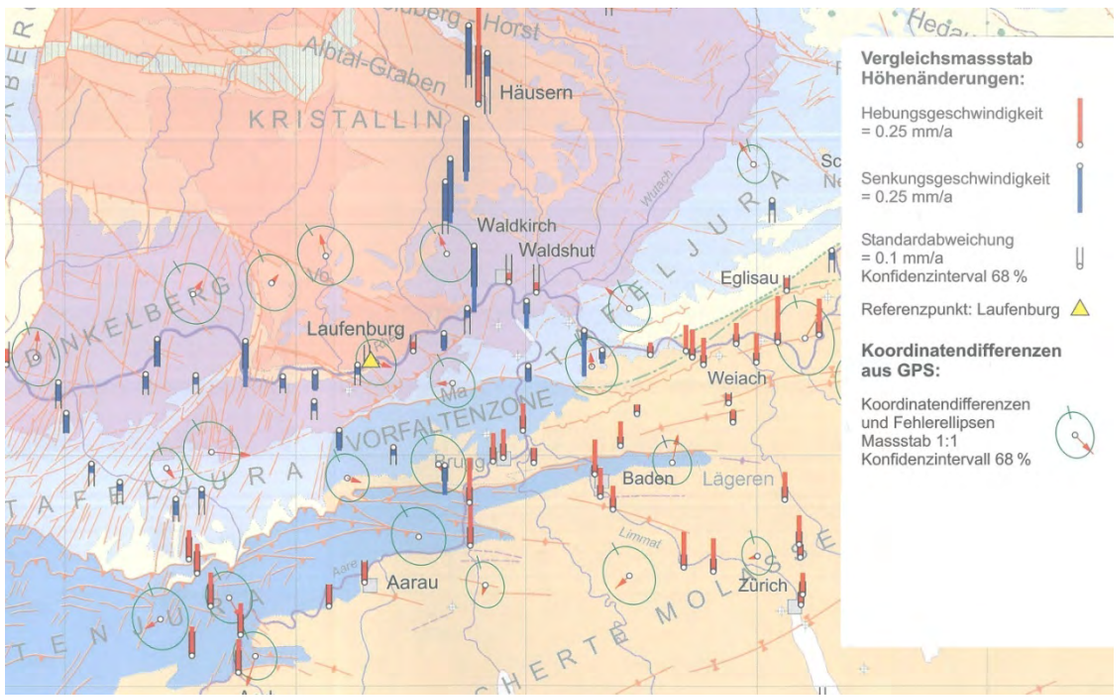
Fig. 3.7-11 : Modélisation numérique du terrain de la région de l'Unterwald



Les dernières mesures géodésiques de haute précision des mouvements verticaux récents de la croûte terrestre montrent toutefois que toute la région du Jura tabulaire argovien, y compris les contreforts du Jura plissé, est soumise à un mouvement général de bascule, avec une tendance à l'élévation – dans la région du Jura plissé et dans la zone de Brugg – et à l'affaissement – le long d'une ligne Laufenburg-Coblence-vallée de la Wutach (Fig. 3.7-12). Les mesures géodésiques indiquent une vitesse d'abaissement d'env. 0.1 mm par an dans la région de Coblence et une vitesse d'élévation d'env. 0.1 mm par an également dans la région de Brugg.

Des indices confirmant ces mouvements récents à grande échelle ont été fournis par des particularités de la géométrie du réseau hydrologique. Si l'on observe le cours de l'Aar entre Würenligen et Böttstein, on voit que dans ce secteur, la rivière s'est écartée de l'axe central et déplacée complètement vers le bord gauche de la vallée et que près de la centrale de Beznau, à l'emplacement du chevauchement de Mandach, elle s'est même encaissée dans la roche par épigénie.

Fig. 3.7-12 : Mouvements verticaux récents de la croûte terrestre (tiré de [52])



Ces observations pourraient être considérées comme indices d'un basculement vers le nord-ouest de la vallée inférieure de l'Aar au Pléistocène supérieur, car dans l'Unterwald, dans le prolongement oriental du chevauchement de Mandach, on distingue très bien un déplacement successif du cours de l'Aar du sud-est au nord-ouest dans différentes bordures des terrasses alluviales (Fig. 3.7-11). A partir de là, on peut faire l'hypothèse suivante : en raison d'une élévation néotectonique lente et continue de la région de l'Unterwald, l'Aar postglaciaire aurait pu être peu à peu déviée vers l'ouest et le nord-ouest au cours des 25 000 dernières années.

Une publication de la Nagra [96], basée sur Graf 1993 [99], indique des mouvements néotectoniques au Pliocène. Dans [99], on postule qu'à l'époque où la couverture alluvionnaire était la plus haute, un hypothétique chenal S-N se serait formé à la suite d'élévations le long du chevauchement de Mandach. L'existence d'un chenal, tel que Graf l'entend, peut cependant être réfutée par des arguments géologiques : dans la région de Mandach, les alluvions sont des reliquats d'une plaine alluviale fluvioglaciaire autrefois plate avec un système de rivières tressées (« braided river system »). Ni l'agencement des galets, ni la géométrie de la limite inférieure des alluvions ne permettent de déduire qu'un chenal de Mandach orienté S-N aurait pu être creusé à la suite d'élévations le long du chevauchement de Mandach. Au vu de la topographie de l'Egg au sud de Mandach, cette élévation aurait en outre dû atteindre env. 100 m, ce qui n'est pas plausible.

Aucun endroit n'a donc fourni d'indices de mouvements néotectoniques près du chevauchement de Mandach. On ne trouve notamment aucun déplacement de terrain, dans la région présumée du chevauchement de Mandach, qui serait apparu aux époques mentionnées, ni dans le soubassement rocheux (âge : plusieurs centaines de milliers d'années), ni dans le niveau d'accumulation de la terrasse inférieure de l'Unterwald (âge : env. 20 000 ans) (Fig. 3.7-11). En d'autres termes : pour le Pléistocène supérieur et l'Holocène, on ne dispose d'aucun indice permettant d'affirmer que des déplacements liés au front du chevauchement de Mandach ont eu lieu ou ont lieu le long de celui-ci.

3.7.1.3.5 Potentialité de déplacements de surface

Pour être capable de provoquer des déplacements différentiels et par conséquent des dommages aux bâtiments ou aux installations de l'EKKB, les déplacements en surface liés à la tectonique le long du chevauchement de Mandach devraient

a être liés à une structure tectonique discrète qui passerait directement à-travers les fondations de la nouvelle installation

b se produire relativement rapidement (en quelques décennies) et atteindre un ordre de grandeur significatif de plusieurs mm par événement.

Aucune de ces deux conditions n'est remplie à Beznau.

Concernant A : il est prouvé que le chevauchement de Mandach – bordure septentrionale des contreforts du Jura plissé dominés par une tectonique compressive, avec toutes ses ramifications connues – passe à plusieurs centaines de mètres au sud-est du site du réacteur et que les nouvelles constructions de l'EKKB se trouvent au-dessus des couches tectoniquement calmes du Jura tabulaire au sens strict. Sous l'île de Beznau, on n'a cartographié aucune structure tectonique susceptible d'induire des déplacements en surface.

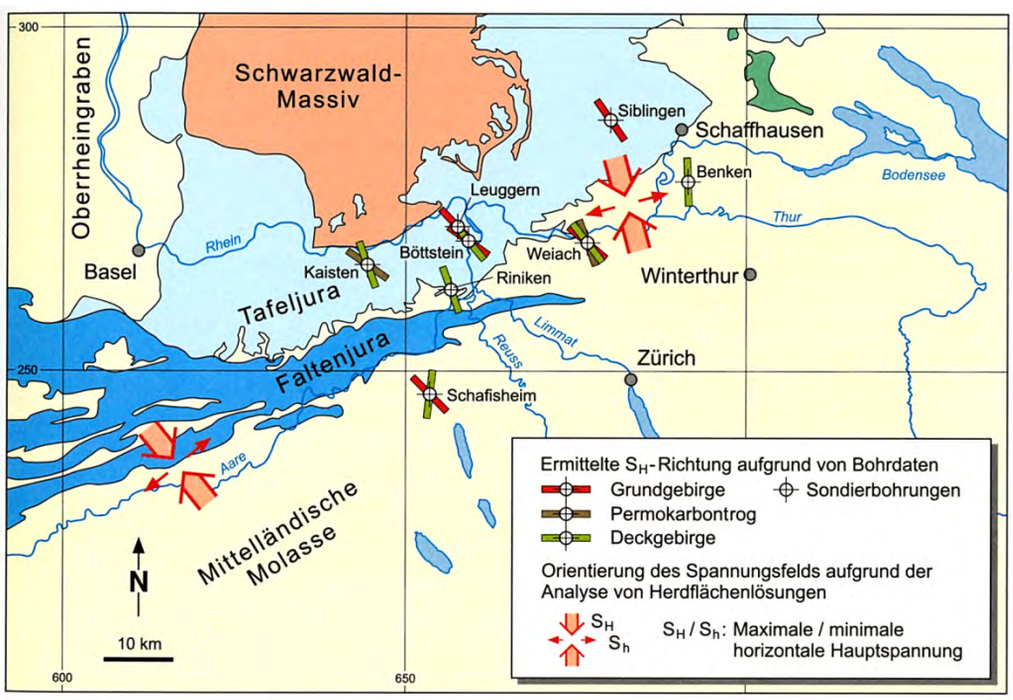
Concernant B : on a montré précédemment qu'aucun indice de mouvements néotectoniques n'a été trouvé le long du chevauchement de Mandach. Comme indiqué ci-dessus, on ne peut cependant pas exclure complètement que d'éventuels mouvements néotectoniques du sous-sol à grande échelle se soient produits au Pléistocène et éventuellement aussi à l'Holocène. Mais il s'agirait alors de *mouvements régionaux lents et continus sur une grande étendue*, d'un ordre de grandeur de 0.1 mm par an au maximum. Ces mouvements ne sont pas liés à une structure donnée et ne peuvent pas endommager les constructions et installations de l'EKKB.

Lors des travaux de construction effectués jusqu'à maintenant sur l'île de Beznau, on n'a observé aucune déformation dans les roches meubles qui pourrait être attribuée à des processus tectoniques. Lors de la phase de réalisation du projet de construction de l'EKKB, il s'agira, dans le cadre d'un accompagnement géologique sur le chantier, d'être spécialement attentif à des signes de processus tectoniques dans les roches meubles. Pour ce faire, des relevés géologiques sont prévus à toutes les étapes du creusement.

3.7.1.3.6 Bilan des contraintes tectoniques

Les structures observées dans la couverture de la zone des contreforts, tout comme le mouvement de basculement dont il a été question plus haut, sont l'expression d'un cisaillement de direction SSE-NNW. Preuve en sont les principales directions de contraintes horizontales induites des mécanismes au foyer des séismes et les données de forage, telles que présentées par exemple dans [96] (Fig. 3.7-13). Il est intéressant de noter que l'état des contraintes dans le socle (contrainte principale orientée plutôt SE-NW) est découplé de celui de la couverture (orientation plutôt S-N).

Fig. 3.7-13 : Orientation des contraintes récentes (tiré de [96])



3.7.1.3.7 Sismicité récente, profondeur des foyers

Les cartes de l'aléa sismique du Service sismologique suisse (SED) recensent les observations historiques (depuis env. 1000 apr. J.-C.) et instrumentales (depuis 1975) des séisme (Fig. 3.7-14 en haut). Elles montrent que l'activité sismique est nettement plus élevée dans la région de Bâle et en Valais. La partie orientale des Grisons et la vallée du Rhin dans le canton de Saint-Gall ont aussi une activité sismique relativement importante. Le bassin molassique central – sur lequel se trouve le site de Beznau – présente en revanche une fréquence de séismes nettement plus faible. Dans cette région, les épicentres sont répartis de manière diffuse et ne peuvent pas être mis en relation avec des accidents tectoniques connus.

Des différences régionales importantes se marquent aussi pour ce qui concerne la profondeur des foyers : au nord des Alpes, les foyers sismiques se répartissent sur toute l'épaisseur de la croûte supérieure et inférieure jusqu'à une profondeur de plus de 30 km. Au sud d'une ligne qui correspond à peu près au front des nappes helvétiques, les séismes n'apparaissent plus que dans les 10-15 km supérieurs (Fig. 3.7-14, en bas). Des foyers profonds sous la molasse du Plateau ou sous le Jura sont inhabituels pour une plateforme continentale stable (« intraplate region »). On présume généralement que, dans la croûte inférieure, la roche ne subit plus que des déformations ductiles en raison des conditions de pression et de température. Les raisons de la présence de ces foyers profonds ne sont pas évidentes ; Deichmann [97] tente de l'expliquer par la présence d'eaux sous haute pression qui pourraient fortement abaisser la résistance à la pression tangentielle de zones de faiblesse préexistantes, au point que des ruptures cassantes seraient possibles même en profondeur, là où en conditions anhydres ou de faible pression d'eau on s'attendrait à une déformation ductile.

Bien que le catalogue des séismes et les cartes qui en découlent contiennent un nombre impressionnant d'observations aussi bien historiques qu'instrumentales, la période concernée ne suffit pas à donner une image représentative de la répartition de l'aléa – notamment en raison des faibles taux de déformation et de la fréquence peu élevée des séismes. Au vu des données actuelles, il n'est pas encore possible de savoir si la répartition spatiale de l'activité sismique restera la même ou si, dans un avenir lointain, les séismes vont se multiplier dans d'autres régions.

Fig. 3.7-14 : Sismicité et répartition de la profondeur des foyers (tiré de [96])

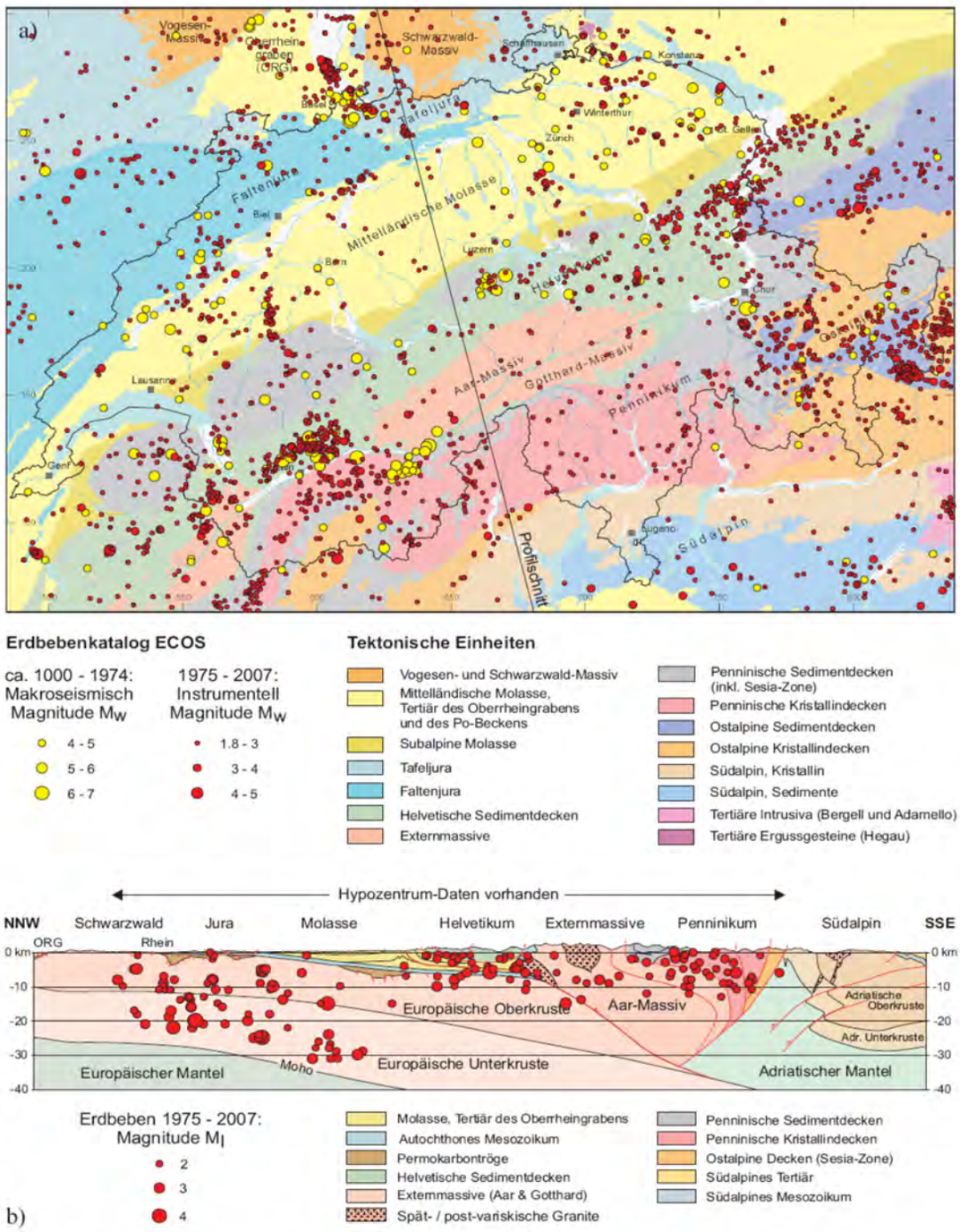


Fig. 2.7-7: Seismizität in der Schweiz (detaillierte Erläuterungen s. gegenüberliegende Seite).

3.7.2 Propriétés du sol de fondation

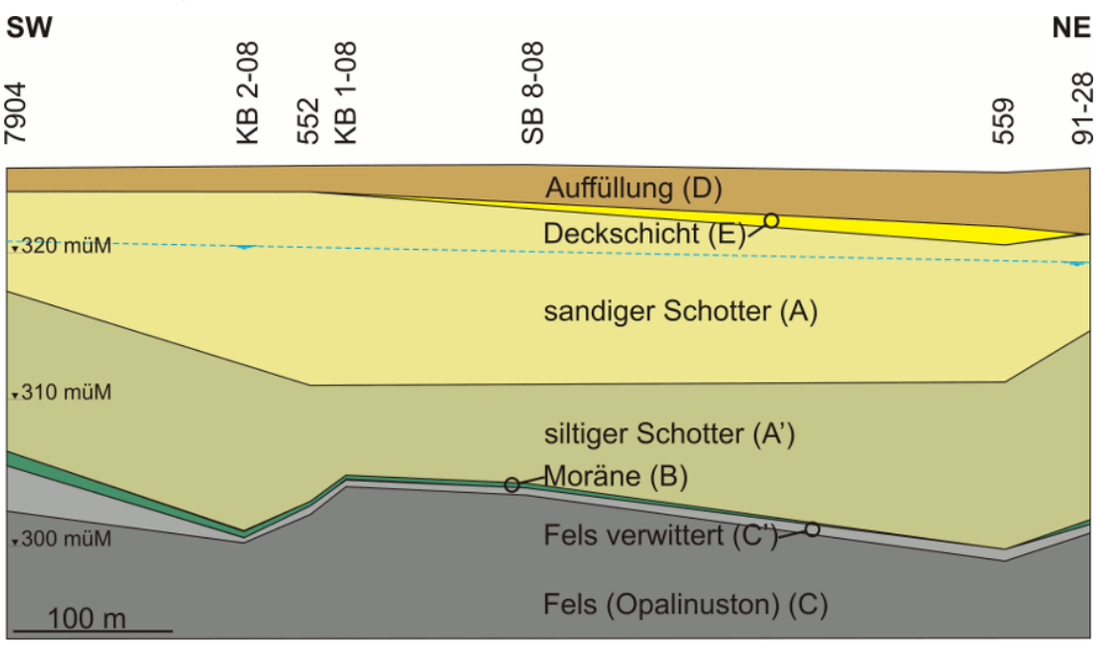
3.7.2.1 Modélisation du sol de fondation

3.7.2.1.1 Modelés des couches

Le profil géologique de la Fig. 3.7-15 fait apparaître les couches que l'on rencontre dans la zone du sol de fondation, ainsi que leurs délimitations. Dans tout le secteur, sous un faible remplissage (couche D) ou localement sous une couche de couverture à granulométrie fine et de faible épaisseur (couche E), le sol est essentiellement composé d'alluvions (alluvions des terrasses inférieures). Selon les expériences à disposition, celles-ci peuvent être subdivisées en alluvions supérieures, plutôt propres (sables, couche A) et inférieures (silt, couche A'). Ces deux couches se distinguent peu l'une de l'autre : des graviers sablonneux propres apparaissent aussi dans la couche inférieure. Localement, on trouve encore une moraine peu épaisse sous les alluvions (couche B), sinon c'est la surface du socle rocheux qui suit avec un relief relativement faible (cote du bord supérieur entre env. 299 m et 305 m, env. 20-25 m en dessous du niveau du sol). A env. 1-3 m en dessous de la surface du socle, la roche est altérée (couche C'), puis vient l'argile à Opalinus non altéré (couche C).

A différentes profondeurs apparaissent des lentilles de sable bien lavé dans les couches alluvionnaires composées de graviers limoneux à sablonneux. L'épaisseur de dépôt des roches meubles est importante, à l'exception du remplissage et de la couche de couverture. Le niveau moyen de la nappe souterraine se trouve à env. 3-6 m en dessous de la surface.

Fig. 3.7-15 : Profil géologique de la zone de construction avec le modelé des couches de roches meubles et l'emplacement de la surface du socle rocheux



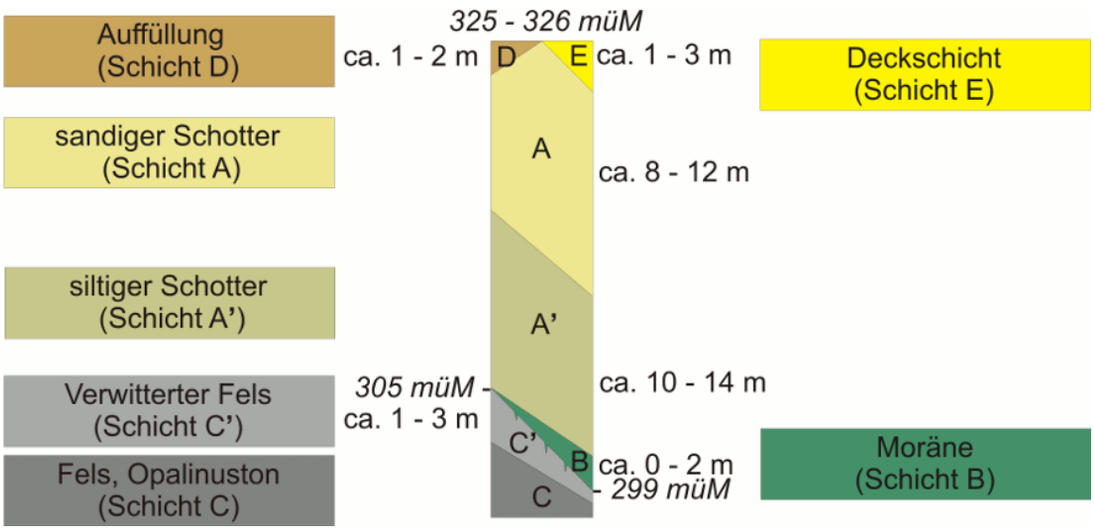
3.7.2.1.2 Description géotechnique des couches

Couche A

Dans la couche A (alluvions sablonneuses), on trouve principalement des graviers sablonneux propres bien gradués (de type GW selon USCS = Unified Soil Classification System), mais aussi des graviers propres mal gradués (GP) et des graviers faiblement limoneux (GM). Des parties riches en particules fines composées de sables mal gradués (SP) n'apparaissent qu'en quantité peu importante sous forme de lentilles ou de couches intermédiaires de faible épaisseur. Celles-ci sont réparties de manière irrégulière dans toute la profondeur et présentent des épaisseurs atteignant 1 m au maximum. Dans les forages KB 1 à KB 3 sur le site de l'EKKB (pour l'emplacement des forages, voir Fig. 3.7-4, version 2008), la proportion des couches sablonneuses dans les alluvions se situe entre 4 et 8% au maximum. Globalement, la couche A se compose donc principalement de matériaux graveleux avec une granulométrie atteignant env. 30 cm au maximum. Cette couche présente une haute à très haute compacité. Les essais SPT au pénétromètre statique (SPT = Standard Penetration Test) ont donné des nombres compris entre env. 40 et nettement plus de cent coups, ce qui correspond à une compacité forte à très forte. Les trois forages ont été accompagnés chacun d'un sondage au « mouton » pour déterminer la compacité. En raison de la très haute densité, ceux-ci n'ont pas pu être poursuivis au-delà de 1.63 m (pour KB 1) et de 2.13 m (pour KB 2) de profondeur. Ce n'est que pour KB 3 que le sondage a pu atteindre 6.14 m en raison de résistances moyennes au mouton. Des essais de pression latérale ont aussi été effectués au-dessus du niveau de la nappe souterraine. Les coefficients de compression initiale mesurés présentent de fortes variations entre 10 et plus de 100 MN/ m^2. Les valeurs basses peuvent certainement s'expliquer en partie par l'ameublissement de la paroi du trou de forage dus à celui-ci ; mais pour KB 3, le sondage révèle aussi une moindre résistance des alluvions.

Par endroits apparaissent aussi des encroûtements calcaires dans les éléments. La perméabilité de la couche A est variable, mais on estime globalement qu'elle est forte. En raison de la stratification des alluvions, on doit considérer que la perméabilité horizontale est env. dix fois plus grande que la verticale. Dans les roches meubles, la couche A forme la partie supérieure de l'aquifère souterrain.

Fig. 3.7-16 : Structure schématique du sol de fondation avec épaisseurs des couches



Couche A'

Par rapport à la couche A, la couche A' présente une proportion un peu plus importante de matériaux fins (fractions d'argiles et de limons), mais la part des graviers est encore dominante. Outre les types mentionnés dans la couche A apparaissent aussi des graviers de type GC et GC-GM ; on trouve également des lentilles ou des couches de sable de faible épaisseur (jusqu'à 0.9 m). Sur une pénétration de 30 cm (valeur N30), les essais SPT ont donné des valeurs comprises entre environ 76 et nettement plus de 100 coups, ce qui correspond à un dépôt très compact. Les composants des graviers sont souvent à arêtes émoussées ou complètement arrondis et présentent encore parfois des stries prouvant qu'ils se sont formés à proximité de glaciers.

Globalement, la perméabilité de la couche A' est plus faible que celle de la couche A, mais néanmoins encore très grande. La couche A' forme la partie inférieure de l'aquifère productif.

Couche B

La couche B présente la composition granulométrique typique des moraines avec des éléments de toutes dimensions, mais seule la matrice à granulométrie fine est déterminante pour le comportement géotechnique. Les déterminations USGS sont les suivantes : GC et GC-GM. Des blocs plus importants peuvent aussi se trouver dans la moraine. Dans les nouveaux sondages, la couche B n'était présente que sur une faible épaisseur, voire totalement inexistante. La moraine, qui a été comprimée par le glacier, est de ce fait très dense. La perméabilité est faible et égale dans toutes les directions puisqu'il n'y a pas de strates. La moraine agit comme un aquifuge.

Couche C'

Du point de vue géotechnique, les argiles à Opalinus altérées (couche C') sont à comparer à des roches meubles argileuses plutôt qu'aux roches consolidées. Mais dans le langage géologique usuel, le bord supérieur des argiles à Opalinus altérées forme la surface de la roche. La structure de la roche a aussi été altérée, mais reste suffisamment compacte pour offrir une résistance à la compression. La perméabilité des argiles à Opalinus altérées est très faible, de sorte que celles-ci peuvent être considérées comme des aquifuges.

Couche C

Du point de vue de la technique de construction, la roche non altérée (argiles à Opalinus, couche C) doit être considérée comme incompressible. Il s'agit d'une roche très compacte composée d'argiles. La couche est pratiquement imperméable.

Couche D

La couche D (remplissage) est très hétérogène. Il s'agit pour l'essentiel de graviers propres insérés par tassement, mais aussi localement de limons argileux plutôt tendres (résidus d'argiles à Opalinus). La compacité du remplissage est plutôt faible. Sa perméabilité peut varier de très grande à très faible en fonction des différentes compositions.

Couche E

La couche E (couche de couverture) est composée de sédiments que l'Aar a déposés par hautes eaux. Il s'agit par conséquent de matériaux meubles à granulométrie fine avec faible perméabilité (CL selon USCS).

3.7.2.1.3 Valeurs géotechniques spécifiques

Le tableau 3.7-1 regroupe les paramètres géotechniques des couches de roches meubles et des couches des roches supérieures les plus importants pour les calculs relatifs aux tassements et aux excavations. Les valeurs reposent sur les expériences faites avec les bâtiments existants de la KKB et sur les investigations effectuées récemment dans la région du site de l'EKKB. Il s'agit de valeurs destinées à de premières estimations, qu'il faudra vérifier et adapter dans le cadre d'une étude détaillée du sol de fondation. Cela se fera lors de la préparation de la demande de l'autorisation de construire.

Tableau 3.7-1 : Valeurs géotechniques spécifiques du sol de fondation en état non perturbé

Paramètres			Remplissage	Couche de couverture	Alluvions sablonneuses	Alluvions limoneuses	Moraines	Roche altérée (argiles à Opalinus)	Roche intacte (argiles à Opalinus)
			D	E	A	A’	B	C’	C
Densité du sol humide	γ	[kN/m^3]	22 ± 0.5	20 ± 0.5	22.5 ± 0.5	22.5 ± 0.5	21.5 ± 0.5	21.5 ± 0.5	25 ± 0.5
Angle de frottement	ϕ'	[Grad]	35 ± 5	30 ± 2	40 ± 2	38 ± 2	33 ± 3	30 ± 2	37± 6
Cohésion	c'	[kN/m^2]	0	0	0	0	2 ± 2	2 ± 2	15’000 ± 10’000*
Coefficient de compression initiale	M_E	[MN/m^2]	80 ± 40	10 ± 3	120 ± 20	70 ± 10	40 ± 10	50 ± 10	-
Coefficient de compression répétée	$M_{E'}$	[MN/m^2]	240 ± 60	25 ± 5	300 ± 50	170 ± 20	120 ± 20	130 ± 30	-
Module E	E	[MN/m^2]	-	-	-	-	-	-	2 000 ± 1 000
Perméabilité horizontale	k_h	[m/sec]	4-8 x 10^{-3}	4-6 x 10^{-4}	3-5 x 10^{-3}	1-4 x 10^{-3}	1-10 x 10^{-5}	1 x 10^{-9}	1 x 10^{-8}
Coefficient de dilatation dû au cisaillement			0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.4	0.4
Coefficient dynamique de cisaillement	G_{dyn}	[MN/m^2]	-	-	300 ± 100	600 ± 200	600 ± 200	-	-
Rapport d’amortissement	D	%	-	-	2 - 28	2 - 28	-	-	-

* au travers de la stratification

Les propriétés géotechniques dynamiques du sous-sol ont été étudiées aussi bien au moyen d'essais sur site que par des tests de laboratoire. Différentes méthodes sismiques ont été utilisées sur place pour déterminer les vitesses des ondes P et S dans les roches meubles et dans les roches consolidées du substratum. Outre le logging des forages (Full Wave Sonic), on a aussi effectué des mesures en temps réel, down-hole, de sismique hybride (MASW) et enfin des mesures complémentaires cross-hole [108].

En laboratoire, les échantillons des alluvions ont été soumis non seulement aux analyses standard telles que la répartition granulométrique, etc., mais aussi à des essais triaxiaux statiques et cycliques, ainsi qu'à des tests de colonne de résonance. Comme les deux couches alluvionnaires ne se distinguent pas fondamentalement l'une de l'autre, elles n'ont pas été traitées séparément. Mais des essais ont été effectués avec des échantillons présentant des teneurs variables en composants fins, afin de couvrir la variabilité de la répartition granulométrique. Comme il n'a pas été possible d'obtenir des échantillons sains dans les graviers, les essais ont été faits à partir de matériaux préparés.

Pour compléter les essais triaxiaux sur des échantillons d'argiles à Opalinus, des essais par résonance sur d'autres carottes de forage du Lias ont été effectués.

Coefficients de cisaillement et rapport d'amortissement

Pour déterminer les modules de cisaillement et les rapports d'amortissement, l'EPF de Zurich a effectué des essais triaxiaux cycliques et de colonne de résonance (RC) sur des échantillons de graviers. Les essais RC donnent des valeurs plus basses que les essais triaxiaux cycliques (voir Fig. 3.7-17). Pour de faibles amplitudes de dilatation due au cisaillement jusqu'à $1x10^{-5}$, l'amortissement représente un faible pourcentage et lorsque les amplitudes sont plus importantes, il augmente jusqu'à plus de 20% (Fig. 3.7-18). Le calcul du module de cisaillement à partir des vitesses des ondes de cisaillement donne des valeurs plus élevées.

Fig. 3.7-17 : Module de cisaillement normé des échantillons des alluvions de Beznau comme fonction de la dilatation due au cisaillement

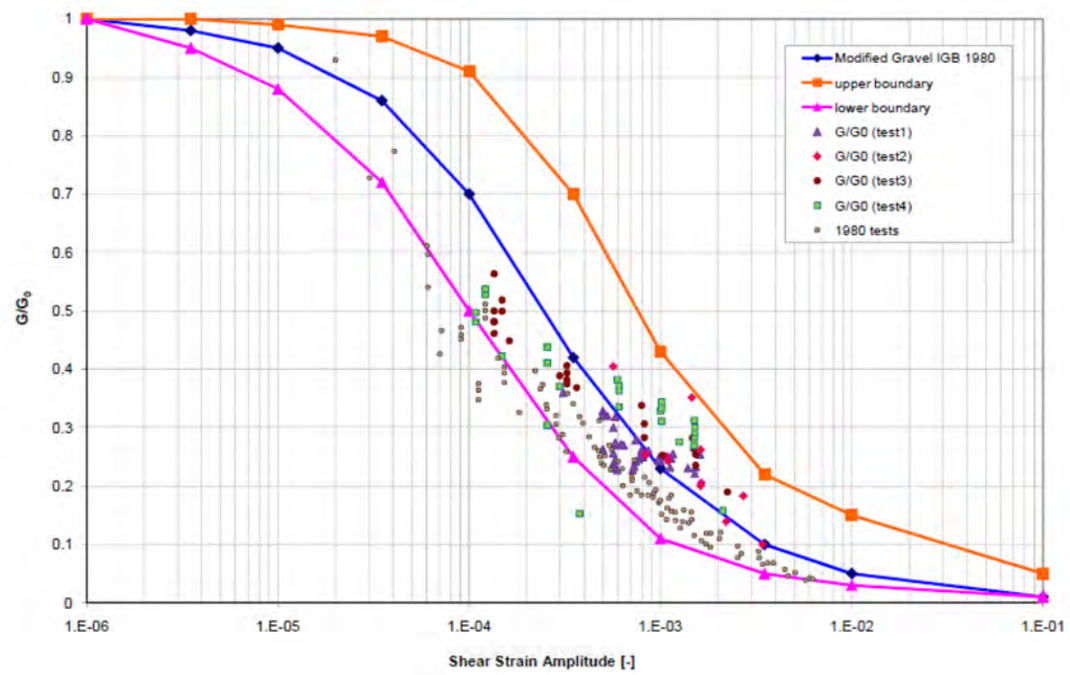
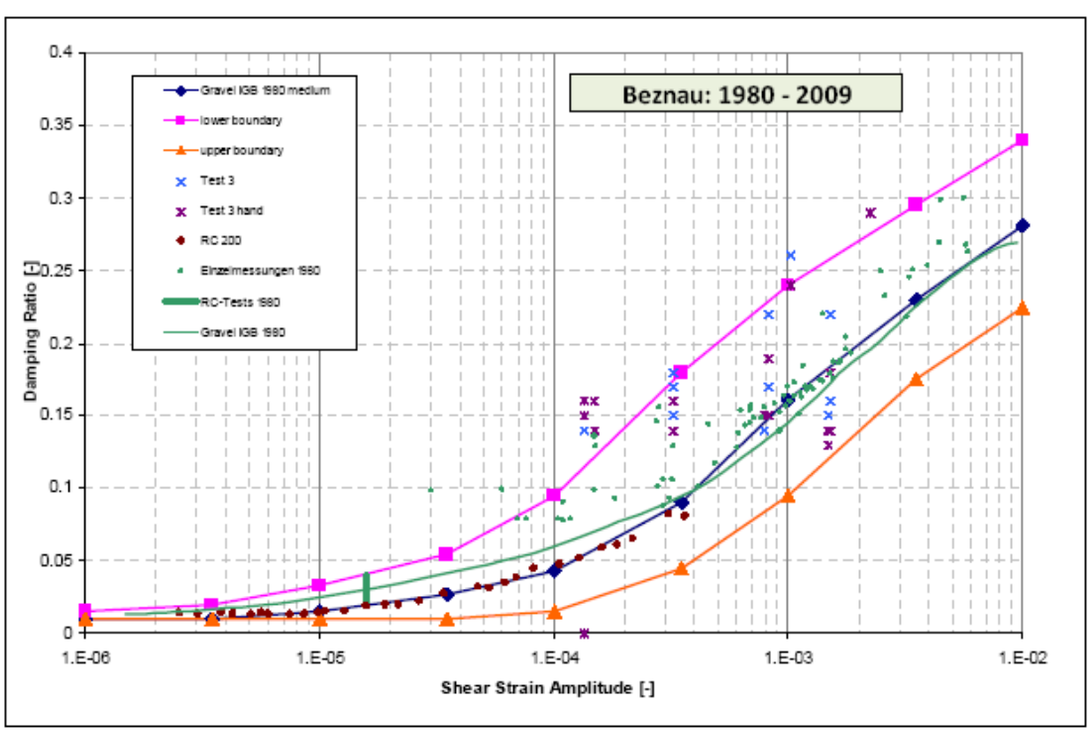


Fig. 3.7-18 : Rapport d'amortissement des échantillons d'alluvions de Beznau comme fonction de la dilatation due au cisaillement



Vitesses de propagation des ondes P et S

La détermination des vitesses des ondes de cisaillement a donné des résultats différents selon les méthodes. Les mesures cross-hole sont considéréres comme les plus fiables et les valeurs indiquées ici s'appuient donc en grande partie sur elles. Sur la base des investigations effectuées, les vitesses des ondes pour les diverses couches peuvent être données comme suit à titre de valeurs indicatives :

Tableau 3.7-2 : Vitesses des ondes

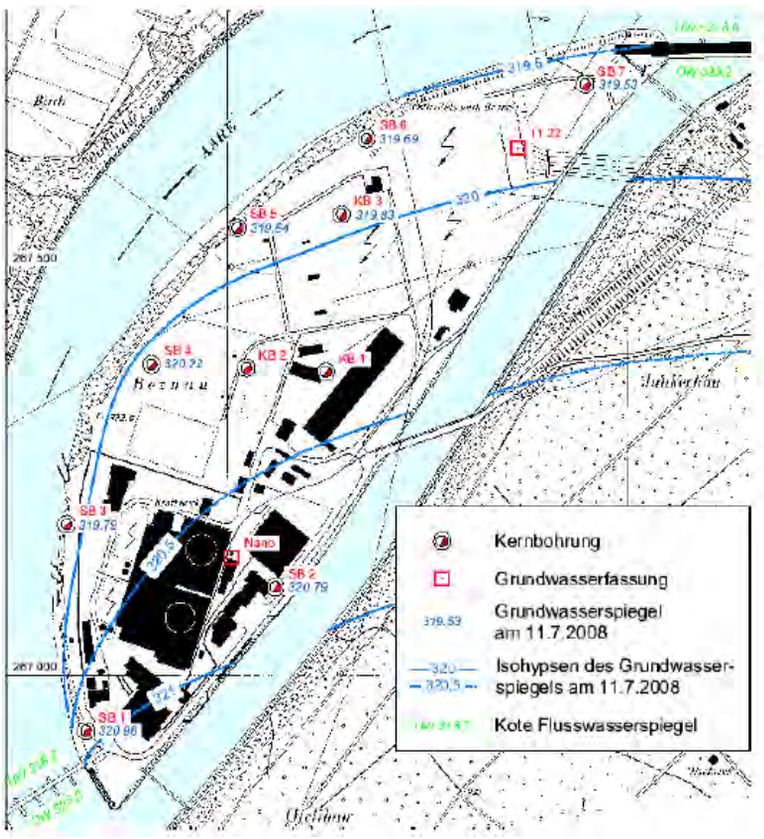
Paramètres			Alluvions sablonneuses	Alluvions silteuses	Moraines	Argiles à Opalinus altérées	Argiles à Opalinus non altérées	Rock (Gipskeuper)
			A	A'	B	C'	C	
Vitesse des ondes de cisaillement	V_s	[m/sec]	350 - 500	500 - 900	500 - 900	800 - 900	900 - 1000	1800
Vitesse des ondes de compression	V_p	[m/sec]	875 - 1250	1250 - 2000	1250 - 2000	1800 - 2100	2100 - 2200	4500

Dans les couches consolidées, on remarque par endroits une anisotropie marquée des vitesses des ondes (surtout dans les argiles à Opalinus). De nouveaux profils détaillés de la vitesse des ondes seront établis dans le cadre du projet PRP.

3.7.2.2 Eaux souterraines

Les alluvions du sol de fondation (couches A et A') forment un important aquifère exploité ; la moraine et le socle rocheux en constituent le substrat imperméable. Le niveau de la nappe souterraine est mesuré périodiquement à l'aide des isopièzes à disposition. La Fig. 3.7-19 montre les nouveaux points de mesure et le niveau de la nappe souterraine le 11 juillet 2008.

Fig. 3.7-19 : Points de mesure des eaux souterraines et isopièzes du niveau de la nappe (11.07.2008)



Aux points de mesure, la distance entre le niveau de la nappe souterraine et la surface du sol se situe entre 3 m et 6 m en fonction du relief. Les niveaux de la nappe indiqués à la Fig. 3.7-19 – env. 320 à 320.5 m dans la région de l'EKKB – correspondent approximativement à un niveau moyen de la nappe. Dans la zone de l'île de Beznau, les eaux souterraines s'écoulent du SE au NW. Les eaux de l'Aar s'infiltrent en amont du barrage de retenue, et partiellement aussi dans le canal supérieur. En dessous du barrage, l'Aar est un exutoire et, selon son niveau, les eaux souterraines s'y écoulent à nouveau.

Sur l'île de Beznau, les perméabilités des alluvions sont déjà bien connues grâce à des essais de pompage antérieurs. A côté de nombreux petits essais, on a effectué en 1985 un test de pompage important sur une longue durée pour le captage existant NANO près de la KKB. Avec des prélèvements d'eau d'env. 80 l/s dans un puits filtrant de 700 mm, l'abaissement a été d'env. 1 m. En 2008, dans le cadre de projets de la centrale hydraulique de Beznau et grâce aux nombreuses données existantes, un modèle de la nappe souterraine a été élaboré pour la région de l'île de Beznau et la vallée de l'Aar jusqu'à Würenlingen en amont et Klingnau en aval. Ce modèle permet de pronostiquer avec précision les effets des prélèvements d'eaux souterraines et des éventuelles installations. Selon les mesures et le modèle de la nappe, le coefficient de perméabilité des dépôts alluvionnaires de Beznau se situe autour de 3 à $5x10^{3}$ m/s.

L'île de Beznau se trouve dans le secteur A_u de protection des eaux qui comprend les eaux souterraines exploitables ainsi que les zones attenantes nécessaires à leur protection. Selon l'Ordonnance fédérale sur la protection des eaux (OEaux), les constructions et installations ne doivent en principe pas être mises en place en dessous du niveau moyen de la nappe. L'autorité peut accorder des dérogations lorsque la capacité d'écoulement des eaux du sous-sol n'est pas réduite de plus de 10% par les installations en question. Comme le profil d'écoulement est relativement grand, cette condition peut être remplie même par des installations importantes.

3.7.2.3 Evaluation du sol de fondation

3.7.2.3.1 Résistance du sol de fondation et tassements

Dans cette zone, les couches alluvionnaires peuvent être jugées bien résistantes et peu sensibles au tassement en raison de leur composition granulométrique et de leur forte compacité apparente. L'épaisseur des couches de roches meubles, déterminante pour les calculs de tassement, dépend de la profondeur des fondations. Pour les types de réacteur considérés, celle-ci est d'env. 6 et 12 m en dessous du terrain existant. Les indications de charge et de surface permettent d'estimer la pression au sol spécifique à env. 0.4 à 0.8 MN/m² (selon l'installation ou l'élément installé). Les alluvions (couches A et A') pourront résister aux sollicitations auxquelles on peut s'attendre avec les nouvelles constructions, sans que des tassements non admissibles ne surviennent, pour autant que les fondations soient dimensionnées de manière adéquate et ancrées assez profondément dans les alluvions. Comme certains éléments architecturaux seront immergés dans la nappe souterraine, il faudra aussi tenir compte de la poussée verticale. Pour les parties de fondations qui se trouvent au-dessus de la limite supérieure des alluvions, dans la région des remplissages artificiels (couche D) ou dans la couche de couverture (couche E), il sera nécessaire de remplacer les matériaux. Les couches susceptibles de se tasser doivent être enlevées et remplacées par des graviers bien comprimés qui présenteront alors les mêmes propriétés que les alluvions pour le sol de fondation.

3.7.2.3.2 Fissuration et liquéfaction du sol

Les études menées sur le sol de fondation montrent que la roche n'est pas fissurée sur le site d'implantation. Une potentialité de liquéfaction du sol n'existe que dans les sables ou les silts non lavés présentant une mauvaise répartition, une faible compacité et une forte sensibilité aux modifications de la teneur en eau. Selon les sondages, ce type de roches meubles n'apparaît que sous forme de lentilles ou de couches locales de faible épaisseur. La plus grande épaisseur observée dans les nouveaux sondages sur le site de l'EKKB atteint 1 m (lentille de sables moyens non lavés). On n'a pas rencontré de plus grandes couches sablonneuses dans ce périmètre et on ne s'attend pas à en trouver d'autres en raison des conditions de dépôt.

Au vu des essais SPT dans les alluvions environnantes, la compacité des sables présents est en outre si élevée que les couches ne doivent pas être considérées comme soumises à un risque de liquéfaction. Si des couches de sables plus importantes devaient être trouvées, celles-ci pourraient, si nécessaire, être remplacées ou renforcées par du ciment.

3.7.2.3.3 Stabilité des versants

L'aire de construction se trouve sur l'étendue plate de l'île de Beznau. Il n'existe donc aucun problème de stabilité des versants dans la zone elle-même. L'île est limitée d'un côté par le canal supérieur et de l'autre par l'Aar bordée de rives plates. Le canal supérieur jouxte un espace plat auquel succède une courte pente jusqu'à la plaine de l'Unterwald. D'éventuels éboulements de ce petit versant n'atteindraient pas le canal et ne sont donc pas significatifs.

La pente directe de l'Aar en direction du village de Böttstein ne montre actuellement aucun signe d'instabilité. En 1966, quelques blocs de poudingue de plusieurs mètres carrés se sont détachés du talus qui domine l'Aar à la Schlosshalde, Böttstein (Éboulement de Schlosshalde, Böttstein. Rapport Jäckli [100]).

Les blocs ont traversé la forêt en cassant des arbres et endommagé les endiguements de l'Aar avant de tomber dans l'Aar. Le talus concerné se compose d'alluvions des terrasses inférieures dans lesquelles apparaissent des parties consolidées. Au sommet du talus, celles-ci forment des niveaux abrupts dont une partie saillante s'est détachée et éboulée à l'époque. Aucun événement n'est connu depuis lors, mais on ne peut pas exclure totalement qu'au cours du temps, une petite partie puisse se détacher et que quelques blocs roulent dans l'Aar. Mais il est certain que cela n'entraînerait aucun risque pour l'installation sise sur l'île de Beznau, car l'Aar est très large à cet endroit. La carte géologique au 1:25 000 indique une masse éboulée au sud de Böttstein. Celle-ci avait causé des déformations de la route, qui a été sécurisée par la suite par des mesures techniques. Un éboulement spontané de cette zone est donc actuellement à exclure.

En 1876, juste au sud de l'île de Beznau, une coulée composée d'argiles à Opalinus d'env. 100 m de large s'est déplacée à une vitesse atteignant 2 mètres par jour et s'est avancée jusque dans l'Aar dont les eaux n'étaient pas encore retenues (Bitterli, P. et al [42]). Dans cette région, la pente présente aujourd'hui encore des mouvements de faible importance. Mais un éboulement spontané jusque dans l'Aar peut être exclu car la partie la plus basse qui longe l'Aar dans cette zone est aujourd'hui tout à fait plate. En amont du barrage, des éboulements de versants pourraient en principe resserrer le profil d'écoulement et restreindre les eaux fluviales, mais dans cette région, en amont de l'éboulement de 1876, on trouve sur les deux rives des calcaires et des marnes du Lias qui ne présentent aucune disposition à l'instabilité.

3.7.2.3.4 Fouille et évacuation des eaux

La perméabilité du sol de fondation, notamment des alluvions sablonneuses et silteuses, est très grande. Pour le fond de la fouille, il faut choisir une matière étanche, sans quoi le niveau de la nappe souterraine à l'intérieur de la fouille ne pourra pas être abaissé suffisamment. Le fond de la fouille devrait reposer sur la moraine étanche ; mais comme celle-ci n'est présente que localement, le contact doit se faire essentiellement sur la roche altérée pour qu'aucun afflux d'eau important ne puisse plus venir d'en bas. En fonction du choix du fond de la fouille et de la profondeur des fondations, l'ouvrage exercera des contraintes sur des parties plus ou moins grandes de l'aquifère. Les installations mises en place en dessous du niveau moyen de la nappe souterraine sont soumises à autorisation et ne doivent pas réduire de plus de 10% la capacité d'écoulement de l'aquifère. Mais comme le profil d'écoulement est globalement grand dans la région de Beznau, cela ne posera probablement pas de problème. Pour l'évacuation des eaux à l'intérieur de la fouille, il faut installer des puits filtrants jusqu'aux alluvions inférieures. Il faudra

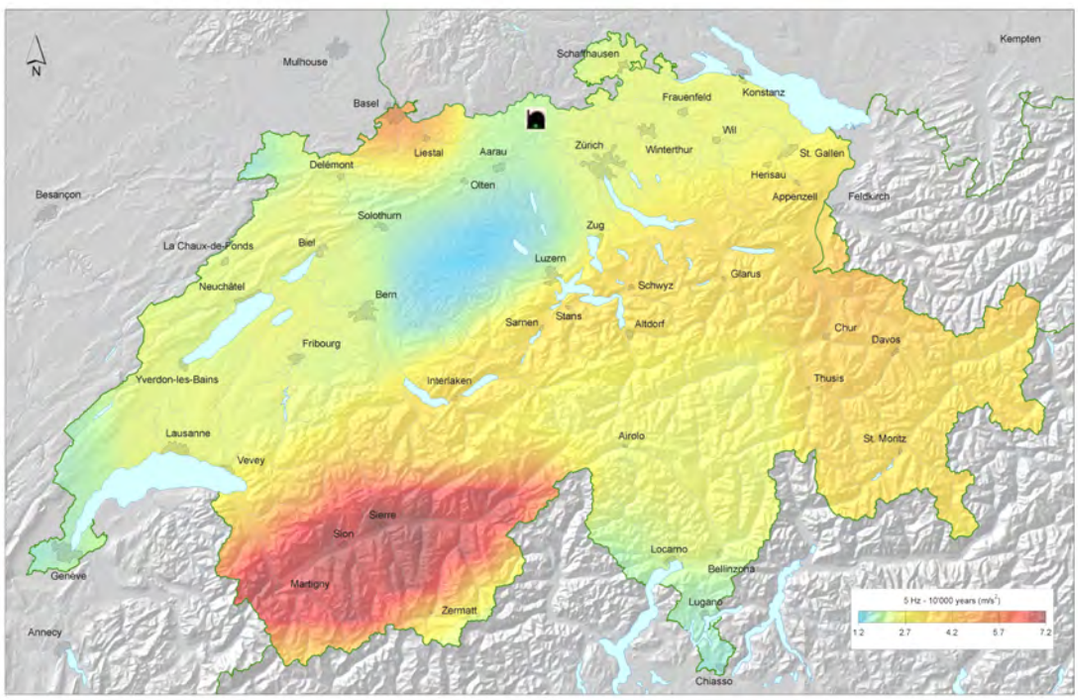
veiller à ne pas utiliser des méthodes de construction qui pourraient endommager les puits existants de KKB 1 et 2 ou entraîner des affaissements de bâtiments.

3.7.3 Sismologie et risque de séismes spécifique au site

3.7.3.1 Séisme en tant qu'accident externe

Beznau se trouve dans une région de Suisse à faible aléa sismique (voir Fig. 3.7-20) et la plupart des sismologues estiment que l'ensemble de la Suisse fait partie des « intraplate regions », c'est-à-dire de régions relativement stables au sein des grandes unités tectoniques (PEGASOS 2004 [54]-[56]). Dans ces régions d'activité sismique faible à moyenne, la probabilité de séismes importants est faible ; mais si la probabilité d'occurrence de séismes diminue, leur intensité augmente. Avec des probabilités annuelles extrêmement faibles de $\leq 10^{-4}$, telles que prises en considération dans l'analyse de sécurité d'une centrale nucléaire, il faut envisager de forts séismes – même dans des régions calmes du point de vue sismologique – qui pourraient provoquer d'énormes secousses et par conséquent des dégâts importants aux installations. C'est pourquoi les séismes font partie des plus importants événements externes pouvant provoquer des accidents (Art. 8 OENu).

Fig. 3.7-20 : Carte de l'aléa sismique du Service Sismologique Suisse [107]. Sont représentées les accélérations horizontales attendues (en m/s^2) pour une fréquence de 5 Hz et une périodicité de 10 000 ans



3.7.3.2 Analyses de l'aléa sismique

3.7.3.2.1 Analyse déterministe

Lors d'une analyse déterministe des risques sismiques, on identifie d'abord toutes les sources sismiques dont on admet qu'elles pourraient contribuer au risque sur le site. On établit ensuite pour chaque source l'éloignement et la plus grande magnitude pensable du séisme. Avec un coefficient d'atténuation correspondant à la géologie locale, on calcule pour chaque source le mouvement de vibration du sol qui en résulte (« ground motion », GM), que l'on exprime par un paramètre GM approprié (par ex. « peak ground acceleration », PGA). C'est la valeur maximale du paramètre de mouvement du sol qui est déterminante pour l'accélération de référence, donc par exemple la valeur PGA la plus élevée qui puisse être attribuée à une seule source.

Les incertitudes sont prises en considération dans la mesure où des hypothèses *pessimistes*, autrement dit *prudentes* (ou *conservatoires*), sont émises au sujet des caractéristiques des sources et du coefficient d'atténuation. Cette manière de faire s'oppose à la pratique de l'analyse probabiliste (voir Chapitre 3.7.3.2.2) où ce sont les hypothèses *les plus probables* qui sont choisies et où les incertitudes sont prises en considération par des estimations paramétriques, des modèles alternatifs ou des distributions aléatoires.

3.7.3.2.2 Analyse probabiliste

Contrairement à l'approche déterministe, l'analyse probabiliste prend en compte non seulement les ground motions pour un seul scénario prudent (ou pour un petit nombre d'entre eux), mais *tous les scénarios vraisemblables* dans un rayon de plusieurs centaines de kilomètres.

La méthodologie de l'analyse probabiliste de dangers a été introduite en 1968 par C. A. Cornell [101] [102]. Pour déterminer l'aléa sur un site, trois données doivent être spécifiées :

a La géométrie et la description géographique de la source. Une source sismique est un volume de la croûte terrestre caractérisé par une faille tectonique, par une concentration de sismicité historique ou généralement par des propriétés géologiques et tectoniques semblables, distinctes des régions avoisinantes et qui peut donc entrer en ligne de compte en tant que déclencheur d'un séisme.

b Les fréquences d'occurrence, c'est-à-dire le taux moyen de séismes de toutes magnitudes dans le périmètre d'une zone source et la distribution des magnitudes. Il s'agit aussi d'établir la magnitude maximale Mmax considérée comme possible dans la zone source.

c La fonction d'atténuation. c'est un algorithme qui permet d'estimer les amplitudes des accélérations (GM) qui interviennent sur le site à la suite d'un séisme d'une certaine magnitude à une certaine distance. Dans des modèles empiriques, on tient compte – au moyen de l'écart-type σ (qui mesure la variabilité aléatoire) – des variations que présentent plusieurs séismes de même magnitude et éloignement à une seule station d'observation, ou un seul et même séisme dans plusieurs stations de même éloignement.

Grâce à ces trois données – géométrie de la source, fréquences d'occurrence et fonction d'atténuation – il est possible de calculer l'aléa, et donc la probabilité annuelle qu'une valeur seuil donnée de l'amplitude d'accélération soit dépassée sur le site. Cette probabilité est exprimée par l'intégrale de l'aléa. L'intégration s'effectue sur la distance, la magnitude et les contributions des

différentes sources. L'aléa est calculé pour plusieurs valeurs seuils de l'amplitude d'accélération. Le résultat est une courbe d'aléa qui représente la probabilité annuelle de dépassement en fonction de l'amplitude d'accélération. Des courbes d'aléa sont déterminées pour différents paramètres de mesure du mouvement vibratoire du sol, par exemple pour la « Peak Ground Acceleration » (PGA) ou pour des accélérations spectrales à différentes fréquences.

Pour comprendre l'analyse probabiliste, il est tout à fait utile et raisonnable de partir de l'analyse déterministe. Ici aussi, l'élément de base est le scénario du séisme unique dont l'effet à distance sur le site est modélisé. Mais par la double intégration sur la magnitude et sur la distance, *tous* les séismes dont la zone source se trouve dans la région du site et qui pourraient causer des dégâts sont cumulés, chaque scénario étant pondéré par sa probabilité d'occurrence, qui dépend elle-même du lieu et de la magnitude. La multiplication par le taux d'occurrences transforme les probabilités en fréquences annuelles, un résultat qui a la préférence pour des décisions relatives à la conception ou pour la comparaison avec d'autres accidents externes. Enfin, avec la somme cumulée sur toutes les zones sources, on inclut dans l'analyse une vaste zone d'influence, avec la potentialité supposée de toutes les failles et unités tectoniques.

L'approche probabiliste de l'aléa repose sur un grand nombre d'analyses déterministes, donc sur la modélisation de nombreux scénarios. C'est pourquoi il est faux de penser – comme on le fait souvent – que l'analyse déterministe est un « complément » de l'approche probabiliste ou que certains scénarios de séismes ne seraient pas inclus dans l'analyse probabiliste. L'analyse déterministe n'est pas un complément, mais une *partie* de l'approche probabiliste. Celle-ci vise – et parvient – à englober tous les scénarios de séismes crédibles. Mais cette approche ne dit encore rien sur la manière dont les divers scénarios sont modélisés ou dont les mouvements du sol sont calculés sur le site.

3.7.3.2.3 Modélisation des scénarios de séismes

Dans le cadre d'une analyse probabiliste, le calcul des mouvements du sol (ground motions, GM) s'appuie le plus souvent sur un modèle simple de la source sismique (point ou faille) et sur un modèle empirique de GM (ou d'atténuation) (voir chapitre 3.7.3.5.4). Dans le cas de forts séismes près du site, ce modèle simplifié de la source ne suffit souvent plus. La forme et la situation de la fracture de départ commencent à jouer un rôle (« finite source effect »). De plus, les bases de données des séismes sur lesquelles s'appuient les modèles empiriques de GM comprennent souvent trop peu de séismes à proximité des failles. C'est pourquoi la question de la validité des modèles empiriques pour le voisinage est parfois posée, c'est-à-dire que l'on se demande s'ils seraient en mesure de prédire correctement les accélérations sur le site.

Dans des cas particuliers de ce genre, on essaie parfois de modéliser l'effet à distance des séismes. Ces simulations numériques (« extended source simulations », ESS) calculent les paramètres du mouvement de vibration du sol à partir d'un modèle spatial et dynamique précis de la source et d'un modèle des couches du sous-sol comprises entre la source et le site, conformément à la théorie de propagation des ondes. Si les experts s'accordent pour affirmer que l'avenir est à la simulation numérique, la question de savoir si cette approche représente aujourd'hui déjà une alternative valable ou du moins un complément utile est en revanche controversée. En effet, les hypothèses qui doivent être faites dans les données d'entrée (paramètres géométriques et dynamiques du modèle de la source, paramètres de transmission,

etc.) sont difficilement vérifiables alors qu'elles peuvent influencer de manière critique les résultats de la modélisation. Si les prédictions des mouvements du sol données par les ESS divergent fortement de celles du modèle empirique (dans un sens ou dans l'autre), on accordera en général plus de crédit aux secondes.

Même si les résultats des ESS ne doivent pas être utilisés sans précautions, ces simulations peuvent être valables lorsqu'il s'agit d'estimer l'importance de l'effet « extended source » au voisinage d'une source. La dépendance azimutale (« directivity »), la forme des spectres ou la forme de l'atténuation dans un rayon de quelques kilomètres seulement seront par exemple révélateurs. Les résultats des ESS sont souvent mis en concordance avec les mouvements du sol calculés de manière empirique afin de vérifier les modèles GM dans le voisinage mal couvert ou de les extrapoler dans ce secteur (voir chapitre 3.7.3.4.2).

3.7.3.3 Le projet PEGASOS

3.7.3.3.1 Une analyse SSHAC niveau 4 appliquée au site

En Suisse, dès le début des années 1980, après les premières évaluations des bases de données de séismes historiques – qui étaient présentées comme des cartes de l« aléa sismique – on a opté pour la méthode de l'analyse probabiliste de l'aléa sismique (PSHA). En 1997, de nouvelles directives ont été publiées aux États-Unis pour la réalisation de ces analyses et la détermination des données d'entrée nécessaires, sous la responsabilité du « Senior Seismic Hazard Analysis Committee » (SSHAC). Celui-ci avait été chargé par diverses institutions américaines – dont la Nuclear Regulatory Commission (US-NRC) – d'évaluer les expériences réalisées jusque-là avec des analyses probabilistes et de proposer, sur cette base, une procédure acceptable et cohérente [103]. Les recommandations du SSHAC précisent de quelle manière les données d'entrée pour une analyse probabiliste doivent être recueillies, quel rôle jouent les experts et quelles règles et procédures formelles doivent être respectées pour parvenir à un résultat fiable et solide. Selon SSHAC, l'« expert elicitation » (questions formelles aux experts) a pour but de constituer, pour toute question importante pour les inputs, tout le spectre des hypothèses et opinions dominantes dans la communauté scientifique et de quantifier les incertitudes associées[43]. Il n'est pas nécessaire d'obtenir un consensus des évaluateurs puisque tous les modèles entrent sur un pied d'égalité dans l'analyse. Les recommandations spécifient quatre niveaux d'analyse avec un degré croissant d'effort et d'exigences. Elles se différencient principalement par le nombre d'experts impliqués à titre de représentants de leur spécialité et par le degré de leur interaction.

Vers la fin des années 1990, le développement de la méthode analytique et les recommandations du SSHAC ont incité la DSN à demander une nouvelle évaluation du risque sismique aux emplacements des centrales nucléaires de Suisse. L'analyse devait appliquer les directives méthodologiques les plus récentes. Une étude de niveau 4 était demandée, à savoir la variante la plus complexe et la plus exigeante pour des installations et des constructions particulièrement sensibles quant à la sécurité. Suite à cela, l'« Analyse probabiliste de l'aléa sismique aux emplacements des centrales nucléaires suisses » (PEGASOS) a été commandée, planifiée et réalisée entre 2001 et 2004.

43« To represent the center, the body, and the range of technical interpretations that the larger informed technical community would have if they were to conduct the study » (103).

PEGASOS est la première – et jusqu'ici la seule – étude de ce type en Europe et l'une des analyses de l'aléa sismique les plus complètes et les plus approfondies du monde.

3.7.3.3.2 Structure du projet

Le projet PEGASOS était divisé en quatre sous-projets correspondant aux principaux thèmes à étudier :

- *Le sous-projet SP1* devait élaborer les modèles sismiques des sources (« Seismic Source Characterisation »). Quatre groupes d'experts y participaient, composés chacun de trois spécialistes de différentes disciplines – un sismologue, un géologue connaissant les caractéristiques locales et un spécialiste des aspects sismo-tectoniques. La caractérisation des sources sismiques, fondée sur une volumineuse base de données constituée selon les vœux des experts, comportait non seulement la définition spatiale des sources, les taux d'activité, les magnitudes, les fréquences, les magnitudes maximales, les profondeurs de foyers et les répartitions des types de failles, mais aussi l'estimation des incertitudes associées. Chacun des groupes d'experts pluridisciplinaires a élaboré sa propre solution au problème posé.
- *Le sous-projet SP2* était chargé de développer les modèles de réduction pour le calcul des accélérations du sol sur le site (« Ground Motion Characterisation »). Le travail comprenait l'évaluation, le choix, la recomposition et la pondération de modèles empiriques de GM publiés dans différentes fenêtres de magnitude et d'éloignement. Il s'agissait aussi de quantifier les incertitudes sous la forme d'alternatives, de répartitions et de valeurs délimitantes des domaines scientifiquement raisonnables. Chaque expert, tout en étant en contact avec ses collègues et en échangeant avec eux, a développé une solution indépendante.
- *Le sous-projet SP3* était responsable de la caractérisation de l'effet de site pour le calcul de la réponse au sol (« Site Response Characterisation »). Les quatre experts étaient chargés de développer un modèle des couches de roches meubles proches de la surface spécifique à chaque site et d'en déduire des facteurs de renforcement dépendant de la fréquence. Pour ce faire, il fallait tenir compte de nombreuses dimensions susceptibles d'exercer une influence, notamment les comportements non linéaires en cas de fortes amplitudes d'accélération, l'angle d'incidence et effets 2D. Dans ce cas aussi, l'estimation des incertitudes faisait partie des solutions individuelles fournies par les quatre experts.
- *Le sous-projet SP4* avait la mission d'effectuer les calculs proprement dits de l'aléa (« Seismic Hazard Computations »). Ceux-ci devaient se baser sur la combinaison de toutes les variantes de modèles et répartitions de paramètres de tous les experts de tous les sous-projets, ce qui signifiait pratiquement qu'il fallait calculer un très grand nombre de données d'entrée individuelles et en tenir compte, avec une pondération adéquate, dans le résultat final. Le cahier des charges de SP4 comprenait aussi les analyses de sensibilité destinées à mettre en évidence les contributions au risque des différents scénarios de séisme, ainsi que l'importance respective des divers éléments d'input.

3.7.3.3.3 Données d'entrée

La méthodologie SSHAC a pour but et pour contenu essentiel de constituer, pour chaque thème significatif de l'input, le spectre complet des opinions dominantes dans la communauté scientifique informée et de l'utiliser dans l'analyse de l'aléa.

Dans le cadre de PEGASOS, le concept d'« expert elicitation » a été utilisé au sens large pour tous les processus et activités servant à développer les données et les modèles d'entrée (input) pour l'étude de l'aléa. Faisaient partie de ces processus de travail :

- Constitution et suivi de bases de données spécifiques au sous-projet
- Rencontres et ateliers
- Entretiens avec les experts et séances de travail interactives
- Rencontres de feed-back
- Mise en forme et paramétrage des inputs de la PSHA
- Résumés écrits (« elicitation summaries »)

Selon leur mandat, les experts et groupes d'experts ont défini non pas une seule version des données d'input, mais des variantes qui correspondaient à leur point de vue à partir du spectre d'avis exprimés dans le cercle des spécialistes de leur discipline. L'élaboration des données d'entrée par les experts a exigé au total plus de deux ans. Durant cette période, cinq ateliers, plusieurs séances interactives, des entretiens avec des experts et d'autres séances sur des thèmes spécialisés ont eu lieu pour chaque sous-projet.

Bien que les solutions proposées par les différents experts et groupes d'experts aient parfois présenté de fortes divergences, les résultats des interprétations, exprimés sous forme d'aléa, ont été étonnamment homogènes. Contrairement à d'autres études comparables, les grandes marges d'incertitude n'étaient pas dues à des avis extrêmes de certains experts (« outliers »), mais résultaient des incertitudes que les spécialistes avaient intégrées à leurs propres estimations.

3.7.3.3.4 Incertitudes

L'une des caractéristiques importantes de l'analyse probabiliste de l'aléa sismique est la prise en compte quantitative des incertitudes sur toutes les hypothèses et valeurs d'input. Ces incertitudes sont propagées tout au long de la séquence de calcul et se traduisent, dans les résultats, par des distributions d'incertitudes.

Les études PSHA avancées distinguent deux types d'incertitudes : les incertitudes épistémiques et la variabilité aléatoire. Celle-ci – appelée aussi « hasard » – est intrinsèque au processus physique lui-même ou à la compréhension simplifiée de celui-ci. La force, le lieu et la date du prochain séisme qui devrait survenir sur une faille sont par exemple des éléments de la variabilité ou de l'incertitude aléatoire. L'état actuel des connaissances ne permet pas de les prédire, quelle que soit la qualité des bases de données. La composante aléatoire de l'incertitude n'est donc pas réductible. L'incertitude épistémique, au contraire, est liée au manque de données qui pourraient fournir des indications plus précises ou plus solides sur le déclenchement de séismes ou leurs effets. Les incertitudes épistémiques peuvent donc en principe être réduites par des progrès méthodologiques ou des recherches complémentaires.

Dans les analyses, ces deux types d'incertitudes sont traités de manières différentes : les incertitudes aléatoires sont directement incluses dans l'intégrale de risques afin d'obtenir une seule courbe d'aléa, alors que les incertitudes épistémiques sont prises en compte dans de multiples suppositions, hypothèses, modèles ou valeurs paramétriques. Ces nombreuses interprétations, représentées comme les branches pondérées d'un « arbre logique – Logic Tree », sont systématiquement calculées et aboutissent à une série de courbes d'aléa avec pondération associée, d'où l'on déduit finalement la distribution des incertitudes, souvent représentée par des courbes moyenne, médiane ou quantiles des probabilités de dépassement.

3.7.3.3.5 Résultats

Les résultats de l'étude PEGASOS comprennent des courbes et des spectres d'aléa pour les accélérations verticales et horizontales de la roche[44] et du sol[45] qui se rapportent à trois niveaux de référence différents. S'y ajoutent les dé-agrégations des contributions à l'aléa selon la distance et la magnitude, ainsi que les études de sensibilité, destinées à mettre en évidence l'importance relative des diverses catégories d'input et de la diversité des avis des experts.

On représente d'ordinaire ces résultats sous forme de courbes d'aléa pour des fréquences définies ou de spectres pour des probabilités définies. Les Fig. 3.7-21 et Fig. 3.7-22 en montrent des exemples pour Beznau avec les distributions d'incertitudes associées. La Fig. 3.7-21 fait par exemple apparaître qu'à Beznau, une accélération horizontale (PGA pour la roche) de 0.16 g, a une probabilité de 10^{-4} par an d'être dépassée. Cette accélération est la valeur médiane de la distribution qui représente l'incertitude de l'affirmation. Si l'on tient compte du renforcement, en fonction de la fréquence, par les couches rocheuses proches de la surface (« effet de site »), la valeur correspondante (pour le sol) est d'env. 0.3 g.

---

[44] Le concept de « roche » (reference rock), tel qu'il est utilisé ici dans le contexte de l'aléa sismique, ne correspond pas à la définition géologique de « roche en place », située en dessous des couches de roches meubles proches de la surface. Dans ce sens, la « roche » est définie par une vitesse d'ondes de cisaillement arbitraire et convenue ; dans le cas de PEGASOS, cette vitesse était de 2000 m/s. Les « accélérations de la roche » (rock motions) sont des accélérations fictives, pronostiquées, qui seraient mesurées à la surface (ou au niveau de fondations) si toutes les couches proches de la surface étaient déplacées à une vitesse de V_s<2000 m/s et remplacées par une roche de 2000 m/s (reference rock site condition). Si on les met en relation avec les probabilités de dépassement annuelles, on obtient l'« aléa de la roche » (rock hazard).

[45] «Sol» (soil) est le concept utilisé ici pour les couches géologiques proches de la surface dont les vitesses sont inférieures à la vitesse de référence de la roche de 2000 m/s. Dans ce sens, le sol ne correspond pas aux roches meubles situées au-dessus de la roche en place, même si celles-ci sont comprises. Les « accélérations du sol » (soil motions) englobent l'« effet de site », c'est à dire le renforcement du mouvement vibratoire du sol par les couches proches de la surface ayant une vitesse V_s < 2000 m/s. Ce sont des valeurs réalistes pour des accélérations qui seraient effectivement mesurées sur le site à une cote définie (par exemple la surface ou les fondations). L'« aléa du sol » (soil hazard) se déduit comme fonction des probabilités annuelles de dépassement.

Fig. 3.7-21 : Courbe d'aléa pour Beznau, composantes horizontales pour la roche, la surface, la PGA. La distribution des incertitudes est représentée par des courbes de valeurs moyennes, médianes et fractales de 5%, 16%, 84% et 95%

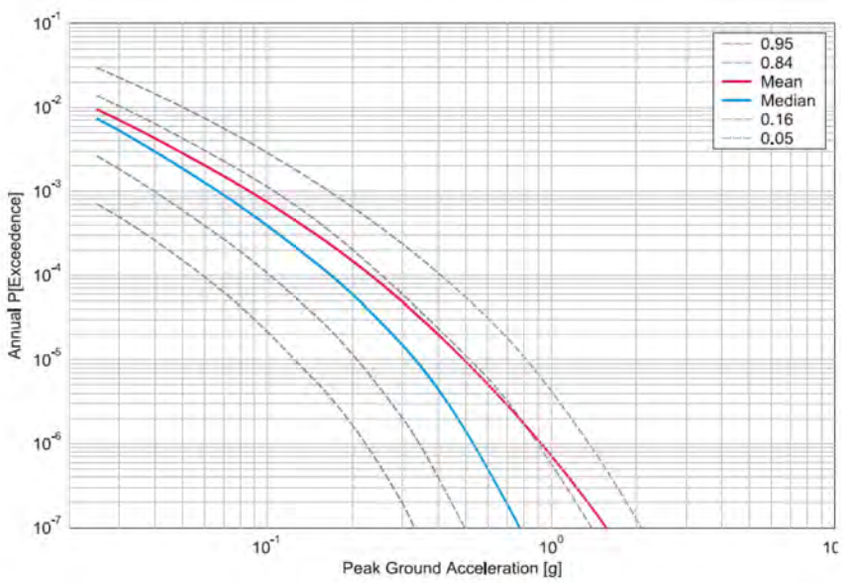
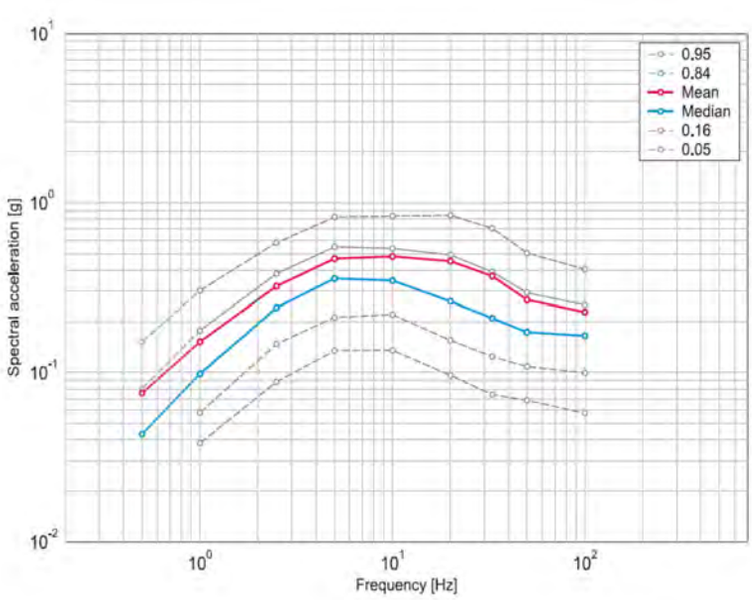


Fig. 3.7-22 : Spectre d'aléa ('Uniform Hazard Spectrum') pour Beznau, composantes horizontales, roche pour une probabilité annuelle de dépassement de 10^{-4} et 5% d'atténuation (critique).



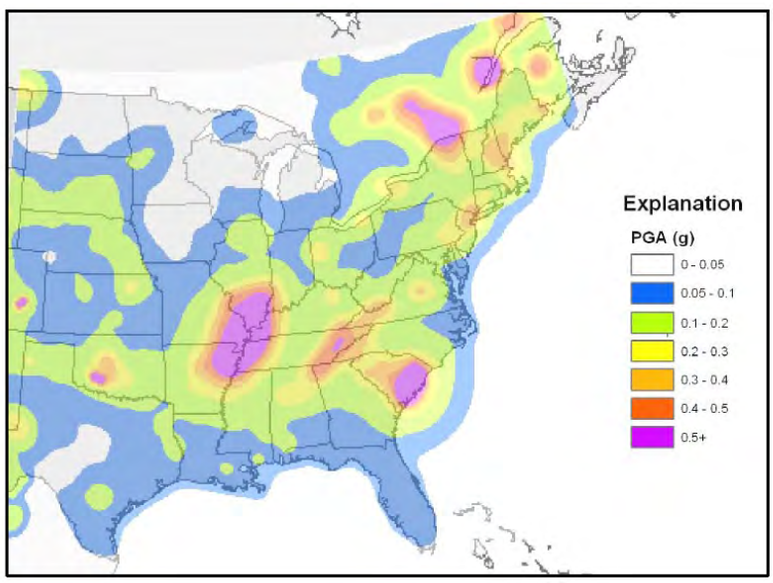
3.7.3.3.6 Les résultats de PEGASOS comparés à des études antérieures

En comparaison avec les études probabilistes d'aléa effectuées dans les années 1980, les valeurs d'accélération du sol données par PEGASOS sont nettement plus élevées. A Beznau, par exemple, avec une probabilité annuelle de dépassement de 10^{-4}, la PGA (« peak ground acceleration » par hautes fréquences) est 1.7 fois supérieure à la valeur calculée précédemment. Cette situation ne peut s'expliquer que par le fait que dans l'étude récente, il a été tenu compte de la variabilité aléatoire des modèles de ground motions (GM) dans l'intégrale de l'aléa (voir chapitre 3.7.3.2.2). Cette source d'incertitude supplémentaire, qui correspond à la dispersion des modèles empiriques de GM, s'explique par le caractère trop simplificateur du premier modèle. Dans la réalité, il n'est pas possible de décrire de façon adéquate en n'utilisant que deux paramètres – la magnitude et la distance – les processus complexes qui se déroulent aussi bien dans la source du séisme que dans le transport de l'énergie. Cette source d'incertitude a été ignorée au début. Mais depuis le milieu des années 1980, le standard international tient compte de la variabilité des modèles de GM dans des analyses probabilistes de l'aléa.

Pour Beznau, les accélérations (de roche) de PEGASOS sont proches des valeurs d'aléa d'autres régions présentant une activité sismique semblable – faible à moyenne. On le voit notamment dans la comparaison avec la partie orientale et centrale des États-Unis où, selon la Fig. 3.7-23, les valeurs moyennes de la PGA (pour la roche) ayant une probabilité de dépassement de 10^{-4} se situent entre 0.1 g et 0.4 g. Pour Beznau, la valeur correspondante est de 0.23 g.

Tous les résultats d'aléa pour Beznau se rapportent à un emplacement qui ne se trouve qu'à env. 300 m de l'EKKB projetée. A quelques réserves près – concernant les épaisseurs et les propriétés des couches proches de la surface – ils sont donc aussi valables pour le site de l'EKKB (à ce sujet, voir aussi chapitre 3.7.3.5.5).

Fig. 3.7-23 : Valeurs moyennes de la PGA pour des roches dures (3000 m/s) avec une probabilité annuelle de dépassement de 10^{-4} dans la partie centrale et orientale des États-Unis (calculées sur la base d'une carte d'aléa USGS). Les résultats d'aléa de PEGASOS correspondent à la codification jaune.



3.7.3.4 Suite des travaux : PEGASOS Refinement Project (PRP) et réseau étendu de surveillance sismique

3.7.3.4.1 Réduction des incertitudes dominantes

Malgré son évaluation généralement positive de l'étude PEGASOS, le groupe de review de la DSN a aussi relevé des potentiels d'amélioration. Le « PEGASOS Refinement Project (PRP) » a pour objectif de réduire les incertitudes épistémiques dominantes en améliorant les bases de données (notamment par des investigations supplémentaires sur le terrain). Avant d'esquisser le projet, on a élucidé quelles incertitudes pesaient sur les diverses données d'entrée et lesquelles il importait le plus de réduire en raison de leur influence sur l'aléa. Il en est ressorti que l'incertitude globale était dominée par celle des modèles de ground motions du SP2, notamment parce qu'il n'existe pratiquement pas de données dans la zone de magnitude M > 5 pour la Suisse. En conséquence, on a décidé d'axer le programme de recherche PRP sur les deux principaux objectifs suivants :

- Un nouveau *modèle d'atténuation pour la roche*. Un nouveau modèle d'atténuation (« Swiss stochastic ground motion model ») doit être développé à l'aide de nouvelles données historiques et instrumentales et incluant la base de données européenne Strong-Motion Data. On attend de ce modèle qu'il représente mieux la situation en Suisse et que grâce à lui les incertitudes diminuent (voir chapitre 3.7.3.5.4).
- L'examen de *l'effet de site*. Le renforcement du signal sismique, de la profondeur de référence jusqu'à la cote des fondations de la construction ou de la surface, joue un rôle important pour l'aléa du sol. De nouvelles investigations de terrain sur les sites doivent permettre de mieux caractériser les propriétés des roches meubles proches de la surface et de limiter le champ des interprétations (voir chapitre 3.7.3.5.5).

D'autres adaptations sont en outre prévues, notamment le remaniement et la mise à jour du catalogue des séismes du SED, les calculs des résultats d'aléa pour une magnitude de limite inférieure (« lower bound ») $M_0 = 4.5$ et la modélisation alternative de scénarios de séismes sélectionnés avec des « Extended Source Simulations » (voir chapitre 3.7.3.4.2).

3.7.3.4.2 Extended Source Simulations

Comme expliqué au Chapitre 3.7.3.2.3 , il est possible d'introduire des Extended Source Simulations (ESS) afin de mieux comprendre les effets existant au voisinage des fractures qui sont à l'origine de séismes, de tester des modèles empiriques de GM ou d'extrapoler des modèles dans le voisinage mal couvert. L'application de cette méthode est aussi planifiée dans le cadre du projet Pegasos Refinement (PRP).

Les Extended Source Simulations, telles qu'elles sont prévues dans le cadre du PRP, se rattachent à plusieurs études semblables effectuées durant le projet PEGASOS. La vaste étude ESS, destinée à expliquer les Median Ground Motions au voisinage de la source, revêt une importance particulière. Avec la spécification d'input utilisée pour l'étude, il n'a pas été possible d'identifier, au voisinage proche du site, des failles réelles et connues présentant une telle magnitude potentielle. La profondeur des sources et la capacité limitée de représentation de la sismique réflexion dans le secteur du socle s'y opposaient (voir chapitre 3.7.3.5.2). On a donc choisi une autre voie, qui promettait une flexibilité optimale au prix de calculs plus importants. Au lieu de

définir plusieurs sources (hypothétiques) dans le voisinage du site, on a groupé cent sites tests à une distance de 1 à 25 km autour de deux sources fixes. Pour celles-ci, il s'agissait d'une part d'une surface de faille verticale permettant de modéliser des décrochements dextres et senestres et d'autre part d'une surface à 45° pour modéliser les failles normales et les chevauchements. La dimension des surfaces de faille (25 x 12.5 km) était compatible avec un séisme de magnitude 6.5. Avec cette disposition géométrique, des ground motions ont pu être calculés pour un grand nombre de configurations sites-sources et déposés dans une bibliothèque de résultats. Pour chaque configuration site-source, on a fait en outre varier les distributions de décrochements (slips) et les paramètres de propagation de la fracture, afin de tenir compte des incertitudes aléatoires et de parvenir à une base statistique solide.

Les résultats de l'étude contribuent à une meilleure compréhension du rôle de la direction et de l'éloignement pour les accélérations proches de la source, de la forme spectrale de celles-ci et de leur dépendance au type de faille. Ils donnent aussi des informations sur la sensibilité à des changements dans les paramètres d'entrée, permettant ainsi d'évaluer la robustesse de la méthode, notamment en comparaison avec la modélisation empirique des ground motions.

Pour les points de contrôle situés à 1 km de la surface de rupture, les accélérations ESS de l'étude portant sur les fréquences de 2.5 à 100 Hz sont comparables aux accélérations du modèle empirique PEGASOS ; en revanche, pour les fréquences inférieures à 2.5 Hz, elles sont significativement plus élevées (d'un facteur 3 à 5). Trois causes possibles ont été envisagées : les propriétés du modèle de propagation des ondes, notamment une couche à faible vitesse de 150 m d'épaisseur proche de la surface, et dans une moindre mesure la forme des distributions des décrochements et l'arrangement géométrique des nucléations (points d'arrachement) sur la surface de rupture. Comme les accélérations ESS dépendent de manière critique d'hypothèses initiales difficilement vérifiables, on s'est abstenu de les utiliser directement. Au lieu de cela, on les a étalonnées à la distance de 10 km à l'aide des accélérations des modèles empiriques de prédiction des mouvements du sol (GMM) et utilisées ensuite pour tester la validité des modèles dans le voisinage proche. Les valeurs normalisées présentent une très bonne concordance sur tout le domaine de fréquences. Le programme de simulations PRP pourra recourir à la bibliothèque de résultats de l'étude et en tenir compte afin de parvenir à des estimations réalistes et robustes.

3.7.3.4.3 Constitution et exploitation d'un réseau microsismique

Pour évaluer le risque sismique, il est important de comprendre les mouvements tectoniques actuels dans le voisinage proche et étendu des sites. Comme une grande partie de ces mouvements se manifestent par des séismes, la surveillance de l'activité sismique peut apporter des informations sur la situation des zones de faiblesse actives et l'état actuel des tensions de la croûte terrestre.

Il est actuellement prévu d'étendre le réseau de surveillance sismique du Service sismologique suisse (SED) en installant une vingtaine de stations supplémentaires dans le Plateau et le Jura, afin d'abaisser le seuil de détection et d'améliorer la précision de la localisation. Ce réseau microsismique permettra d'enregistrer les secousses même les plus faibles, d'une magnitude M = 1.0. Il en résultera notamment un calcul plus précis des mécanismes au foyer et des informations plus fiables sur le régime des tensions.

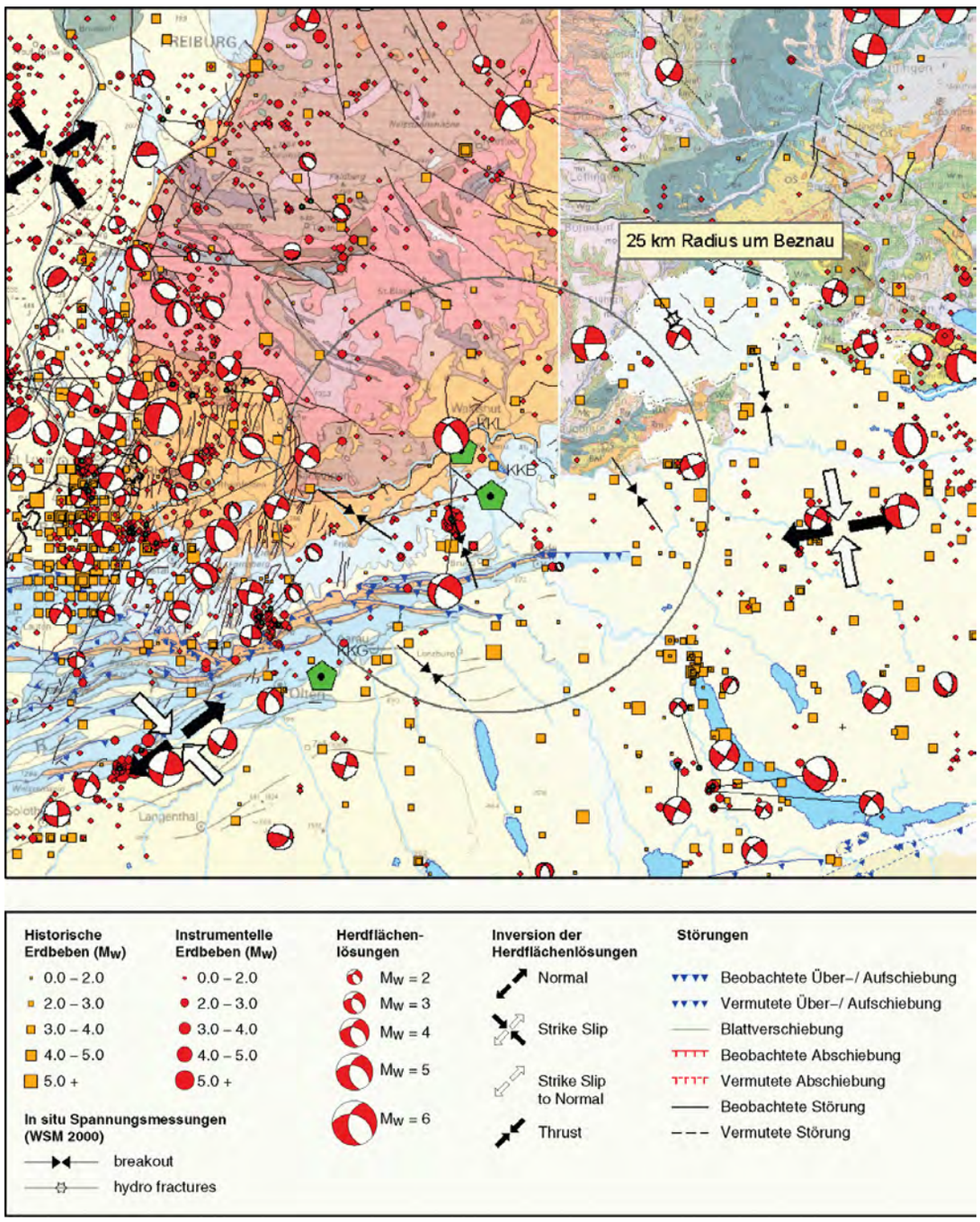
La requérante ainsi que la Nagra sont associées au nouveau réseau. Pour une mise à profit optimale des données obtenues, le SED se chargera de leur exploitation et de la tenue du catalogue élargi des séismes. Des vingt stations additionnelles, quatre environ seront construites au voisinage des sites des deux nouvelles centrales. Les autres le seront en fonction des besoins de la Nagra.

3.7.3.5 Les risques propres au site de Beznau

3.7.3.5.1 Base de données et contexte sismo-tectonique

Alors qu'en de nombreuses régions du monde, particulièrement celles à forte activité sismique, les séismes observés peuvent être mis en relation avec des structures connues de la croûte terrestre, il n'en va pas de même en Europe continentale. A l'intérieur des grandes unités tectoniques (« régions intraplaques »), la sismicité est presque toujours diffuse.

Fig. 3.7-24 : Extrait de la base de données PEGASOS de caractérisation des sources aux environs de Beznau (« modèle sismo-tectonique »).



A de très rares exceptions près, les foyers sismiques ne peuvent pas être corrélés avec des systèmes de failles géologiques connus et cartographiés. Cette remarque vaut même, dans une moindre mesure, pour des unités macrotectoniques comme les Alpes, le bassin molassique, le Jura ou le fossé rhénan. Ce n'est que rarement que la distribution de l'activité sismique observée suit les formes et les limites des systèmes de failles connus (comme par exemple dans le cas du fossé rhénan), et encore la relation n'est-elle généralement pas évidente (voir chapitre 3.7.1, Fig. 3.7-14).

Là où c'est possible, l'évaluation du risque sismique se base souvent sur des failles géologiques jugées susceptibles, sous l'influence des forces tectoniques, de déclencher des séismes (« failles actives »). La question se pose de savoir ce qu'il faut entendre par « faille active » (*active* ou *capable fault*) et quelles failles situées dans la zone d'influence seraient à classifier comme « actives ». Les définitions traditionnelles, généralement développées dans et pour des régions aux caractéristiques tectoniques très différentes de celles de la Suisse, appliquent ce qualificatif à des failles dont on peut démontrer qu'elles ont bougé au cours d'une période qui s'étend très loin dans le passé. Cette période n'est pas définie précisément, mais remonte bien avant l'époque historique, le plus souvent jusqu'au début du Quaternaire. Suivant cette approche, les systèmes de failles connus peuvent être étudiés successivement et classés comme « actifs » ou « inactifs ». C'est cette méthode que recommande notamment la directive de l'AIEA (voir Safety Guide NS-G-3.3).

Il est vrai que la nouvelle directive DS422 (Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations), encore à l'état d'esquisse, donne plus d'importance à l'analyse probabiliste de l'aléa sismique (PSHA) que les textes antérieurs (Safety Series No. 50-SG-S1 et Safety Guide NS-G-3.3). Néanmoins les exigences relatives à la base de données restent visiblement axées sur la sismicité liée aux failles et sur des analyses déterministes. C'est en particulier le cas des spécifications qui stipulent de manière rigide, en fonction de la distance au site, quelles données il faut relever et comment il faut les présenter. Cette manière de faire est explicable si l'on se rappelle que les recommandations de l'AIEA doivent avoir valeur universelle et définissent une norme minimale pouvant être appliquée partout dans le monde quant aux relevés à faire et aux dispositions à prendre en matière de sécurité. Elles sont destinées en premier lieu aux projets de centrales nucléaires pour lesquels il n'existe pas encore d'étude de l'aléa sismique relatif au site. Tel n'est pas le cas de la Suisse. Les études d'aléa menées pour les centrales nucléaires suisses ont atteint ces dernières années un niveau élevé en comparaison internationale, allant souvent très au-delà des directives AIEA pour ce qui est de la qualité et de l'exhaustivité des bases de données aussi bien que de la méthodologie.

La procédure « SSHAC Level 4 » exigée par l'autorité suisse de surveillance pour l'analyse probabiliste de l'aléa (voir chapitre 3.7.3.3.1) s'accompagne de son propre recueil de règles, qui laisse pleine autonomie aux experts pour la composition et l'organisation des bases de données et le choix des méthodes d'interprétation. Lorsque les règles SSHAC et les recommandations de l'AIEA n'étaient pas identiques voire se contredisaient, priorité a été donnée aux règles SSHAC.

Les experts de PEGASOS ont pu s'appuyer sur des bases de données de grande ampleur, réunies par le projet selon leurs vœux. Pour le groupe d'experts du SP1 (caractérisation des sources), la base de données comprend trois parties :

- la base de données du catalogue des séismes,
- la base de données des structures géologiques,
- la base de données sismo-tectoniques.

Toutes les données localisées sont organisées en couches SIG (système d'information géographique) et peuvent donc être combinées à volonté et cartographiées à n'importe quelle échelle. Les plus importantes de ces « couches SIG » se rapportent aux éléments suivants :

- Géologie et tectonique (10 cartes combinées selon les indications des experts
- Failles (de tous types, classifiées selon différents critères)
- Catalogue des séismes (catalogue ECOS : Suisse et régions limitrophes)
- Intensités macrosismiques (1300 - 1980)
- Mécanismes au foyer (cartes avec mécanismes au foyer publiés)
- Topographie (jeu de données RIMINI, combiné avec GTOPO-30)
- Sismique réflexion (réseau complet de lignes de sismique réflexion)
- Structures profondes (cartes sismiques publiées)
- Profondeur du socle (cartes disponibles des isohypses de la surface du soubassement rocheux)
- Profondeur du Moho (épaisseur de la croûte)
- Cartes des flux thermiques et des sources
- Champ magnétique (cartes des champs magnétiques total et résiduel)
- Champ gravitationnel (cartes gravimétriques de Bouguer)
- Mesures de contraintes in situ (tirées du World Stress Map 2000)
- Contraintes résultant de mécanismes au foyer inverses
- Données sur le soulèvement et la subsidence (réseau de mesure national et réseau de mesure Nagra)

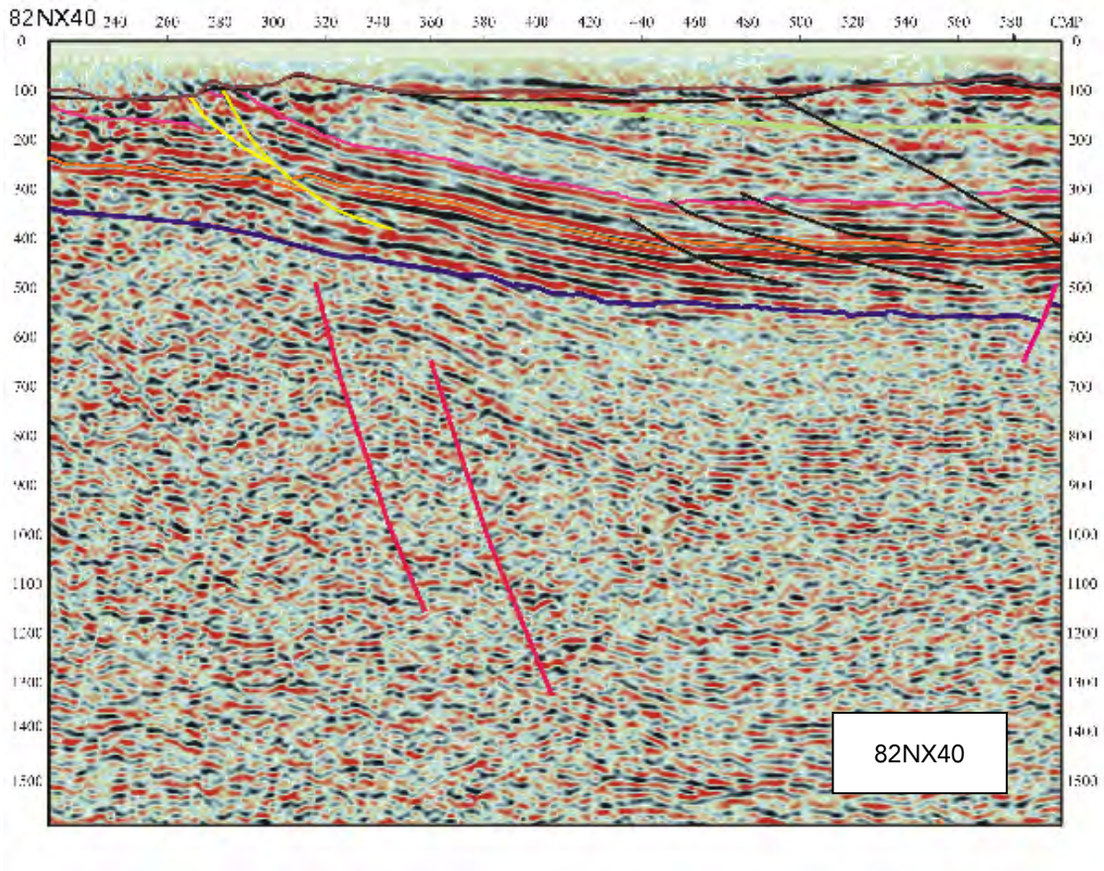
Des combinaisons de ces « couches SIG » (voir un extrait pour Beznau Fig. 3.7-24) définissent le Modèle géodynamique dont sont partis les experts du SP1 pour leur zonage de caractérisation des sources. Le contenu de ce Modèle géodynamique a été présenté au chapitre 3.7.1.3.

3.7.3.5.2 Evaluation des systèmes de failles locaux

Une partie du Modèle géodynamique est formée des systèmes de failles reconnaissables et cartographiables au voisinage du site, que ce soit en surface ou dans le sous-sol. La connaissance géologique de la région de Beznau s'appuie sur une base de données de qualité supérieure à la moyenne, comprenant non seulement des cartes géologiques et un grand nombre de forages, mais aussi le réseau des profils de sismique réflexion de la Nagra, particulièrement dense dans cette zone (cf. chapitres 3.7.1.2.1 et 3.7.1.2.2). Nous examinerons ici la question du potentiel sismogène des systèmes de failles locaux et nous verrons en particulier dans quelle mesure les experts de PEGASOS ont tenu compte de ces failles dans la caractérisation des sources.

Si l'on considère une section sismique représentative, orientée approximativement nord-sud, dans la vallée inférieure de l'Aar (Fig. 3.7-25), on distingue sans peine deux étages géologiques : les sédiments mésozoïques, bien réfléchissants, et le soubassement, composé ici du fossé permo-carbonifère au sud (à droite) et du socle cristallin au nord (à gauche). Le site de Beznau se trouve immédiatement au nord du chevauchement de Mandach (en jaune), qui prend son origine dans les sédiments plastiques du groupe anhydrite (la déformation ductile dans cet horizon de cisaillement est indiquée par l'aspect chaotique de l'image de réflexion). Sous le chevauchement, dans le soubassement, les conditions de représentation sont nettement moins bonnes en raison de la mauvaise réflexivité. On entrevoit néanmoins les failles bordières du fossé permo-carbonifère qui plongent abruptement en direction du sud (en rouge) et les sédiments du fossé qui butent en discordance sur la base de la séquence mésozoïque. Cette architecture géologique, caractérisée par des failles inverses initiées par un enfoncement abrupt ou par paliers de la surface du socle rocheux sous le bord nord du fossé, est typique et se retrouve dans les grands chevauchements, autrement plus marqués, du Jura plissé.

Fig. 3.7-25 : Architecture du sous-sol de la région de l'île de Beznau sur un détail de la section de sismique réflexion 82NX40 (nord : à gauche). On distingue nettement la séquence mésozoïque (au-dessus du réflecteur signalé en bleu), le chevauchement de Mandach (en jaune) et le soubassement, où l'on entrevoit les failles bordières du fossé permo-carbonifère (en rouge). Le fossé, bordé par des réflexions sédimentaires plongeant en pente abrupte en direction du sud, est reconnaissable dans la partie droite.

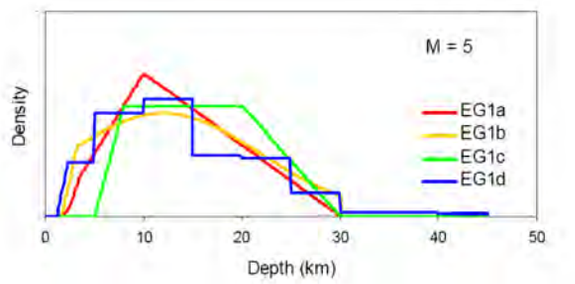


De l'avis des experts de PEGASOS, les failles locales du terrain de couverture mésozoïque ne sont pas significatives pour l'aléa sismique du site, et cela malgré la proximité du chevauchement de Mandach. Les raisons de cette conclusion sont exposées plus en détail au chapitre 3.7.3.5.3. Profondes de quelques centaines de mètres seulement, ces failles n'atteignent pas la profondeur minimale des foyers sismiques, telle qu'on l'admet pour le nord des Alpes. Pour établir les distributions des profondeurs de foyer, les experts ont considéré la dimension des fractures en fonction de la magnitude et – dans l'hypothèse que les foyers se trouvaient dans la moitié inférieure de la surface de rupture – ont déterminé une profondeur focale minimale, qui augmente avec la magnitude. Pour la plus petite des magnitudes encore considérées par le projet, M_w = 5.0, cette profondeur est de 1 à 5 km sous le niveau de la mer (voir Fig. 3.7-26). De plus, on n'a recensé, dans cette région et dans toute celle située au nord des Alpes, aucun mécanisme au foyer qui témoignerait de mouvements de chevauchement [52].

Le potentiel sismique des failles bordières du fossé permo-carbonifère, en revanche, a été abondamment discuté. Plusieurs « experts en ressources », familiers de la géologie locale et des données pertinentes de sismique réflexion, ont été invités à donner des présentations (dont H. Näf). Il en est ressorti que la capacité d'imagerie de la sismique réflexion à l'intérieur du socle et la densité des lignes n'étaient pas suffisantes pour cartographier la structure vraisemblablement complexe du système de failles en bordure nord du fossé permo-carbonifère. Par le passé, il est vrai, divers auteurs ont proposé tour à tour des interprétations, parfois complexes, mais dont aucune n'est vraiment indiquée du point de vue sismique. A elles seules, les publications de la Nagra ont offert depuis les années 1980 six interprétations différentes du système de failles dans la région du fossé permo-carbonifère (voir [58], [43], [109], [52] et [96]). Dans son dernier rapport, la Nagra revient à une interprétation simple, qui tient compte de la faible valeur informative des données sismiques (voir Fig. 3.7-10). Elle présente le bord du fossé comme une suite de failles normales-décrochantes orientées WSW - ENE, traversées par plusieurs failles décrochantes (strike-slip faults) dextres (dans le sens des aiguilles d'une montre) hercyniennes, donc orientées WNW-ESE. Comme nous l'exposons au chapitre 3.7.1.3.2, il est possible de démontrer par des arguments géologiques que tant les failles normales que les failles décrochantes hercyniennes sont inactives depuis la fin du Permien. Dans le cas dela faille de Vorwald uniquement, l'activité ne peut être exclue que depuis le début du Miocène (soit depuis 25 millions d'années). Cette durée d'inactivité extrêmement longue rend une réactivation improbable.

Les avis des experts de PEGASOS étaient partagés. La majorité était d'avis qu'une réactivation inverse des failles bordières abruptes (devenant chevauchantes) sous l'influence du champ de contraintes actuel était certes peu probable, mais ne pouvait pas être totalement exclue. Une réactivation possible a été prise en considération de différentes manières dans les modèles de zonage des sources. Vu la grande marge d'interprétation et le peu de fiabilité des interprétations détaillées, les experts ont renoncé à représenter le bord du fossé par des sources de failles, sans toutefois exclure cette possibilité. Les groupes d'experts EG1a et EG1c ont introduit d'autres zonages, comprenant des éléments conçus de manière à regrouper les structures du fossé permo-carbonifère en une seule surface source. Le groupe EG1b a considéré une possible réactivation en admettant une orientation préférentielle des failles, tandis que le groupe EG1d, tout en estimant possible une réactivation des structures du fossé dans le champ de contraintes actuel, renonçait à introduire des éléments sources spécifiques pour représenter ces structures.

Fig. 3.7-26 : Distributions des profondeurs de foyer pour la magnitude 5 dans le nord de la Suisse. Développées par les quatre groupes d'experts du SP1 (caractérisation des sources)



Une question intéressante est de savoir quelle influence a eue cette prise en compte indirecte d'une possible réactivation des failles bordières du fossé permo-carbonifère sur l'évaluation de l'aléa sismique à Beznau. Les analyses de sensibilité effectuées à la fin de l'étude apportent quelque lumière à ce sujet.

La Fig. 3.7-27 montre les contributions des dix principales sources à l'aléa moyen à Beznau selon le modèle de sources du groupe d'experts EG1a. Ce modèle comprend deux variantes de la zone hôte autour de Beznau, l'une avec représentation explicite du fossé permo-carbonifère (zone E3b, pondération 0.3, voir Fig. 3.7-30), l'autre sans cette différenciation (zone E3a, pondération 0.7). On voit sur la Fig. 3.7-27 que la probabilité de dépassement du seuil 0.1 g dans le modèle E3a (« PC troughs not reactivated », fossés permo-carbonifères non réactivés) est environ 1.5 fois plus élevée que dans le modèle E3b (« PC troughs reactivated »). Ce rapport reflète cependant surtout la pondération plus forte de la variante E3a. Pour des amplitudes d'accélération supérieures à 0.3 g, on n'observe plus de différence significative. Donc si l'on suit le groupe d'experts EG1a, le fait de prendre en compte les structures du fossé permo-carbonifère, de la manière choisie, n'exerce pratiquement aucune influence sur l'aléa sismique pour le site de Beznau.

Le chevauchement de Mandach, qui est la plus importante des failles locales et se trouve au voisinage immédiat du site, est discuté séparément au paragraphe suivant, quand bien même, nous l'avons vu, il n'a pas été jugé sismiquement significatif par les experts de PEGASOS. La question centrale est de savoir si elle peut être source d'un séisme à potentiel de dégâts, à prendre en considération par l'ingéniérie, soit d'une magnitude ≥ 4.5[46].

[46] Aux États-Unis, on admet pour valeur limite inférieure d'un séisme à potentiel de dégâts (« of engineering relevance ») une magnitude (M_w) de 5.0. C'est aussi la valeur qui a été utilisée pour l'étude de risque PEGASOS. Pour le PEGASOS Refinement Projekt (PRP), cependant, il est prévu de faire calculer à titre de comparaison les résultats obtenus pour l'aléa en prenant une « lower bound magnitude » de 4.5.

Fig. 3.7-27 : Contributions des dix principales sources à l'aléa moyen calculé pour Beznau selon le modèle de sources du groupe d'experts EG1a. (composante horizontale, surface, rocher, PGA). Noter en particulier les contributions à l'aléa représentées par les zones hôtes modélisées à titre de variantes, E3A et E3B (voir Fig. 3.7-29 et Fig. 3.7-30).

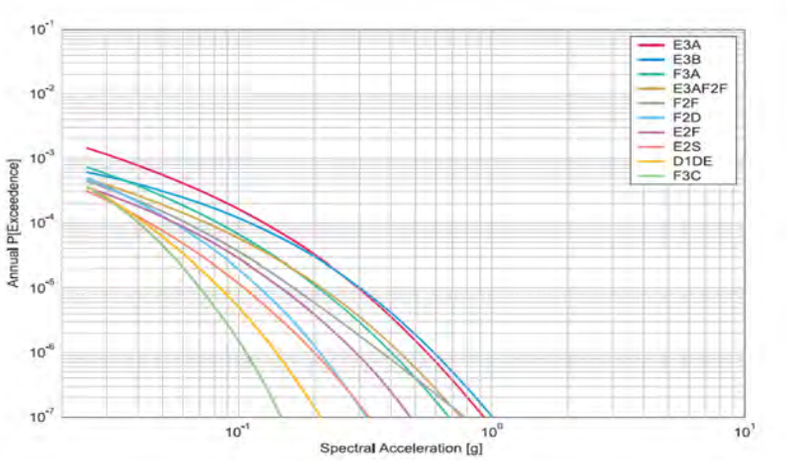


Fig. 8-25: Beznau, horizontal component, rock, surface, 10 largest source contributions to mean hazard, EG1a, PGA

3.7.3.5.3 Caractérisation des sources

En ce qui concerne la caractérisation des sources, on observe de nettes différences entre certaines recommandations de la directive AIEA DS422 d'une part et les règles du SSHAC d'autre part. Même là où il n'y a pas de contradiction manifeste, une partie des recommandations de l'AIEA se trouvent relativisées voire invalidées par les règles du SSHAC. Ces dernières disent par exemple que ce sont les experts qui fixent les exigences relatives au contenu de la base de données et qu'à cet égard ils ne sont nullement tenus à une gradation de l'effort d'investigation en fonction du rayon comme le préconise la première. De même, les experts sont libres d'appliquer leurs propres critères pour la définition d'une « faille active » (« active fault » ou « capable fault »), libres aussi de décider s'ils procéderont à la caractérisation des sources sur la base d'un modèle de structures sismogènes, d'une sismicité diffuse ou d'une combinaison des deux modélisations.

Quant à l'établissement d'une liste des failles connues dans les environs d'un site et à leur classification selon des critères d'activité ou de magnitude potentielle, les experts du SP1 de PEGASOS étaient unanimes à juger cette approche inutilisable ou inapplicable dans des zones à sismicité diffuse, comme l'Europe continentale. Un membre du groupe EG1c a remarqué à ce sujet que le nombre des failles «actives» pourrait être estimé de manière plus directe si l'on abordait la question par un autre angle. Comme tous les séismes naissent sur des failles géologiques et qu'en Suisse et dans son voisinage proche on connaît plus de 2000 épicentres, cela signifie qu'il doit y avoir en Suisse au moins 2000 failles actives. Or on ne connaît quasiment aucune de ces failles et l'on ne peut même pas conjecturer la position de la plupart d'entre elles. En optant pour un modèle qui privilégie les failles déjà cartographiées, on s'expose à des conséquences indésirables, puisque le potentiel de risque calculé pour les failles dépendrait de

manière notable de l'état des connaissances sur leur position et de la possibilité de la placer sur la carte.

Ce groupe d'experts a choisi une définition plus logique des «failles actives», c'est-à-dire de celles qu'il y a lieu de faire figurer dans un modèle de sources en tant que sources de failles (fault sources) discrètes. Cette définition comprend une activité sismique qui se continue, indice que la déformation tectonique d'une région a été sous la dépendance de cette faille et que des séismes futurs le seraient aussi. Après un examen détaillé de plusieurs candidates, le groupe d'experts EG1c est parvenu à la conclusion qu'il n'existe en Suisse aucune faille satisfaisant à ces critères. Cet avis était celui de trois des quatre groupes d'experts ; seul le quatrième a inclus, avec une faible probabilité, en tant que variante faiblement pondérée, deux sources de failles dans son modèle : le décrochement horizontal de Fribourg-en-Brisgau et la faille de Reinach.

A ces deux exceptions près, l'ensemble de l'activité sismique a été modélisée par tous les experts de PEGASOS sous la forme de zones sources (« area sources »). Une zone source représente une région de la croûte terrestre possédant un taux de répétition en fonction de la magnitude, une magnitude maximale (M_{max}) et une distribution des profondeurs focales qui lui sont spécifiques, distincts de ceux des régions voisines. Ces paramètres sont spécifiés pour chaque zone source en même temps que les incertitudes épistémiques. En général, on admet une distribution homogène de la sismicité et du potentiel sismique à l'intérieur d'une même zone source[47].

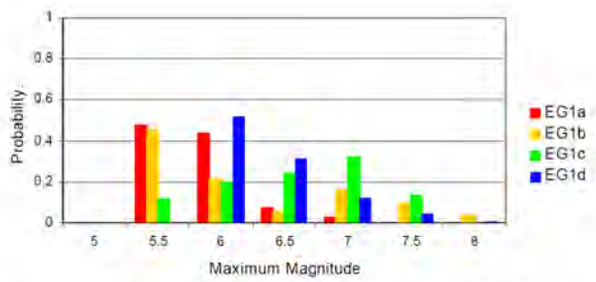
Une zone source a le caractère d'une enveloppe comprenant une catégorie définie de scénarios sismiques associés à leur fréquence. Concrètement, cela signifie que l'on admet que n'importe quel séisme cette catégorie pourrait survenir à tout instant en un point quelconque de la zone source, donc, dans le cas de la zone source qui inclut le site (« zone hôte »), par exemple aussi directement sous l'installation. Comme les contributions de tous les séismes de la gamme de magnitudes correspondant à la zone source, avec leur fréquence, sont déjà comprises dans le calcul de l'aléa sismique, une caractérisation géologique plus détaillée des failles dont la magnitude potentielle est comprise dans cette gamme est inutile puisque, quel que soit le résultat, cela ne changerait plus rien à l'estimation de l'aléa.

Un recensement systématique dans un rayon de 25 km autour du site de Beznau a permis d'identifier plus de 340 failles en surface et au niveau de la base du Mésozoïque. La plus longue est la faille de Vorwald, qui s'étend sur 20 km environ. Si l'on fait abstraction pour un instant du fait qu'elle est inactive depuis au moins 25 millions d'années (cf. 3.7.1.3.2) et que l'on suppose, comme hypothèse conservatrice, qu'un séisme causerait sa rupture sur toute sa longueur, on trouve, d'après Wells & Coppersmith [60], qu'un décrochement transversal (« strike-slip fault ») de cette longueur produirait une magnitude potentielle maximale de 6.4 (valeur médiane + 1 écart-type σ). Ce chiffre est à comparer aux distributions des M_{max} de toutes les variantes proposées par les experts de PEGASOS pour la zone hôte de Beznau (voir Fig. 3.7-28). Si l'on se base à nouveau sur la médiane + 1 σ, on obtient comme magnitude maximale de ces zones sources, en moyenne de tous les groupes d'experts du SP1, une valeur de 6.6. La conclusion en est que les

[47] Il est cependant possible aussi de définir des zones sources ayant une distribution de la sismicité spatialement inhomogène. Dans ces cas-là, l'activité sismique observée historiquement et instrumentalement à l'intérieur de grandes zones sources régionales est lissée à l'aide de méthodes spéciales de filtrage 2D (p. ex. « kernel smoothing »). Le groupe d'experts EG1b a fait usage de cette possibilité.

contributions possibles à l'aléa sismique des 340 failles du catalogue, y compris la faille de Vorwald, sont déjà incluses dans le résultat probabiliste de PEGASOS.

Fig. 3.7-28 : Distributions de probabilité de la magnitude maximale pour les zones sources du nord de la Suisse. Développées par les quatre groupes d'experts du SP1 (caractérisation des sources).



Comparison of maximum magnitude distributions developed by the four SP1 expert teams for Northern Switzerland near the border with Germany

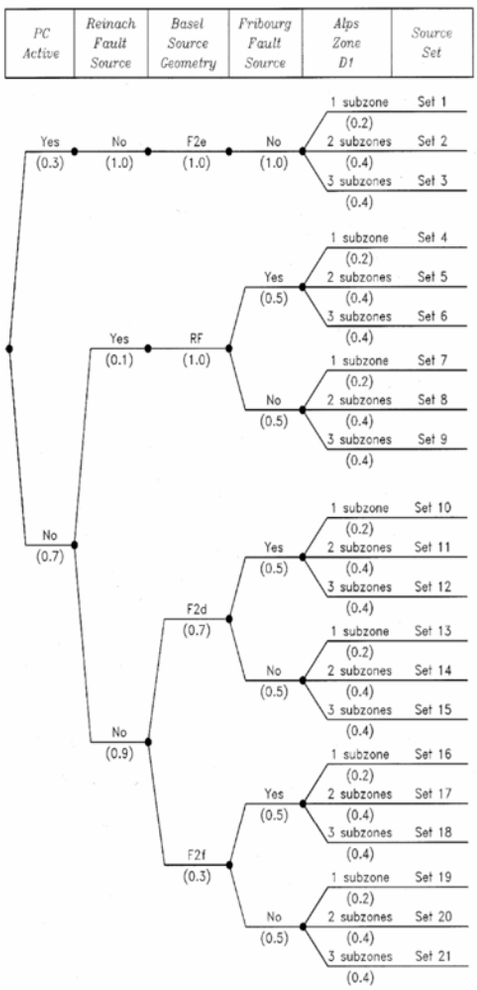
A propos du zonage des sources, une question importante se posait aux experts, celle de savoir si, pour le pronostic de l'activité sismique future, il fallait pondérer davantage la distribution observée de la sismicité ou les limites des unités tectoniques connues. En faveur de la sismicité observée, comme instrument primaire de prévision, il y a la corrélation souvent faible voire non perceptible avec la géologie ; à l'opposé, il y a le fait que l'observation de l'activité sismique ne porte que sur une période géologique très courte. La plupart des experts ont utilisé les deux approches ; en partie à différentes phases du zonage, en partie aussi en tant qu'alternatives dotées de pondérations différentes. La Fig 3.7-29 présente à titre d'exemple un zonage du groupe d'experts EG1a. Ce modèle n'est que l'une des 21 variantes géométriques présentées par ce groupe. Tous ces modèles de sources, comme on le voit sur la Fig. 3.7-30, sont liés entre eux en tant que branches pondérées d'un « arbre logique » qui constitue – avec les taux de répétition, les magnitudes maximales et d'autres paramètres des sources – la contribution de ce groupe à l'input des calculs d'aléa. Les familles de modèles des arbres logiques et les distributions de probabilité des paramètres des sources associées à chaque modèle servent à exprimer les incertitudes (épistémiques) de la caractérisation des sources.

Les incertitudes peuvent contribuer à l'aléa sismique dans une mesure considérable, quoique très variable selon la catégorie d'inputs et le type d'aléa considéré. Les analyses de sensibilité effectuées à la fin de l'étude PEGASOS ont montré que les incertitudes portant sur la caractérisation des sources n'exercent qu'une influence relativement mineure sur l'évaluation de l'aléa (voir chapitre 3.7.3.5.6). Cependant, si l'on considère spécialement les zones sources du voisinage immédiat du site, on voit que les distributions de probabilité relativement larges des magnitudes maximales représentées sur la Fig. 3.7-28 ont un effet significatif sur l'aléa, surtout pour de grandes amplitudes des secousses et de hautes fréquences (voir aussi Fig. 3.7-34).

Fig. 3.7-29 : Exemple d'un modèle de zonage du groupe d'experts EG1a.
Dans cette variante, la zone du fossé permo-carbonifère est délimitée en tant que zone source distincte (E3b) (PC Active : Yes, pondération 0.3, voir Fig. 3.7-30). L'effet de cette variante sur l'aléa obtenu, en comparaison du modèle sans fossé permo-carbonifère, se déduit de la Fig. 3.7-27



Fig. 3.7-30 : Modèle de zonage des sources du groupe d'experts EG1a présenté sous formes de branches pondérées d'un arbre logique. Un premier embranchement (tout à gauche) sépare les modèles qui comprennent une réactivation inverse des failles bordières du fossé permo-carbonifère (« PC Active : Yes ») et les autres (« PC Active : No »).



3.7.3.5.4 Modèles de l'atténuation des mouvements du sol

Les (modèles de) relations d'atténuation décrivent la manière dont l'ébranlement du sol diminue à mesure que l'on s'éloigne du foyer, en fonction de la magnitude et de la fréquence. Les experts de PEGASOS ont considéré de nombreux modèles d'atténuation provenant de diverses parties du monde et les ont examinés quant à leur applicabilité. Une discrimination et une sélection univoques se sont cependant révélées impossibles en raison de la base de données trop petite des séismes forts en Suisse. La dispersion, c'est-à-dire l'incertitude épistémique sur les relations d'atténuation, restait très élevée. La question décisive, celle de savoir s'il fallait privilégier des modèles locaux mais mal étayés dans la gamme des fortes magnitudes, ou des modèles bien fondés mais de transférabilité douteuse, n'a pas pu trouver de réponse définitive. Les modèles d'atténuation font partie de la catégorie d'inputs qui contribue le plus à l'incertitude épistémique sur l'aléa sismique.

Dans le cadre du projet PRP (voir chapitre 3.7.3.4) on s'efforce d'élargir et d'améliorer la base de données des relations d'atténuation empiriques, notamment par des recherches de terrain sur les stations d'enregistrement. On peut s'attendre à ce que cela diminue la dispersion statistique des données et permette aux experts de formuler des relations d'atténuation nouvelles, optimisées pour la Suisse et aux marges d'incertitude plus petites.

3.7.3.5.5 Effet de site

La troisième catégorie de données d'entrée est celle des calculs requis pour déterminer l'effet de site, c'est-à-dire le renforcement du signal sismique depuis une profondeur de référence sur la roche jusqu'à la cote de fondation du bâtiment ou jusqu'à la surface (voir notes explicatives 43 et 44 au chapitre 3.7.3.3.5).

En première approximation, le renforcement du signal en fonction de la fréquence dépend du profil de vitesses des ondes de cisaillement dans l'étage des couches proches de la surface[48]. Les études OPAL ont confirmé pour l'essentiel la validité de cette base de données. La Fig. 3.7-31 présente les trois modèles Vs utilisés par les experts de PEGASOS, avec des pondérations différentes, pour calculer l'effet de site sur les sites KKB 1 et 2. Ces profils de vitesses font partie de l'arbre logique à l'aide duquel chaque expert définit l'effet de site et présente son estimation des incertitudes épistémiques. Ces incertitudes sont relativement grandes, en raison notamment de la dispersion des épaisseurs de couches et des hypothèses sur les vitesses, comme on le voit sur la Fig. 3.7-31[49]. Elles devraient pouvoir être réduites grâce aux études OPAL sur le sol de fondation à Beznau.

Une fois terminé le programme OPAL, les experts du SP3 du PRP (voir chapitre 3.7.3.4) disposeront de tous les résultats qui leur sont nécessaires pour l'interprétation et le recalcul de l'effet de site sur le lieu de la nouvelle installation. Pour chaque site, et en fonction de leur réévaluation des incertitudes épistémiques, ils établiront un ou plusieurs profils de vitesses des ondes de cisaillement, à l'aide desquels ils recalculeront l'effet de site. Ces calculs n'ont pas encore été effectués.

Afin d'obtenir tout de même une comparaison provisoire des fonctions d'amplification entre le nouveau site et l'ancien, la maison Résonance Ingénieurs-Conseils SA a été mandatée pour effectuer des calculs équivalents linéaires unidimensionnels de l'effet de site, en utilisant pour cela les quinze mêmes séries temporelles (avec échelle normalisée pour PGA = 0.4 g) et les mêmes propriétés matérielles que pour les calculs analogues du projet PEGASOS [104] et [105]. Le profil qui a servi d'input pour le nouveau site est la courbe traitillée en bleu dans la Fig. 3.7-31, qui ne se distingue du modèle 1 choisi pour l'installation existante que par l'épaisseur différente des couches alluvionnaires et des argiles à Opalinus.

---

[48] D'autres éléments de l'arbre logique sont les propriétés matérielles du sol de fondation. Déterminées à l'aide d'une série de travaux sur le terrain et en laboratoire, elles servent de base pour le calcul de modèles 1D équivalents linéaires et 1D non linéaires de l'amplification propre au site. La base de données à ce sujet était si bonne dès le début du projet PEGASOS que les experts ont rapidement pu se mettre d'accord sur un seul et même ensemble de propriétés matérielles non linéaires et propres au site.

[49] L'épaisseur des couches ressort des changements par paliers de la vitesse des ondes de cisaillement dans les profils de vitesses de la Fig. 3.7-31.

Fig. 3.7-31 : Modèles 1-3 des vitesses des ondes de cisaillement au site de la KKB selon l'estimation des quatre experts du SP3 (effet de site) de PEGASOS, en noir [105]. Le modèle 1 et le profil traitillé en bleu ont servi d'input pour la KKB et l'EKKB respectivement en vue des calculs provisoires d'amplification de résonance (Fig. 3.7-32). Le profil EKKB provisoire calculé à cet effet considère seulement les épaisseurs des autres couches du nouveau site.

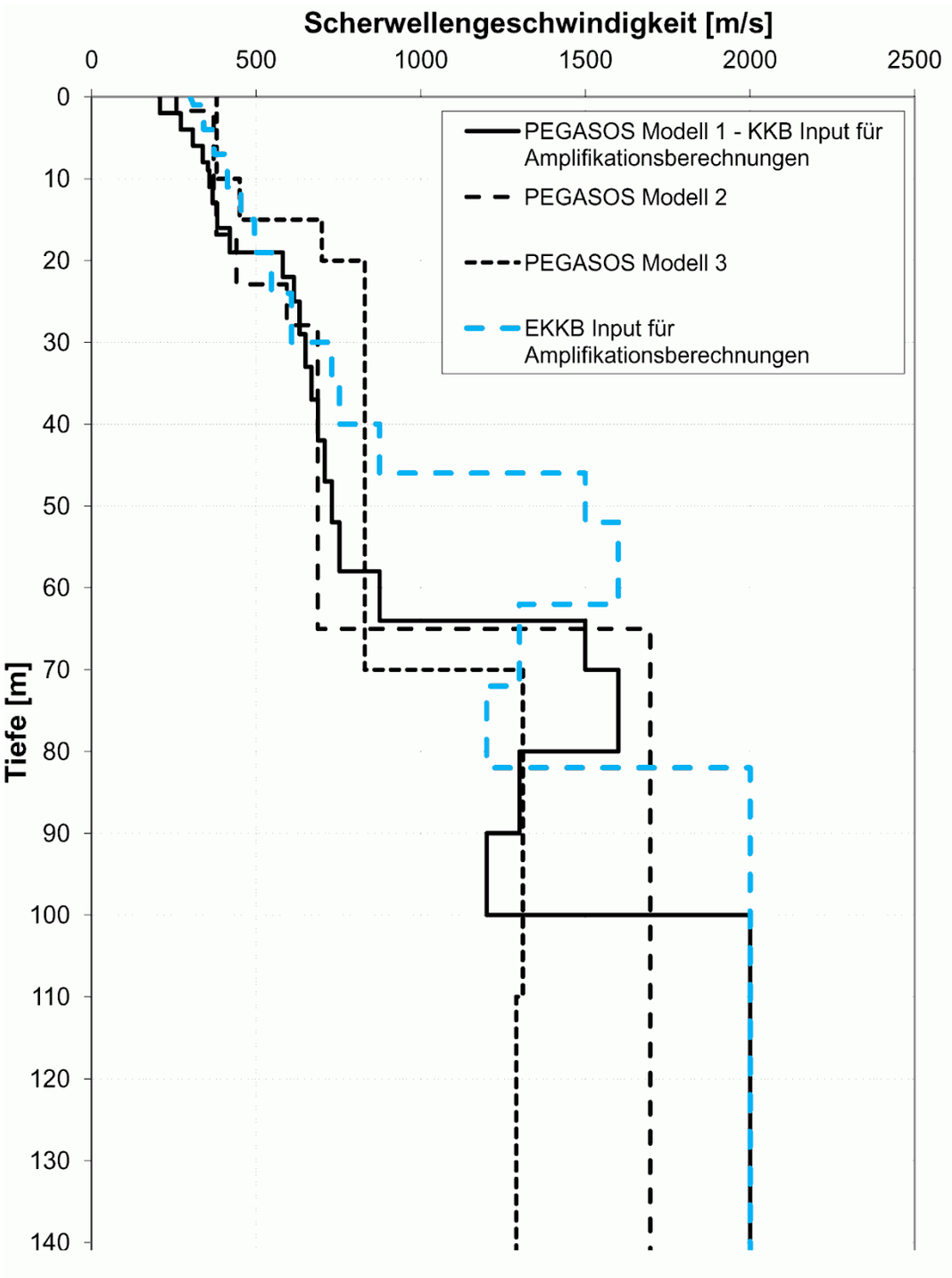
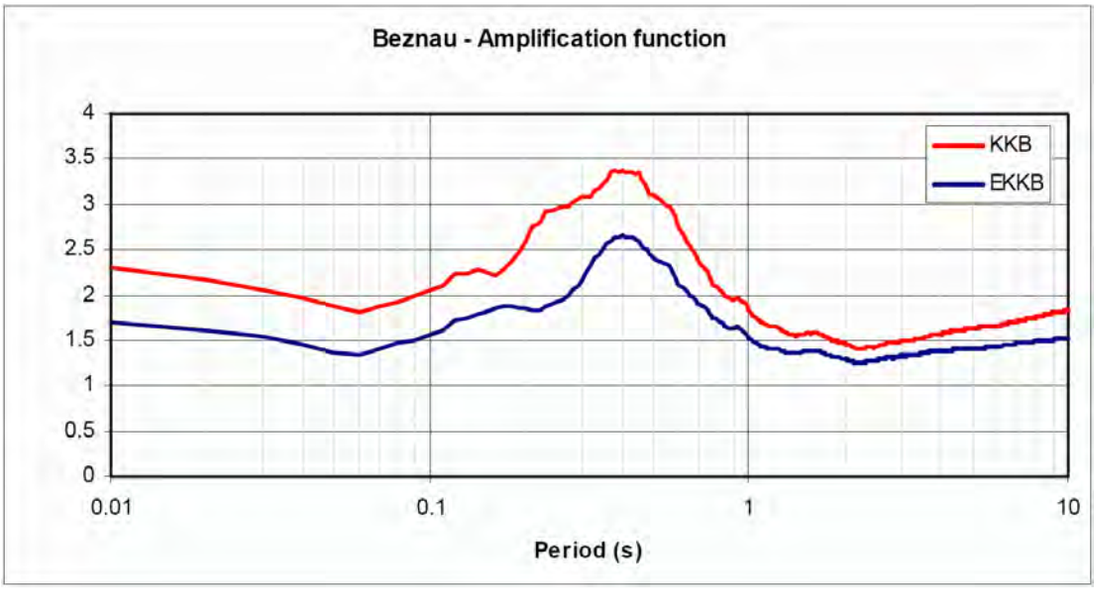


Fig. 3.7-32 : Comparaison provisoire des fonctions d'amplification (moyennes) pour les sites KKB (courbe rouge) et EKKB (courbe bleue).



La Fig. 3.7-32 montre, comme fonction de la période (inverse de la fréquence), les deux fonctions moyennes d'amplification (fonction d'amplification = rapport des deux spectres de réponse calculés l'un à la surface du sol et l'autre sur un affleurement rocheux hypothétique) pour les deux sites. On voit que l'effet de site à l'emplacement de la nouvelle installation est moindre que sous l'installation existante. Les résultats de la mesure «cross hole», qui n'étaient pas encore disponibles à l'époque de ces calculs, montrent que les vitesses des ondes de cisaillement avaient tendanciellement été sous-estimées jusque-là. Cela signifie que l'amplification des ondes sismiques par les couches géologiques proches de la surface sous la nouvelle installation serait encore plus faible[50]. On peut donc, de manière conservatrice, transposer les résultats de PEGASOS au site de l'EKKB.

Cette discussion et ces calculs ne sauraient en rien préjuger des résultats du projet PRP. Ils ne représentent qu'un résultat provisoire et servent seulement à estimer dans quelle direction l'effet de site va se modifier selon toute vraisemblance lorsqu'on passera du site de l'ancienne installation à celui de la nouvelle. Les calculs du PRP se baseront sur de nouveaux profils de vitesses élaborés par les experts du PRP. Au moment de rédiger la demande de l'autorisation de construire, il est probable que les résultats du PRP seront disponibles. La nouvelle installation pourra ainsi être conçue en fonction d'un pronostic actualisé des valeurs maximales attendues de l'accélération du sol.

[50] Il se peut que la NOK choisisse dans le projet PRP une vitesse rocher plus basse que les 2000 m/s du projet PEGASOS. L'effet de site, en soi, serait alors plus petit. Mais ce serait compensé exactement par un aléa sismique sur rocher plus élevé, de sorte que le choix de la vitesse de référence n'entraînerait à lui seul aucun changement de l'aléa à la cote de fondation du bâtiment ni en surface. Cet effet n'a donc pas d'intérêt ici.

3.7.3.5.6 Contributions à l'aléa vibratoire

Pour l'analyse probabiliste de l'aléa, on considère les séismes survenus dans la région, à toutes les distances jusqu'à 300 km et dans tout le domaine des magnitudes à potentiel de dégâts. En fonction des fréquences et des amplitudes considérées pour les mouvements du sol, ces séismes contribuent dans des mesures différentes à l'aléa sismique. La déagrégation des résultats pour Beznau montre, comme on le voit sur les Fig. 3.7-33 et Fig. 3.7-34, que pour les faibles amplitudes des secousses (0.05 g) et les fréquences basses (0.5 Hz), les séismes de toute la gamme des distances et des magnitudes apportent des contributions significatives, tandis qu'à l'autre extrémité, pour celle des grandes amplitudes (o,7 g) et des fréquences les plus élevées (PGA), l'aléa est déterminé essentiellement par les séismes proches (< 20 km) et de magnitudes 5 - 7 (Fig. 3.7-34). Ceci n'est pas propre à Beznau mais commun à tous les sites. Àmesure que les amplitudes et les fréquences augmentent, le rôle des gros séismes et des séismes éloignés diminue rapidement. Ce tableau se confirme si l'on range en fonction de leur contribution les différentes sources délimitées par les experts.

Les plus fortes contributions sont celles des zones sources proches, à commencer par celle où se trouve le site lui-même (« host zone », voir ci-dessous), qui vient en tête dans le modèle de chaque expert. Si l'on s'intéresse avant tout aux fortes accélérations du sol et aux fréquences élevées, il est indiqué de se concentrer, pour la discussion de l'aléa sismique du site, sur les sources proches, situées à moins de 20 à 40 km de distance.

Pour quantifier le *risque* sismique, c'est-à-dire la combinaison de l'aléa sismique (probabilité) avec la vulnérabilité des différentes constructions, on procède à des étapes supplémentaires, en partie déterministes. A ce stade, l'ingénieur ne peut pas reprendre dans leur entier les résultats probabilistes de l'étude PSHA. Comme input de ses calculs, il a besoin d'un ou plusieurs séismes-scénarios (« scenario earthquakes » ou « controlling earthquakes »). Pour une fréquence et une amplitude données des secousses, on appelle séisme-scénario le séisme auquel correspond la plus haute colonne dans le diagramme de déagrégation (en utilisant à cet effet une grille à mailles plus serrées dans le plan magnitude-distance). Pour une amplitude d'accélération de 0.15 g et une fréquence de 5 Hz, par exemple, le séisme-scénario pour Beznau a une magnitude M_w = 5.05 et un foyer à 7.5 km de distance.

Fig. 3.7-33 : Contributions à l'aléa sismique pour le site de Beznau (roche) en fonction de la magnitude, de la distance et de ϵ[51] pour une amplitude d'accélération horizontale de 0.05 g et une fréquence de 0.5 Hz

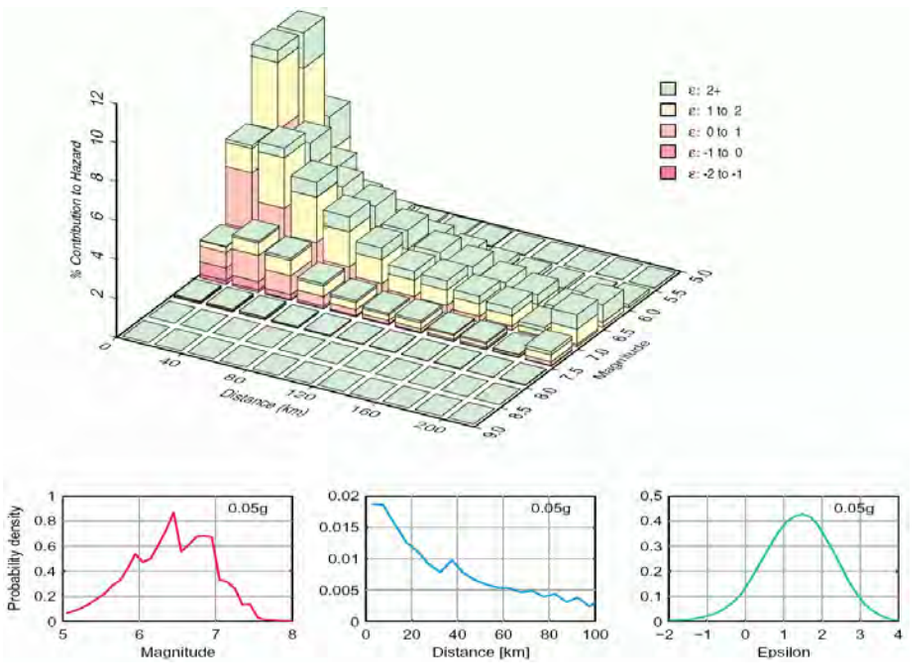
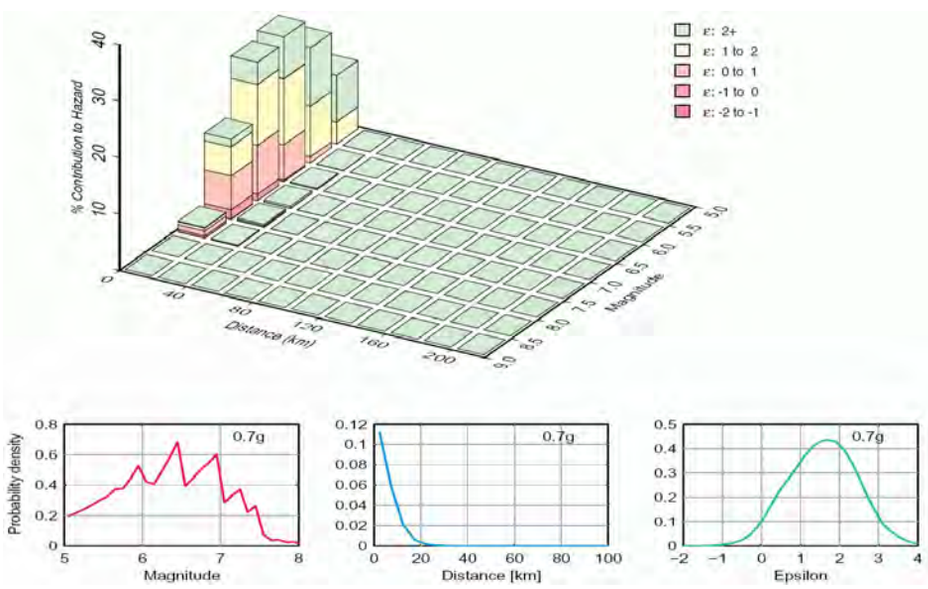


Fig. 3.7-34 : Contributions à l'aléa sismique pour le site de Beznau (roche) en fonction de la magnitude, de la distance et de ϵ pour une amplitude d'accélération horizontale de 0.7 g et une fréquence de 100 Hz (PGA)



[51] Ecart entre log APE (le logarithme de la probabilité annuelle de dépassement) et sa moyenne, exprimé en multiples de son écart-type, en fonction des différents scénarios magnitude/distance.

En plus de la dé-agrégation de l'aléa sismique en une grille de distances et de magnitudes, on peut, à l'aide de calculs de sensibilité, identifier dans les modèles des experts les éléments qui apportent la plus forte contribution à l'aléa global et surtout à l'incertitude globale. Dans la caractérisation des sources, ce sont les taux de répétition des séismes en fonction de la magnitude et, spécialement pour les basses fréquences, les magnitudes maximales (M_{max}) au voisinage du site, qui influencent de manière décisive l'aléa roche. Dans les modèles d'atténuation, ce sont les médianes de l'accélération du sol et la variabilité aléatoire au voisinage du site ($R < 40$ km) qui jouent un rôle décisif. La médiane de l'accélération du sol est elle-même influencée principalement par l'importance de la chute de contrainte (stress drop) et par la distribution des profondeurs des foyers sismiques dans les sources proches du site.

La plus grande contribution à l'incertitude globale sur l'aléa sismique – indépendamment de la fréquence et de l'amplitude des secousses – est la caractérisation de l'atténuation et notamment de sa médiane.

3.7.3.5.7 Evaluation du risque de mouvements de faille

Un risque de mouvement de faille suppose à proprement parler qu'une faille géologique ou un linéament tectonique discret passe exactement par l'empreinte au sol (« footprint ») de l'installation, de sorte qu'une réactivation pourrait produire une déformation de la surface et par là des dégâts aux bâtiments et aux installations. Sur l'île de Beznau, on ne connaît aucun linéament ou faille de ce genre. En un sens plus large, cependant, il faut aussi tenir compte des failles identifiées dans le sous-sol, s'il n'est pas exclu que la surface de rupture d'un séisme associé à l'une de ces failles puisse percer jusqu'à la surface et affecter la base de l'installation.

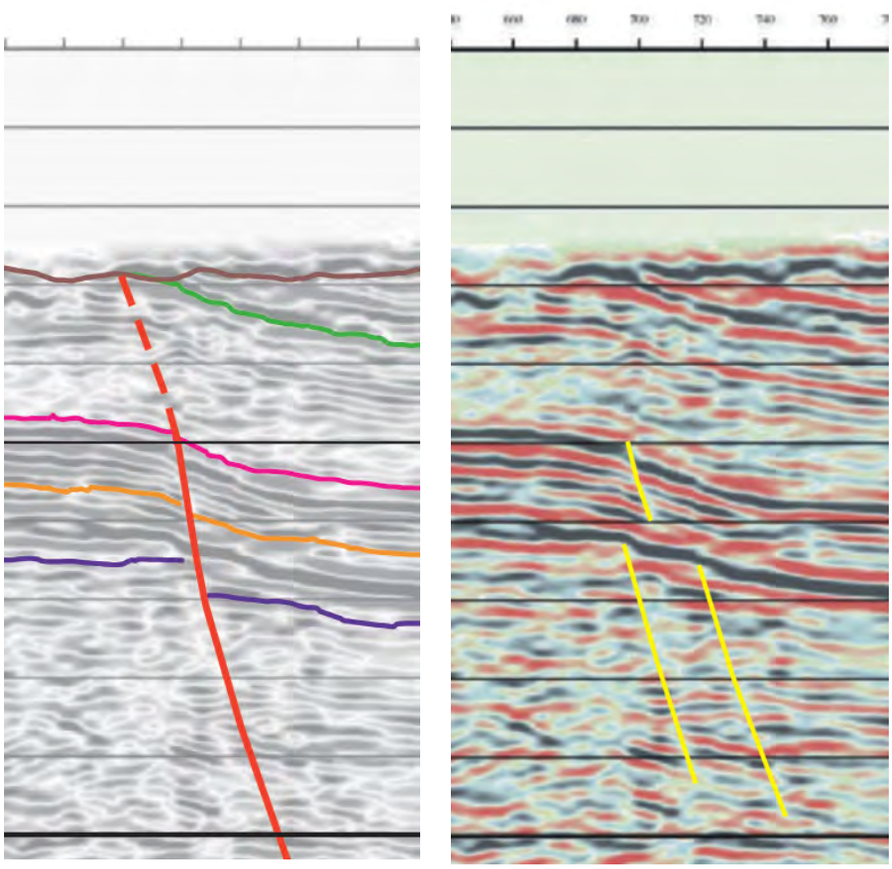
La faille la plus proche du site est le chevauchement de Mandach, dont la ligne d'affleurement rocheux touche l'extrême pointe sud de l'île de Beznau (voir Fig. 3.7-7). Même sans compter que cette ligne se trouve à l'extérieur du périmètre, elle ne présente pas de danger de rupture de faille car il n'existe aucun indice de mouvements tectoniques au cours des 25 000 dernières années (voir chapitre chapitre 3.7.1.2.3). A cela s'ajoute le fait que l'ancienne et la future centrale nucléaire se trouvent sur le compartiment inférieur du chevauchement, de sorte que même en cas de séisme on ne doit pas s'attendre à ce que la faille puisse s'étaler vers le nord, en direction de l'île de Beznau (« back thrust faulting »). Cette configuration diffère fondamentalement de celle de l'installation nucléaire japonaise de Kashiwazaki-Kariwa (KKNPS), endommagée en 2007 par le séisme de Niigata. Là, il n'y avait certes pas eu de rupture de faille superficielle, mais on a identifié comme cause du séisme un chevauchement qui s'enfonce sous l'installation. Le site se trouve donc sur le compartiment supérieur, ce qui laisse ouverte la possibilité que lors d'un séisme futur de nouvelles branches se forment derrière la faille principale.

Dans le socle rocheux de la région de Beznau, on trouve la bordure nord du fossé permo-carbonifère, généralement orientée WSW-ENE et traversée par plusieurs décrochements dextres hercyniens. Ces failles bordières déforment le socle cristallin, y compris le fossé permo-carbonifère et ses épaulements, mais non le terrain de couverture formé d'une série de couches mésozoïques. Des arguments géologiques et de sismique réflexion permettent de démontrer que toutes ces failles, y compris la faille de Vorwald, qui passe au nord de l'île de Beznau, sont inactives depuis le Miocène, c'est-à-dire depuis plus de 25 millions d'années (voir chapitre 3.7.1.3.2).

S'il y avait eu, depuis le Miocène, une réactivation de failles du socle, et que celles-ci se soient propagées jusqu'aux couches sédimentaires mésozoïques supérieures voire jusqu'en surface, on devrait en voir des traces sur les sections de sismique réflexion. Or de telles traces font totalement défaut, malgré les conditions d'imagerie favorables et la haute définition que permettent les couches mésozoïques.

Il y a certes des interprétations publiées qui semblent contredire cette affirmation. Mais la plupart ne résistent guère à un examen plus détaillé, comme le montre l'exemple présenté dans la Fig. 3.7-35.

Fig. 3.7-35 : Réactivation de failles dans le socle rocheux : ligne sismique 83-NF-55 dans la zone CMP 700 (NTB 08-04).



L'interprétation de la Nagra dans la zone de la base du Mésozoïque (à gauche) ne convainc pas dans ce cas-là. La solution esquissée à droite montre comment les sédiments mésozoïques se drapent au-dessus de la déformation en escalier dans la surface du soubassement, provoquant dans les couches du Trias et du Jurassique inférieur des ruptures par décollement insignifiantes. On ne discerne aucune prolongation directe des failles du socle jusque dans des couches récentes.

Ces raisons conduisent à la conclusion que ni le chevauchement de Mandach, ni le système de failles du soubassement ne représentent un risque de rupture de faille pour le site de l'EKKB.

3.7.3.6 Le potentiel de risque du chevauchement de Mandach

3.7.3.6.1 Lithologie et comportement de déformation

Comme nous l'avons vu au chapitre 3.7.1.2.5 le chevauchement de Mandach est un chevauchement/décollement[52] important, orienté vers le nord, qui - comme beaucoup d'autres dans le bassin molassique du Nord de la Suisse – est apparu par cisaillement dans les séries évaporitiques triasiques du groupe anhydrite et suit un tracé parallèle au front alpin. L'hypothèse de la poussée à distance, à la base de cette interprétation, est un concept aujourd'hui établi et confirmé par de nombreux exemples pour la dernière phase du raccourcissement de la croûte au Nord des Alpes (p.ex. [52]). La faille, notamment représentée de façon correcte à satisfaisante sur les deux lignes 82NX40 et 82NS50 de la Nagra (voir Fig. 3.7-36 et Figure 3.7-37), passe au sud de l'île de Beznau. Le chevauchement déplace les formations depuis le groupe anhydrite (horizon de décollement) jusqu'au Dogger. Le comportement rhéologique de ces formations est inégal. Si les calcaires du Muschelkalk et les roches d'autres formations se déforment de manière cassante, on peut en revanche attendre des roches du Trias supérieur (Gipskeuper) et du groupe anhydrite une déformation ductile, donc asismique (voir Fig. 3.7-38).

3.7.3.6.2 Séismes peu profonds en Europe continentale

Le point le plus bas du chevauchement de Mandach se trouve à environ 600 m sous la surface du sol. On admettait autrefois que dans des couches sédimentaires il était pratiquement impossible que des contraintes tectoniques suffisantes s'accumulent pour déclencher un séisme de magnitude moyenne.

Depuis lors, grâce à l'amélioration des localisations et à la densification des réseaux de stations, il a été possible de déterminer la profondeur des foyers avec plus de précision et l'on a identifié ces dernières années quelques séismes dont les foyers pourraient éventuellement se trouver dans les couches sédimentaires. La plupart d'entre eux sont de magnitude M_w inférieure à 4.0 et ne présentent donc pas de potentiel de dégâts (M_w >4.5, voir aussi la note relative aux profils de vitesses des ondes de cisaillement). Cependant l'on connaît deux cas bien documentés de séismes de magnitude moyenne dont le foyer se situe vraisemblablement dans la couverture sédimentaire : celui d'Annecy (ou d'Epargny, M_w 4.6), d'une profondeur focale de 3 km [59], et celui de Fribourg (M_w 4.0), dune profondeur de 2 km [49]. Tous deux, toutefois, étaient des

[52] Un horizon de décollement est une surface de glissement tectonique entre deux paquets de couches géologiques, dont la plus récente stratigraphiquement est poussée par-dessus la plus ancienne. Cela se produit souvent dans des couches à faible résistance au cisaillement (argiles, évaporites, etc.).

mouvements strike-slip dans des empilements sédimentaires épais de plus de 3 km. Ce ne serait pas le cas d'un séisme potentiel sur le chevauchement de Mandach, où les sédiments ne dépassent guère 600 m d'épaisseur.

Il existe d'autres cas de sismicité superficielle qui n'ont pas été déclenchés par une augmentation des contraintes tectoniques au-delà du seuil critique, mais par un abaissement de ce seuil suite à un accroissement de la pression de pore induit en profondeur par les pluies. Cependant ces deux cas ([57] et [47]) concernaient des séismes faibles ($M_w < 2.5$) dans les nappes helvétiques, souvent à forte pente. Dans la région du chevauchement de Mandach, les argiles à Opalinus, pratiquement imperméables, sont subhorizontales et voisines de la surface, ce qui devrait exclure la diffusion en profondeur d'une onde de pression de pore induite par les pluies. On ne connaît dans le monde aucun exemple de séisme induit par les précipitations qui ait eu une magnitude suffisante pour présenter un potentiel de dégâts.

3.7.3.6.3 Modélisation des contraintes maximales en termes de mécanique des roches

La contrainte tectonique maximale pouvant s'accumuler au chevauchement de Mandach constitue la limite supérieure de la chute de contrainte statique (stress-drop) en cas de séisme. Le stress drop $\Delta\sigma$ et les dimensions de la surface de rupture déterminent ensemble l'énergie libérée, autrement dit la magnitude du séisme (voir chapitre 3.7.3.6.4 ci-dessous).

Fig. 3.7-36 : La ligne Nagra 82NX40, non interprétée (en haut) et interprétée (en bas). En rouge, dans l'encadré, le tracé de la faille de Mandach projeté sur la base du Quaternaire.

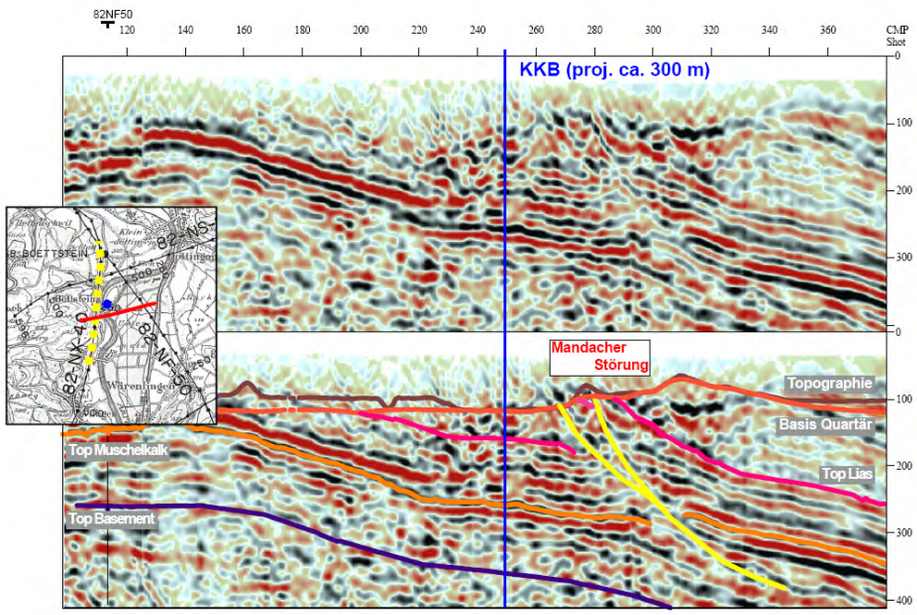
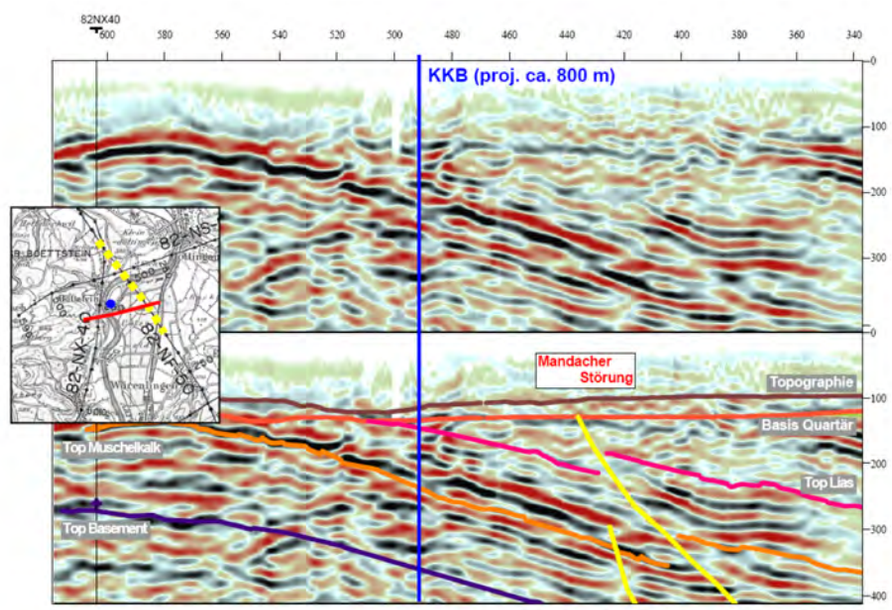


Figure 3.7-37 : La ligne Nagra 82NF50, non interprétée (en haut) et interprétée (en bas)

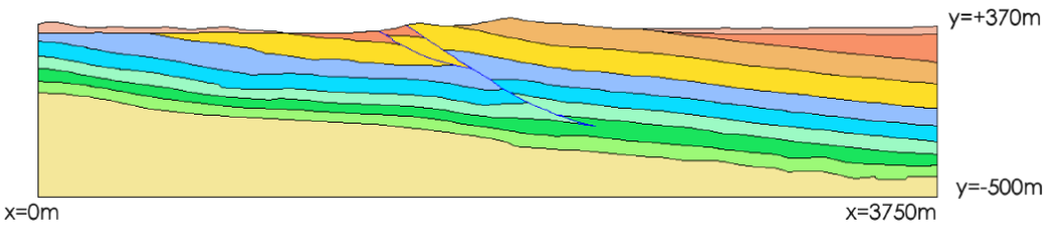


Dans le cas du chevauchement de Mandach, on connaît bien non seulement l'emplacement et la longueur de la faille, mais aussi, grâce à la sismique réflexion, sa forme. On sait, de plus, quelles sont les formations rocheuses en présence, quelle est leur position l'une par rapport à l'autre et quels paramètres matériels doivent être supposés pour décrire leur comportement en matière de déformation. Une partie de ces paramètres sont le résultat de recherches systématiques de la Nagra sur des sondages en profondeur et dans le laboratoire souterrain du Mont Terri.

Ces conditions favorables ont donné la possibilité de simuler à l'aide d'un modèle numérique l'accumulation des contraintes jusqu'à la rupture de la surface de chevauchement, afin d'obtenir ainsi le stress drop maximal, utilisé ensuite pour estimer le potentiel de magnitude du chevauchement de Mandach. Les calculs de ce modèle ont été confiés à la firme allemande ITASCA Consultants GmbH.

La Fig. 3.7-38 explique les conditions géométriques initiales du modèle numérique bidimensionnel, les formations géologiques considérées et leurs paramètres matériels. La discrétisation comprenait 18 blocs, 13 492 point nodaux et 23 609 éléments déformables (voir Fig. 3.7-39). La modélisation a utilisé le code UDEC 4.0 [106] spécialement approprié pour les problèmes portant sur les structures en blocs dans les terrains fissurés. Les simulations se sont effectuées en plusieurs phases. Au début, le bord gauche, la base et le bord droit du modèle étaient fixés en direction normale, jusqu'à ce que l'équilibre statique soit atteint. Pour la modélisation des mouvements tectoniques, qui devaient conduire à un soulèvement le long de la surface de chevauchement, la fixation au bord droit du modèle a été remplacée dans la partie inférieure ($y < -253.2$ m) par une condition sur les contraintes aux limites.

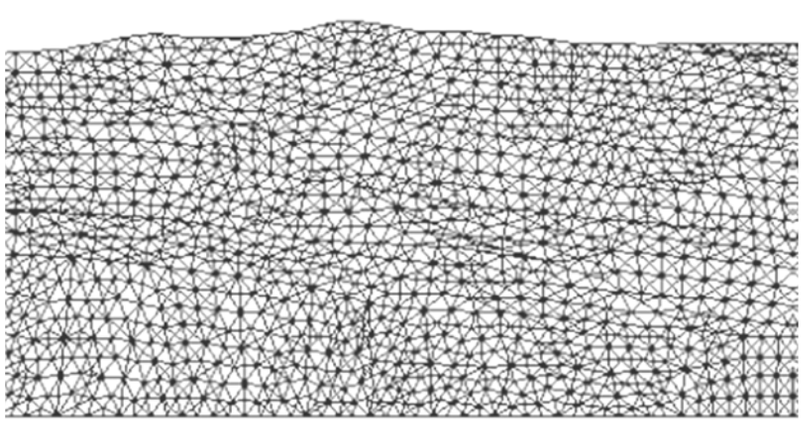
Fig. 3.7-38 : Formations géologiques considérées dans le modèle numérique avec leurs paramètres matériels. Le groupe anhydrite et le Gipskeuper (voir chapitre 3.7.1, Fig. 3.7-2) ont été modélisés comme des unités déformables de manière ductile, toutes les autres lithologies comme déformables de manière cassante.



Name	E [GPa]	ν [/]	Reibung [°]	Kohäsion [MPa]	Dichte [kg/m³]
Buntsandstein	20	0.27	30	3	2500
Anhydritgruppe	15	0.27	0	0	2900
Hauptmuschelkalk	30	0.27	35	6	2630
Gipskeuper	15	0.27	0	0	2600
Schilfsandstein	10	0.27	30	3	2400
Opalinuston	6	0.27	35	6	2450
Hauptrogenstein	30	0.27	35	6	2600
Malmkalke	40	0.27	35	6	2600
Quartär	2	0.3	30	0	2200
Granit	50	0.27	/	/	2700



Fig. 3.7-39 : Structure réticulée des éléments déformables (détail)



Le but des simulations était de déterminer la contrainte de cisaillement moyenne intégrée maximale le long de la surface de chevauchement ainsi que la valeur du raccourcissement du modèle (en tant que mesure du temps tectonique) au moment de la rupture. Pour cela, durant le calcul, les contraintes de cisaillement ont été établies pour tous les segments de la surface de chevauchement, additionnées, puis divisées par la longueur de cette surface.

Le paramètre critique pour la contrainte maximale de cisaillement est l'angle de frottement sur la surface de chevauchement. Comme il n'existait aucune possibilité de déterminer ce paramètre, on a répété les calculs pour différentes valeurs de celui-ci. Plus l'angle de frottement est grand, plus la contrainte maximale est grande aussi, ce qui signifie qu'un angle de frottement élevé représente l'hypothèse conservatrice. Pour limiter le frottement vers le haut, on a fixé comme condition que la surface de chevauchement devait rester mobilisable. Un blocage complet aurait

contrevenu à la prémisse fondamentale de l'étude, puisqu'il fallait trouver quelle force un séisme pouvait atteindre sur une zone de faiblesse préexistante.

Fig. 3.7-40 : Vecteurs de mouvement au voisinage de la surface de chevauchement au moment de la rupture de celle-ci (en haut) et sensiblement plus tard (en bas) pour un angle de frottement de 10°.

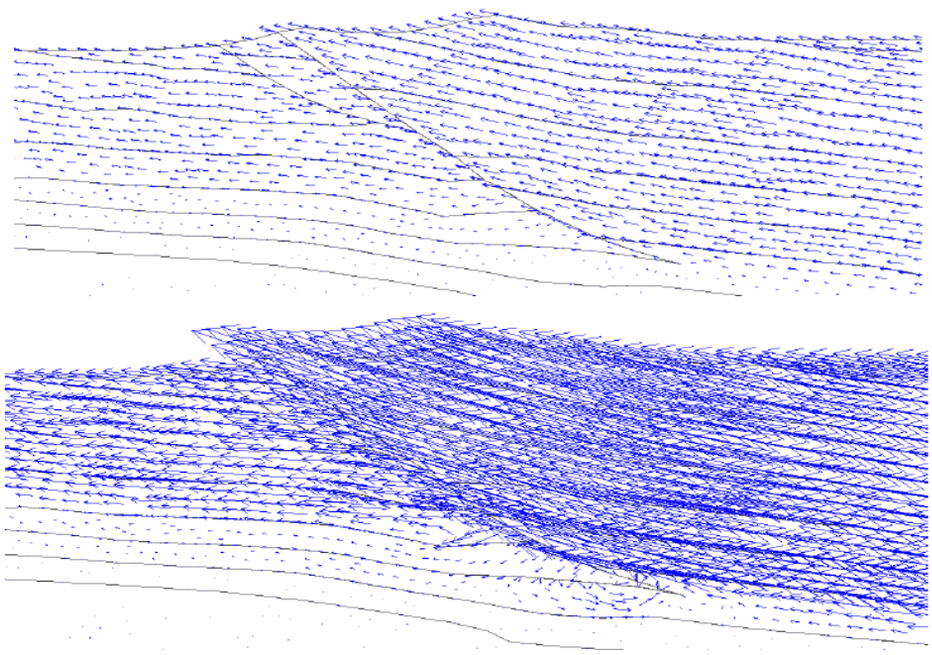
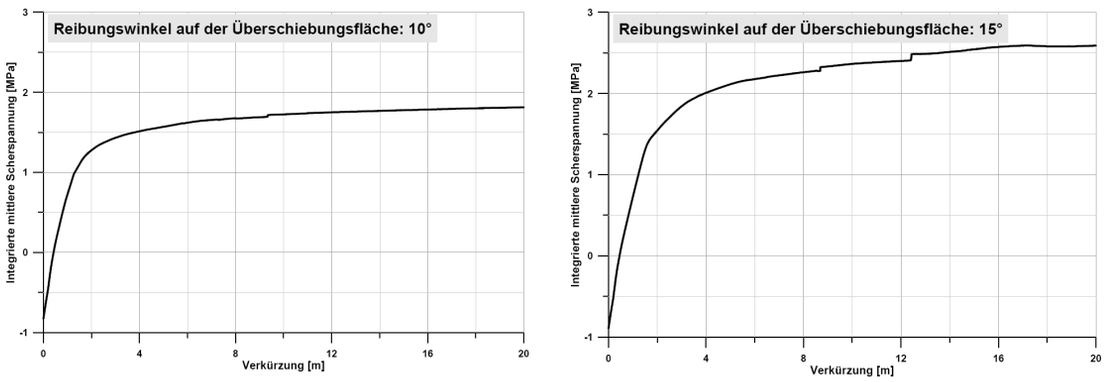


Fig. 3.7-41 : Variation de la contrainte de cisaillement moyenne intégrée sur la surface de chevauchement, en fonction du raccourcissement calculé par le modèle dans le cas d'un angle de frottement de 10° (à gauche) ou de 15° (à droite).



Le principal résultat des simulations est la valeur de la contrainte de cisaillement moyenne intégrée en fonction du raccourcissement modélisé, représentée dans la Fig. 3.7-41. Pour un angle de frottement de 10° (à gauche), on obtient un raccourcissement de 4 m à la rupture et une contrainte de cisaillement maximale de 1.8 MPa. La Fig. 3.7-40 montre les vecteurs de déplacement correspondant à cette situation, d'une part au moment de la rupture, d'autre part dans la phase post-rupture. Pour un angle de frottement de 15° (à droite), le raccourcissement donné par le modèle est de 7 m et la contrainte de cisaillement de 2.6 MPa.

Avec un angle de frottement de 20°, le chevauchement bloque, c'est-à-dire que la partie supérieure du modèle est entièrement retenue et qu'on ne distingue plus de mouvement différentiel entre les compartiments supérieur et inférieur. Cette valeur de 20° peut donc être considérée comme valeur limite de l'angle de frottement sur la surface de chevauchement, de même que la valeur qui en résulte pour l'intégrale de la contrainte de cisaillement, qui reste inférieure à 3 MPa. Cependant, puisqu'à 20° la condition d'activation est déjà enfreinte, c'est 15° qui a été retenu comme valeur réaliste pour l'angle de frottement. La contrainte de cisaillement maximale correspondante, soit 2.6 MPa, représente la plus grande chute de contrainte statique ($\Delta\sigma$) que l'on puisse attendre en cas de séisme et c'est donc cette valeur qui a été prise comme input pour l'estimation de la magnitude maximale.

3.7.3.6.4 Magnitude maximale envisageable au chevauchement de Mandach

Pour déterminer le plus fort séisme qui pourrait être déclenché par le chevauchement de Mandach, il faut recourir aux relations théoriques entre les principaux paramètres focaux (voir p.ex. [51]). Kastrup et al. [49] ont utilisé une telle relation pour les essais sismiques de Fribourg-Schwärme :

$$M_w = 2 \log L + 0.67 \log \Delta\sigma - 1.33 \log a - 0.67 \log C - 6 \quad (1)$$

où M_w est la magnitude de moment, L la longueur de la rupture, $\Delta\sigma$ la chute de contrainte statique (stress drop), a le rapport entre la longueur et la largeur de la rupture et C une constante sans dimension. Le rapport longueur/largeur a (son aspect ratio) peut être dérivé pour la longueur L et la largeur W de la rupture, selon les régressions de Wells & Coppersmith [60] :

$$\log a = -0.81 + 0.17\, M_w \quad (2)$$

Si : $a = L / W$ (où L, nous l'avons dit, est la longueur de la rupture, et W sa largeur), il résulte de (1) et (2) une nouvelle relation, où la magnitude (de moment) maximale n'est plus fonction que de la largeur de la rupture W, du stress-drop $\Delta\sigma$ et de la constante C :

$$M_w = 2.256 \log W + 0.752 \log (\Delta\sigma / C) - 7.376 \quad (3)$$

Pour déterminer la magnitude maximale, il faut introduire dans l'équation les valeurs des paramètres pour le chevauchement de Mandach. Si l'on additionne les segments qui mettent en contact, des deux côtés de la faille, des lithologies cassantes (voir Fig. 3.7-38), on obtient une largeur cumulée, c'est-à-dire une valeur maximale de W, d'environ 500 m. Pour la constante d'échelle C, on peut admettre une valeur représentative et moyenne de 2 [49].

La limite supérieure, et donc conservatrice, pour la chute de contrainte $\Delta\sigma$ est la contrainte maximale pouvant s'accumuler à l'endroit de la faille. Ce paramètre a été obtenu par modélisation du chevauchement de Mandach en termes de mécanique des roches, comme décrit à la section précédente (voir chapitre 3.7.3.6.3Il en est ressorti une valeur de 2.6 MPa ou 26 bar, qui est bien comparable à la valeur standard moyenne de 30 bars admise dans la littérature pour les séismes à l'intérieur des grandes unités tectoniques (séismes intraplaques) (voir [48]). Le fait que le résultat soit inférieur à la valeur standard est normal étant donné la faible profondeur du chevauchement de Mandach.

Dans l'hypothèse d'une chute de contrainte maximale $\Delta\sigma$ de 2.6 MPa, l'équation (3) donne pour le plus fort séisme pouvant être déclenché par le chevauchement de Mandach une magnitude de moment M_w = 3.3, ce qui est négligeable pour l'aléa vibration du site de l'EKKB.

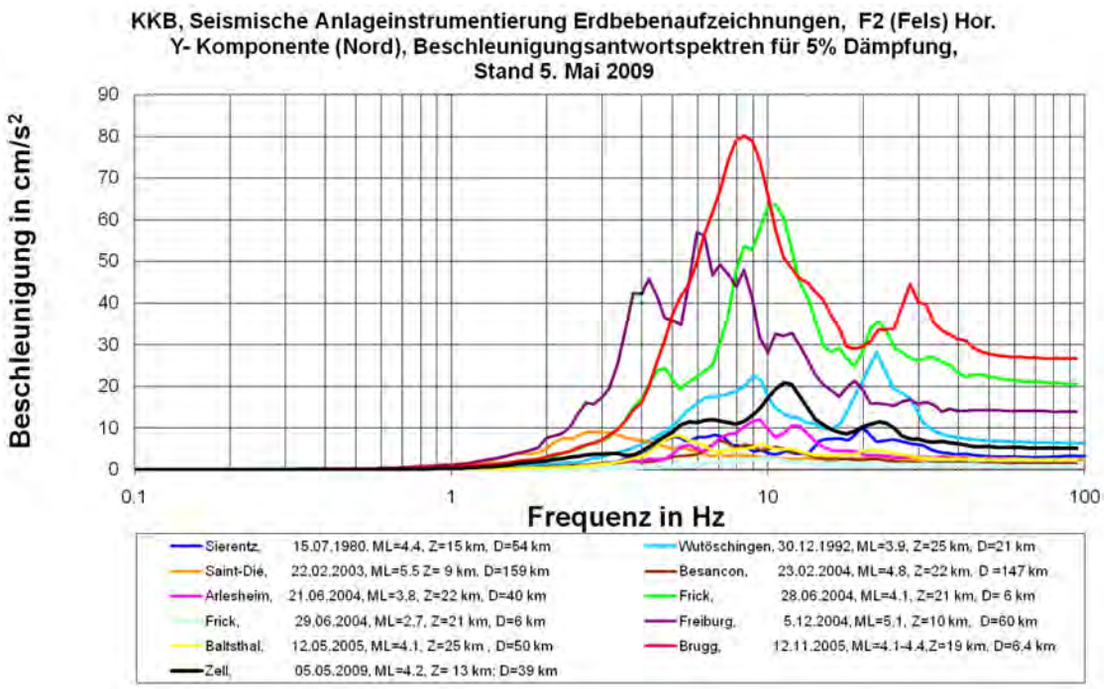
On a fait remarquer que les relations empiriques de Wells & Coppersmith [60] entre magnitude du séisme et dimensions de la rupture, sur lesquelles s'appuie en partie notre estimation (équation 2), ne sont peut-être plus aussi fiables pour des séismes superficiels de magnitude moyenne (M_w < 4.8) : il apparaît que ces séismes faibles, pour des dimensions de rupture données et en particulier pour de faibles chutes de contraintes, présentent des magnitudes de moment inférieures. Cela signifierait donc dans notre cas que nous avons surestimé la magnitude maximale possible.

3.7.4 Données sismologiques sur le site

Conformément à la directive de la DSN, chaque centrale nucléaire dispose d'une instrumentation sismique. Celle-ci se compose de plusieurs accéléromètres, installés en plein air[53] et dans les bâtiments principaux. Le but premier de cette instrumentation est d'enregistrer les mouvements du sol de fondation en cas de séisme et d'observer si le « séisme de maintien en exploitation » (OBE, Operating Basis Earthquake) est dépassé.

[53] L'emplacement de ces appareils est éloigné de la centrale elle-même, afin de pouvoir enregistrer les mouvements du sol sans l'influence des bâtiments.

Fig. 3.7-42 : Spectres de réponse en accélération des séismes enregistrés à Beznau (instrumentation sur rocher) depuis 1969. Composante horizontale, amortissement critique 5%



La KKB existante dispose d'une instrumentation sismique depuis sa mise en service. L'instrument de plein air est installé dans le forage SB8 à la surface des argiles à Opalinus (Fig. 3.7-4). En 2003, l'instrumentation a été remplacée et complétée par un accéléromètre supplémentaire à la surface du sol. Au cours des 39 dernières années, l'instrumentation de Beznau a enregistré 10 séismes, de distance épicentrale comprise entre 6 et 159 km et de magnitude locale entre 3.8 et 5.5. Les spectres de réponse en accélération sur rocher sont représentés dans la Fig. 3.7-42. Les accélérations maximales mesurées (pour la PGA) étaient inférieures à 0.03 g. Ceci représente environ 40% de l'OBE.

Dans le cadre du projet OPAL, deux accéléromètres ont été installés en plein air sur le site de l'EKKB : l'un sur la surface de la roche, à 22 m de profondeur, dans le forage SB8 (voir Fig. 3.7-4), un autre à la surface du sol à proximité immédiate du forage. Le but de cette instrumentation est d'observer la propagation des ondes sismiques de la roche jusqu'à la surface du sol et de calibrer les modèles analytiques simulant la propagation des ondes et les interactions entre les bâtiments et le sol de fondation.

3.7.5 Evénements extérieurs

Un séisme est un événement extérieur susceptible de provoquer un accident dans la centrale. En conséquence, les constructions et les équipements importants pour la sécurité sont tous conçus en fonction de l'événement séisme, afin que les incidents ou accidents qui en résulteraient puissent être maîtrisés (cf. art. 7 let. c OENu).

Autrement dit, les effets possibles d'un séisme ont été pris en compte, à savoir :

- secousses du sol
- tassements et déplacements du sol
- glissements de terrain
- destruction d'installations voisines, pouvant affecter la sécurité
- perte de systèmes auxiliaires ou d'alimentation non parasismiques

Ces effets peuvent conduire à leur tour à des événements consécutifs (voir Tableau 2.4-2), qui doivent être maîtrisés eux aussi. La liquéfaction du sol, les seiches, les affaissements et éboulements, l'érosion et les déplacements du lit de la rivière, n'entrent pas en considération pour le site. Les glissements de terrain peuvent causer des inondations ou entraver l'approvisionnement en eau de refroidissement externe. La destruction d'installations situées dans le voisinage, tels que des barrages au fil de l'eau, peut avoir les mêmes conséquences. Des dommages à des installations électriques non parasismiques telles que des lignes à haute tension ou des transformateurs peuvent interrompre l'alimentation électrique extérieure. Ces événements sont discutés dans d'autres chapitres du rapport de sûreté. Les événements consécutifs seront identifiés et pris en compte dans la conception de l'installation comme dans les analyses de sécurité et feront l'objet de justificatifs.

3.7.6 Evaluation de l'adéquation du site

L'évaluation de l'adéquation du site aux points de vue de la géologie, du sol de fondation et de l'aléa sismique s'appuie d'une part sur des hypothèses au sujet des faits naturels pertinents, d'autre part sur l'état des connaissances ayant servi de base à ces hypothèses. Pour le site de Beznau, cet état des connaissances est exceptionnellement élevé, grâce à une base de données constituée au cours des décennies, si bien que les diagnostics géologiques et géotechniques relatifs à son adéquation sont extrêmement bien fondés et fiables. Il en va de même pour l'évaluation de l'aléa sismique, basée sur l'une des analyses d'aléa les plus approfondies et les plus avancées techniquement qui aient été menées dans le monde sur un site donné (l'étude PEGASOS).

Beznau se situe immédiatement au nord des derniers chevauchements du Jura dans la zone tectoniquement calme du Jura tabulaire. Il n'existe dans le voisinage aucun signe de mouvements néotectoniques depuis le début du Quaternaire au moins. On ne connaît pas de failles locales qui passent immédiatement à travers le site, c'est-à-dire à travers l'île de Beznau. L'emplacement du chevauchement de Mandach a pu être confirmé par les études OPAL. Le potentiel de mouvements de surface (risques de mouvements) est donc négligeable. Le risque de glissements de terrain ayant des conséquences directes pour le site est également extrêmement faible étant donné la topographie des lieux et la nature de la roche. Les conséquences indirectes de glissements de terrain dans un voisinage plus étendu, comme par exemple une inondation ou

encore l'arrêt ou le ralentissement du refroidissement par la rivière, ont été pris en compte dans la conception de la future installation en tant qu'accidents extérieurs. On peut montrer que les conséquences de ces accidents sont maîtrisables et ne mettent donc pas en question l'adéquation du site.

Les propriétés du sol de fondation sont favorables. Aucun potentiel de liquéfaction du sol n'a été constaté et la force portante du sol est jugée bonne.

Selon les cartes d'aléa du Service sismologique suisse, Beznau se trouve dans une zone sismologiquement calme. Les accélérations du sol (roche) spécifiques du site établies par les experts de PEGASOS sont comparables à l'aléa que présentent d'autres zones d'activité sismique faible à moyenne, comme par exemple l'est et le centre des États-Unis.

Les failles locales cartographiables en surface n'ont pratiquement pas d'influence sur l'aléa sismique du site de Beznau. C'est en particulier aussi le cas du chevauchement de Mandach, situé au voisinage immédiat du site. Son potentiel de danger a été évalué par les experts de PEGASOS comme faible à négligeable, ce qui se traduit notamment par le fait que, malgré sa proximité, il n'a pas été retenu en tant que source de faille discrète dans les modèles de sources sismiques. Une étude détaillée du potentiel sismogène du chevauchement de Mandach confirme ce jugement des experts. Les contraintes susceptibles de s'accumuler en cet endroit, jointes à la forme et aux dimensions de la plus grande surface de rupture envisageable, ne suffisent pas pour produire un séisme à potentiel de dégâts ($M_w > 4.5$).

L'étude PEGASOS a calculé l'aléa sismique pour les installations existantes KKB 1 et 2. Les résultats sont aussi applicables au site de la future EKKB, éloigné de 300 m seulement et dont les propriétés du sol de fondation sont très semblables.

Les courbes d'aléa obtenues par PEGASOS pour Beznau (composante horizontale, roche) donnent, si l'on admet une valeur de référence de 10^{-4} pour la probabilité de dépassement annuelle, une « peak ground acceleration » de 0.16 g. Cette valeur est la médiane d'une marge d'incertitude qui peut être exprimée par exemple par la zone comprise entre les quantiles correspondant à 16% et à 84% (0.1 à 0.23 g). L'effet de site, c'est-à-dire l'amplification, en fonction des fréquences, du signal sismique par les couches géologiques proches de la surface, élève la médiane de l'accélération au rocher à 0.35 g, avec une marge d'incertitude, pour les mêmes quantiles, allant de 0.17 à 0.5 g. Ces résultats ne mettent pas non plus en question l'adéquation du site.

Pour la future installation, une spécification de l'aléa sismique sera établie et des bases de calcul pour la conception antisismique seront fixées. Le séisme d'arrêt de sécurité (SSE) et le séisme de maintien en exploitation (OBE) seront définis à l'aide des spectres de dimensionnement correspondants. Ceci sera fait en tant que préparation à la demande de l'autorisation de construire au sens de l'annexe 4 OENu. Ce faisant, l'accident d'origine extérieure « séisme » sera défini et les analyses d'accident provisoires correspondantes seront effectuées. Sur la base des résultats ci-dessus relatifs à l'aléa sismique, on n'attend pas de difficultés pour maîtriser ce type d'accident ni pour respecter les critères de sécurité.

L'ensemble de ces considérations conduit à une réponse positive quant à l'adéquation du site aux points de vue de la géologie, de l'aléa sismique et des propriétés du sol de fondation.

Les études suivantes et d'autres travaux sur site seront effectués dans le cadre de la préparation de la demande de l'autorisation de construire. Ils contribueront à améliorer encore la base de données correspondante et à réduire les incertitudes, ce qui pourrait conduire à une diminution de l'aléa sismique pronostiqué. Les conclusions générales quant à l'adéquation du site ne seront en revanche pas affectées et il n'est pas concevable que les résultats à venir viennent à les contredire.

3.7.7 Application à la conception de l'installation

3.7.7.1 Bases juridiques

Dans les installations nucléaires, il est impératif de prendre des mesures de protection contre les accidents ayant leur origine tant à l'intérieur qu'à l'extérieur (art. 8 al. 1 OENu). Ces mesures sont définies à l'art. 7 OENu. L'art. 8 al. 3 OENu range les conséquences des séismes dans la catégorie des « accidents d'origine extérieure ». Pour maîtriser les accidents, l'installation doit être conçue de manière qu'il n'y ait aucun rejet inadmissible de substances radioactives aux alentours ; des systèmes de sécurité passifs et actifs doivent être prévus à cet effet (art. 7 let. c KEV).

Pour la conception de l'installation, il faut d'abord ranger les accidents possibles en fonction de leur fréquence selon l'art. 94 de l'ordonnance du 22 juin 1994 sur la radioprotection (ORaP). Il faut ensuite démontrer que les doses ne dépasseront pas les valeurs fixées par les al. 2-5 du même article.

Lors d'une demande de l'autorisation de construire (art. 24 OENu), le requérant doit démontrer que ces exigences et les autres principes énoncés aux art. 7-12 OENu (« Principes de la sécurité nucléaire et de la sûreté ») peuvent être respectés. Il doit fournir à cet effet les documents relatifs à la demande de l'autorisation de construire au sens de l'annexe 4 de l'OENu, y compris les analyses de sécurité provisoires.

Aux termes de l'annexe 4 de l'OENu, les documents suivants doivent être présentés au sujet de la conception sismique de l'installation :

- Spécification du risque (Installation complète G1)
- Définition des accidents et des valeurs limites de sécurité (ingénierie réacteurs R1)
- Analyse provisoire des états de fonctionnement et des accidents déterminant la conception et de leur effet sur l'installation et les environs (Technique des réacteurs R2)
- Conversion des spécifications du risque en paramètres de calcul (ingénierie BTP B1)
- Propriétés du terrain (ingénierie BTP B1)
- Classification des systèmes (ingénierie systèmes S1)
- Classification des ouvrages (ingénierie BTP B1)

Les équipements mécaniques et électriques sont répartis selon leur importance pour la sécurité entre les classes sismiques EK I (équipements des classes de sécurité 1-3) et EK II (équipements mécaniques de la classe de sécurité 4). Les fonctions de sécurité et l'intégrité des équipements EK I doivent être garanties pendant et après un séisme d'arrêt de sécurité (Safe Shutdown Earthquake, SSE)[54]. L'intégrité des équipements mécaniques de la classe sismique EK II doit être garantie pendant un séisme de maintien en exploitation (Operating Basis Earthquake, OBE)[55].

Les ouvrages sont répartis selon leur importance pour la sécurité nucléaire et la radioprotection en deux classes d'ouvrages nucléaires (BK) (ingénierie BTP B1) :

a BK I : ouvrages comportant des équipements mécaniques ou électriques de classe sismique EK I

b BK II : ouvrages comportant des équipements mécaniques de classe sismique EK II ou hors classification séismes.

Les spécifications et critères de conception pour les ouvrages seront présentés avec la demande de l'autorisation de construire. Il en va de même pour l'ingénierie systèmes, l'ingénierie mécanique et l'ingénierie électrotechnique.

Les analyses d'accidents et les justificatifs tension et force portante servent à démontrer que les objectifs de protection nucléaire sont respectés lors des effets suivants des séismes :

- secousses du sol
- tassements et déplacements du sol
- glissements de terrain
- destruction d'installations voisines, pouvant affecter la sécurité de l'installation
- perte de systèmes auxiliaires ou d'alimentation non parasismiques.

Les hypothèses spécifiques de risque et les critères d'évaluation seront fixés par une ordonnance. Les analyses de sécurité définitives correspondantes seront remises avec la demande de l'autorisation de construire.

En complément des lois nationales, il existe des règles et des prescriptions internationales sur la conception sismique des centrales nucléaires. Depuis la construction des premières centrales nucléaires, l'état des sciences et des techniques a progressé, grâce aux recherches effectuées en génie parasismique, en dynamique des bâtiments et en technique des matériaux. La conception de la centrale et les justificatifs correspondants se conformeront à ces critères en tenant compte de l'état des sciences et des techniques.

Dans la demande de l'autorisation de construire relative à une centrale nucléaire nouvelle, le requérant doit démontrer que la fréquence annuelle moyenne des dommages au cœur pour des accidents visés à l'art. 8 OENu (y compris les séismes) ne dépasse par 10^{-5}par an. À cet effet, il doit être présenté une analyse probabiliste de sécurité (PSA).

---

[54] Correspond à un séisme ayant une périodicité de 10 000 ans, par exemple. Aucun rejet inadmissible de substances radioactives ne doit se produire aux alentours.

[55] Correspond à un séisme ayant une périodicité de 200 à 400 ans. Pour son intensité, on admet, dans la pratique suivie jusqu'ici, 50% d'un séisme d'arrêt de sécurité.

3.7.7.2 Procédure prévue

Comme nous l'avons vu au chapitre 3.7.3, il existe déjà une analyse de l'aléa sismique pour le site même de Beznau, comprenant une évaluation des systèmes de failles locaux. L'adéquation du site, du point de vue sismique, a été démontrée. Il a été établi également que les propriétés du sol de fondation conviennent pour la construction d'une centrale nucléaire.

Les conditions de l'autorisation générale sont donc remplies.

Pour la conception de l'installation, dans le cadre de la demande de l'autorisation de construire, l'aléa sismique sera décrit et catégorisé (ingénierie réacteurs R1). Sur cette base, les spécifications du risque seront préparées (installation complète G1) et converties en paramètres de calcul (ingénierie BTP B1). Les propriétés du sol de fondation seront déterminées (ingénierie BTP B1) et les équipements et structures classifiés (ingénierie systèmes S1 ; ingénierie BTP B1). Les analyses d'accident provisoires seront effectuées (ingénierie réacteurs R2).

Les spécifications et les critères de conception et de dimensionnement, les hypothèses de charges, le modèle des ouvrages porteurs, le concept de fixation et les spectres de comportement par étage seront définis pour la demande de la première autorisation de construire (Annexe 4 B2 OENu). Pour les équipements mécaniques et électriques, les spécifications de conception et les prescriptions relatives aux qualifications seront préparées et fournies (M2 ; E2). Les justificatifs tension et force portante relatifs aux ouvrages seront présentés pour la demande de l'autorisation de construire, et ceux relatifs aux équipements pour la demande de permis de mise en exploitation.

3.7.7.3 Méthodes justificatives

Des méthodes justificatives appropriées ont été utilisées pour les différents ouvrages et équipements. Les méthodes disponibles recourent au calcul, à l'expérimentation ou combinent les deux procédés.

Les observations faites lors de séismes dans d'autres installations nucléaires, notamment celle de Kashiwazaki-Kariwa au Japon, ont également été considérées.

Sur le site de Kashiwazaki-Kariwa, le séisme de Niigata en 2007 a provoqué des mouvements du sol de grande amplitude (Ground Motion), dépassant souvent considérablement les accélérations de référence (PGA de 0.3 à 0.68 g au lieu des valeurs de référence de o,2 à 0.3 g). Ces accélérations se situaient dans les fréquences basses et présentaient une grande variation à l'intérieur du site, ce qui s'explique par la qualité variable des roches meubles et par des effets locaux de propagation 3D et d'interférences (« effets de site »). Dans l'état actuel des connaissances, on ne doit guère s'attendre à ce que l'exemple de Kashiwazaki apporte quelque chose pour l'évaluation de l'aléa sismique du site de Beznau, car la tectonique et la géologie locale sont fondamentalement différentes.

Malgré les amplitudes élevées des accélérations, les structures liées à la sécurité n'ont pas subi de dommages notables dans le cas de la centrale de Kashiwazaki-Kariwa ; des dégâts, en partie importants, ont affecté seulement des systèmes et composants sans incidence sur la sécurité, principalement par suite de ruptures du sol et de tassements différentiels. Le fait que les éléments de l'installation critiques pour la sécurité ont résisté à des accélérations dépassant largement les valeurs de référence tient entre autres à ce que les accélérations maximales se situaient hors de la partie supérieure du spectre des fréquences. Il est probable que des sédiments argileux peu consolidés situés sous les fondations ont fortement amorti la partie hautes fréquences des mouvements du sol, déplaçant le maximum en direction des basses fréquences.

Les routes d'accès ont également été affectées par les ruptures du sol et les tassements différentiels. Ceci n'est pas sans incidence sur la sécurité, si l'accès devient nécessaire après un séisme pour combattre un incendie ou d'autres dommages consécutifs. Il en sera tenu compte dans la conception de l'EKKB.

3.7.7.4 Caractéristiques du site

En préparation de la demande de l'autorisation de construire, d'autres recherches de terrain seront effectuées sur le site de l'EKKB (voir chapitre 3.7.1.2.2), afin d'établir les propriétés du sol avec la fiabilité nécessaire pour la conception de détail des ouvrages et d'obtenir les paramètres d'entrée pour le calcul de l'effet de site.

Les charges sismiques sur les ouvrages et les équipements seront caractérisées en premier lieu sous la forme de spectres de réponse en accélération et d'accélérogrammes. Elles serviront de données sismiques d'entrée pour les justificatifs susmentionnés.

3.8 Caractéristiques du réseau électrique et raccordement

3.8.1 Le nœud de réseaux de Beznau

3.8.1.1 Description générale

Le réseau suisse à très haute tension se caractérise par son interconnexion avec les réseaux des pays voisins. C'est en particulier le cas pour sa frontière nord avec l'Allemagne. Les raccordements physiques sont très nombreux dans cette région. Les centrales inférieures de Laufenburg, de Beznau et de Breite assument à cet égard un rôle majeur. Celle de Beznau occupe géographiquement une position centrale, à mi-distance entre les deux autres. Son poste de commutation extérieur de 380 kV possède quatre postes de travées de lignes, reliées aux stations de Leibstadt, Tiengen (D), Laufenburg et Breite. Le potentiel d'augmentation de capacité du nœud de réseaux de 380 kV de Beznau n'est pas encore épuisé. Des connexions supplémentaires sont possibles.

Au niveau de tension 22 kV, le poste de commutation extérieur de Beznau comprend un total de treize postes. Quatre servent à évacuer dans le réseau l'énergie électrique produite par la centrale, six sont des postes de travées de lignes ; deux des postes de transformateurs assurent l'alimentation du réseau de distribution suprarégional et un le poste permettant le couplage des barres de commande. Par ses connexions aux stations de Birr, Breite (2x), Laufenburg, Regensdorf et Tiengen (D), Beznau est très bien relié au réseau de 220 kV. Les niveaux 380 kV et 220 kV sont découplés sur le site de Beznau. Les plus proches transformateurs 380/220 kV se trouvent à Laufenburg, Tiengen (D) et Breite.

La NOK exploite en collaboration avec les compagnies cantonales du nord-ouest de la Suisse (AEW, EKZ, SAK, EKS et EKT) un réseau de distribution suprarégional approvisionnant en énergie électrique quelque deux millions d'habitants. Ce réseau est exploité en parallèle et présente un maillage dense. Le poste de commutation de 50 kV de Beznau fait partie de ce grand réseau très ramifié et possède quinze postes au total, dont six postes de travées de lignes. Les autres postes sont liés à l'exploitation du parc régional de centrales, en particulier de l'énergie hydraulique. Par ailleurs, ce poste permet d'assurer l'alimentation électrique de la région.

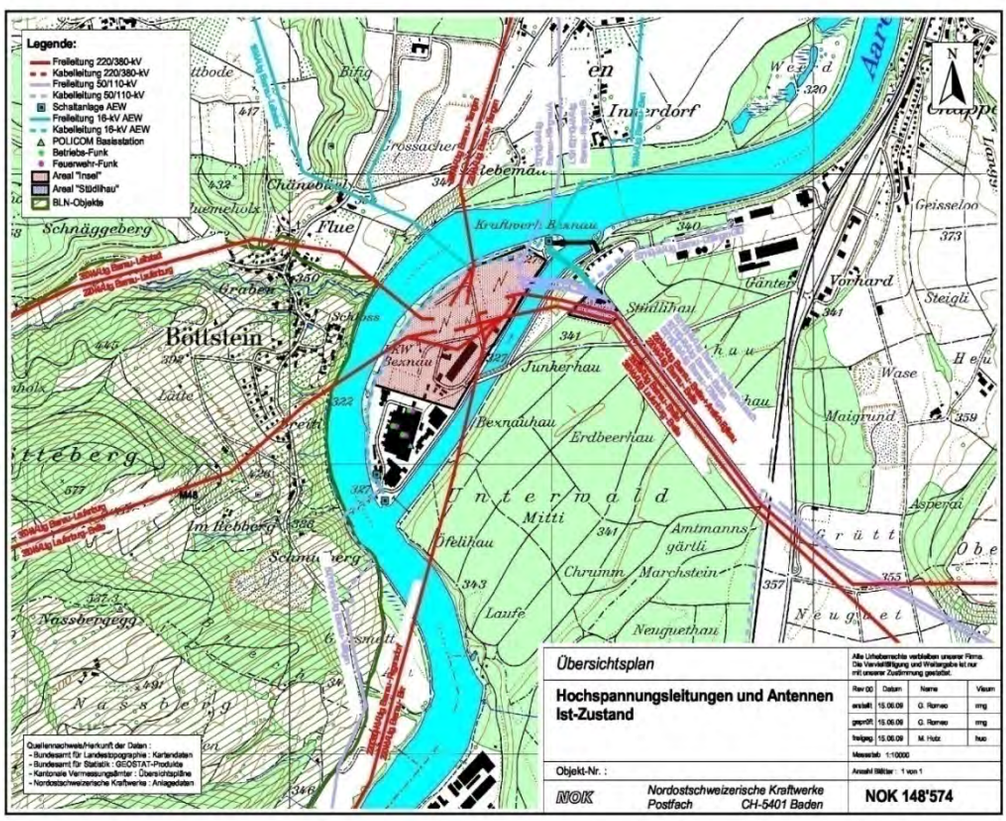
Depuis le début des années 1980, on procède à la conversion, par étapes, du réseau de 50 kV à 110 kV. L'augmentation de la tension permettra de doubler la capacité de transport, d'améliorer la résistance aux courts-circuits, de réduire les pertes de réseau et de développer les capacités de transformation. Dans la vallée inférieure de l'Aar, et donc à Beznau, la transformation du réseau est prévue pour 2011-2020.

La compagnie d'électricité argovienne (AEW Energie AG) assure elle aussi l'approvisionnement régional en exploitant un poste de commutation de 16 kV.

Comme on le voit, le site de Beznau est richement doté en réseaux de niveaux de tension les plus divers [380 kV, 220 kV, 50/110 kV et 16 kV]. Pour faire face aux incidents de réseau, des niveaux de redondance horizontale et parfois verticale ont été prévus. Les centrales hydrauliques sur l'Aar et le Rhin alimentent aussi le réseau et apportent une contribution supplémentaire à la sécurité de l'approvisionnement.

La figure Fig. 3.8-1 montre le réseau actuel des lignes à haute tension dans la région de Beznau.

Fig. 3.8-1 : Lignes à haute tension dans la région de Beznau, état actuel



3.8.1.2 Capacités de raccordement

Le réseau 380 kV sert en premier lieu à assurer le transport à très longue distance (interconnexion internationale) et à raccorder au réseau les centrales de grande puissance. Comme nous l'avons vu, le nœud de réseaux de Beznau est fortement intégré aussi bien au réseau de 380 kV qu'à celui de 220 kV. Les quatre lignes à 380 kV qui y sont raccordées représentent ensemble une capacité de transport installée d'environ 5 800 MWe. La puissance électrique nette de l'EKKB se montera à 1 450 MWe avec une variation d'environ plus ou moins 20%. La sortie redondante d'une puissance à la limite supérieure de cette tolérance est donc garantie de plus de (n-1) par la configuration du réseau existant. De plus, comme nous l'avons mentionné, la capacité du nœud de réseaux à 380 kV de Beznau peut encore être augmentée.

L'alimentation électrique de la centrale nucléaire de Leibstadt (KKL) ne pose pas de problème. La structure du système de réseaux électriques permet cette concentration d'installations de production d'électricité pour les classes de puissance entrant principalement en considération. La configuration est comparable dans ses grandes lignes avec les installations à plusieurs unités existant à l'étranger. Une panne simultanée des deux unités (KKL et EKKB) serait compensée par le réseau européen UCPTE qui dispose d'une puissance électrique installée de plus de 350 GWe.

Il est prévu et planifié de renforcer et d'étendre sensiblement le réseau suisse de 380 kV. Cela se fera principalement aux dépens du réseau 220 kV, qui servira à l'avenir presque uniquement à l'alimentation à grande échelle des réseaux de distribution suprarégionaux. Le groupe de travail Lignes de transport d'électricité et sécurité d'approvisionnement (Confédération, compagnies suprarégionales et groupements d'intérêts) a défini les projets d'extension correspondants pour le réseau haute tension suisse et les a consignés dans un document intitulé « Ausbauzustand 2015 » (Etat de l'extension en 2015). L'évolution va clairement en direction du réseau à 380 kV, selon la même tendance que l'on observe au niveau international et notamment dans l'Union Européenne. Le raccordement de grandes installations de production à ce niveau de réseau est donc orienté vers l'avenir.

La puissance d'alimentation électrique par la centrale nucléaire de Beznau existante (KKB 1 et 2) dans le réseau 220 kV se monte à 730 MW environ. Le transport est assuré par six lignes. La puissance nette de production reste dans la Suisse du Nord-Ouest et sert en grande partie à l'approvisionnement des clients locaux. La station inférieure de Beznau assure déjà une évacuation de l'énergie produite dans le réseau suprarégional 50/110 kV.

Les niveaux 380 kV et 220 kV, nous l'avons dit, sont découplés sur le site de Beznau. La capacité des systèmes est assurée horizontalement. L'alimentation du réseau 380 kV par une puissance de production nette élevée se fait sans relation immédiate avec les autres niveaux de réseau.

Le réseau 50/110 kV de la NOK est le plus grand réseau de distribution de ce type en Suisse. Sa capacité est importante et son haut degré d'interconnexion lui confère les redondances nécessaires. Les raccordements actuels pour les besoins propres de la centrale nucléaire existante (KKB 1 et 2) et ses systèmes de secours sont réalisés sur le poste de commutation 50 kV. Cette solution donne entière satisfaction depuis plus de 25 ans.

Comme nous l'avons dit, le réseau 50 kV est en train d'être converti par étapes à 110 kV. Les systèmes raccordés doivent donc être modifiés en conséquence. Dans cette opération, le maintien de la sécurité de l'approvisionnement est prioritaire. On peut admettre qu'au moment de la mise en service de l'EKKB, le niveau de tension 50 kV aura été entièrement remplacé à Beznau par la tension de service de 110 kV. Dans tous les cas, le réseau 110 kV aura été considérablement étendu et les exigences en matière de redondance et de capacité seront remplies. Une augmentation de l'ordre de 50 à 80 MVA pour les besoins propres de la nouvelle centrale et son alimentation de secours ne touchera en aucune façon les limites du système.

3.8.2 Disponibilité du réseau

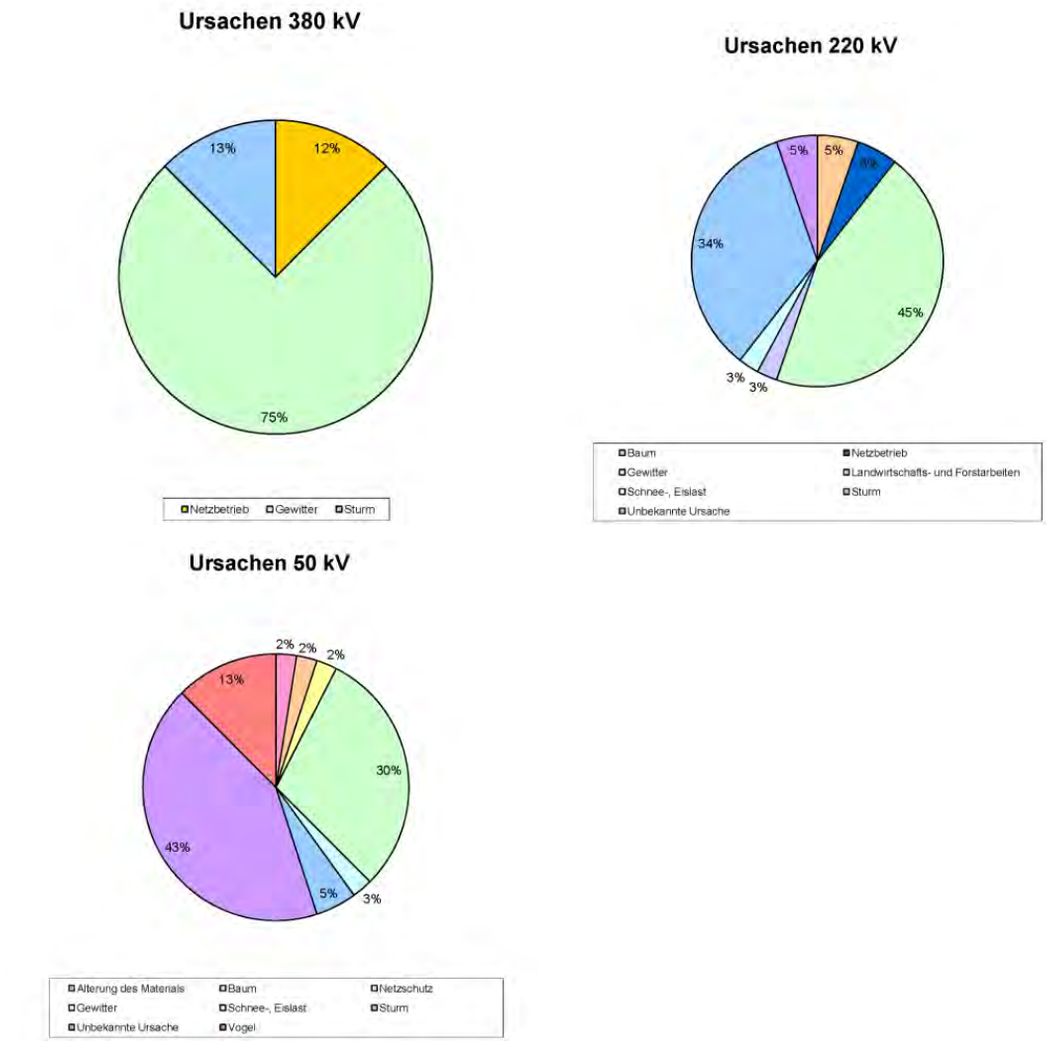
Le Tableau 3.8-1 et la Fig. 3.8-2 détaillent la « statistique d'indisponibilité » du réseau pour le site de Beznau entre le 1er janvier 1998 et le 10 janvier 2008. Durant cette période de dix ans, il n'y a jamais eu de panne de transformateur, si bien que ce tableau peut également servir de statistique d'indisponibilité des lignes au départ de Beznau.

Tableau 3.8-1 : Statistique d'indisponibilité

Niveau de tension	Nombre de coupures	RA* réussis	Coupures restantes	Durée (médiane) **
380 kV	16	15	1	2 min
220 kV	38	26	12	7 min
50 kV	40	26	14	11 min

* RA : remise en service automatique (AWE)
** Médiane : exactement la moitié des cas ont duré moins longtemps / plus longtemps que la valeur indiquée

Fig. 3.8-2 : Analyse de la statistique d'indisponibilité pour le site de Beznau entre le 01.01.1998 et le 10.01.2008



Source : NOK-Netze

Cette statistique montre que le niveau de réseau 380 kV dans la zone de Beznau est sûr. En dix ans, il n'y a eu que seize coupures de ligne. Dans un seul de ces cas, le réenclenchement automatique n'a pas réussi ; le travail efficace du poste de commande du réseau a alors permis la reconnexion après deux minutes seulement. 87% des coupures ont été provoquées par des intempéries ou une tempête.

Les niveaux de tension 220 kV et 50 kV présentent durant la même période 38 et respectivement 40 coupures. Le réenclenchement automatique a réussi dans les deux tiers des cas. Dans le tiers restant, la durée de la coupure a été de l'ordre de 7 ou 11 minutes (valeurs médianes/moyennes). Comme le montrent les diagrammes ci-dessus, les causes des coupures ont été multiples, plus que dans le cas du réseau 380 kV. On sait que la fréquence des coupures est fortement liée à la distance d'isolement (coordination de l'isolement).

3.8.3 Evénements externes

Les incidents de réseau peuvent causer une diminution ou une interruption de l'alimentation électrique externe.

Dans le cas de la foudre par exemple, qui pourrait provoquer une panne à un des niveaux de tension, la consommation propre doit rester assurée grâce à une seconde alimentation, redondante, à un autre niveau de tension.

En outre, pour le cas d'événements qui pourraient affecter simultanément toutes les redondances de l'alimentation électrique externe (tel un séisme grave), l'installation dispose d'une alimentation électrique de secours. Celle-ci desservirait alors les consommateurs d'électricité qui sont les plus importants pour le maintien de l'installation dans un état sûr.

Une possible intégration de la centrale hydroélectrique de Beznau (HKB) au système de gestion d'accident, en tant que source d'alimentation électrique de secours de longue durée au titre de la diversité des redondances, est en principe prise en compte dans la conception de l'installation. Les avantages possibles de cette intégration et sa faisabilité seront examinés dans le concept de raccordement de l'installation au réseau, qui sera remis avec les demandes de l'autorisation de construire et d'autorisation d'exploitation.

L'art. 8 al. 1 OENu impose de prendre des mesures contre les accidents. Cela s'applique à la conception de l'alimentation électrique externe aussi bien qu'à la mise sur pied d'une alimentation de secours. À cet effet, l'installation sera conçue de manière à ce que tous les critères de sécurité puissent être respectés. Le site de Beznau présente les conditions requises. Les justificatifs correspondants seront fournis avec la demande de l'autorisation de construire, comme le requiert l'annexe 4 de l'OENu.

3.8.4 Evaluation du site du point de vue du raccordement au réseau

Le site de Beznau convient bien pour le raccordement d'une centrale nucléaire de dernière génération au réseau 380 kV. Étant donné la structure présente du réseau et de ses postes de commutation à niveaux d'alimentation 380 kV et 220 kV séparés, la possibilité d'une exploitation en parallèle de l'EKKB et des deux unités existantes KKB 1 et 2 est assurée[56]. Compte tenu des interconnexions, on part du principe qu'une forte production électrique des centrales suisses ou des flux transfrontaliers élevés, voire une combinaison des deux, ne conduiront pas à des pénuries dans le pays ou sur les lignes transfrontalières.

Pour le raccordement et l'approvisionnement des systèmes d'alimentation propre et de secours, les capacités du réseau de distribution suprarégional sont suffisantes. Etant donné la topologie du réseau, les redondances sont nombreuses. Au besoin, des exigences supplémentaires pourront être satisfaites au moyen de mesures ciblées.

La disponibilité du système sur le nœud de réseaux de Beznau est très élevée, comme le montre la statistique présentée au chapitre 3.8.2. Les systèmes des niveaux de tension 380 kV, 220 kV et 50 kV ne se sont trouvés à aucun moment à la limite de leurs capacités ni proches d'un état instable. La disponibilité du niveau de tension 380 kV est particulièrement élevée. Mais même les niveaux 220 kV et 50 kV n'ont subi que quelques coupures de lignes, dont la majorité ont été réglées par le réenclenchement automatique. Il n'y a eu en aucun cas interruption de la livraison d'énergie électrique. Aucune répercussion due aux réseaux n'a été enregistrée sur l'exploitation des centrales nucléaires Beznau 1 et 2 ni des centrales hydroélectriques de la région.

Le raccordement de la KKB 1 et 2 à la nouvelle station inférieure du Stüdlihau sera traité dans un projet séparé. Le transfert d'énergie continuera à s'effectuer au niveau de tension 220 kV. Le déplacement des lignes de la KKB 1 et 2 pour le raccordement à la nouvelle station inférieure n'aura pas d'influence sur le raccordement de l'EKKB au réseau.

---

[56] La NOK entend mettre l'actuelle KKB hors service le plus rapidement possible après la mise en service de la centrale de remplacemen EKKBt. Cependant une exploitation en parallèle des deux installations pourrait s'avérer nécessaire pour garantir sans interruption la sécurité d'approvisionnement de la NOK et des partenaires associés à l'EKKB durant les premiers temps d'exploitation de celle-ci.

3.8.5 Application à la conception de l'installation

Lorsque le poste de commutation extérieur sera déplacé au Stüdlihau en tant que poste de commutation isolé au gaz (GIS), il est déjà prévu qu'en plus des capacités de raccordement actuelles il comprendra aussi celles nécessaires pour l'EKKB, et que l'évacuation d'énergie se fera au niveau 380 kV.

En exploitation normale, les besoins propres de l'installation seront couverts directement par le courant produit à l'intérieur de celle-ci au moyen du groupe turbo-alternateur. Deux points d'alimentation redondants sont prévus à cet effet. Lors du démarrage et de l'arrêt du groupe turbo-alternateur et lorsqu'il est arrêté ou indisponible, les besoins propres seront couverts au moyen du réseau principal, probablement au niveau 380 kV. En plus de l'alimentation normale pour les besoins propres à l'aide du groupe turbo-alternateur ou par ouverture du disjoncteur depuis le réseau principal, deux autres points d'alimentation externe seront disponibles aux niveaux 220 kV et/ou 110 kV.

Les détails de la conception de l'alimentation externe et de la connexion au réseau à courant fort figureront dans les rapports de sécurité qui seront joints aux demandes de l'autorisation de construire et d'autorisation d'exploitation conformément à l'annexe 4 de l'ordonnance sur l'énergie nucléaire.

Les exigences relatives à l'alimentation interne sont fixées dans l'art. 10 OENu et dans la directive DSN-R-101 (ou la nouvelle directive G02). En plus des normes légales nationales, il sera également tenu compte de directives internationales, par exemple européennes. Les concepts des systèmes de sécurité correspondants et leurs spécifications provisoires seront fournis lors de la demande de l'autorisation de construire. Les spécifications définitives des systèmes de sécurité accompagneront la demande de la première autorisation de construire.

3.9 Actes illicites (UEW)

Cette question sera traitée dans le rapport de sûreté.

3.10 Autres événements

Le présent chapitre traite de tous les événements extérieurs énumérés dans le tableau Tableau 2.4-1 qui n'ont pas été traités dans le chapitre 3.2-3.9. Ce sont principalement des événements classés dans le Groupe 4 du tableau Tableau 2.4-1. Il s'agit d'événements qui n'entrent pas en considération sur le site pour des raisons géographiques, ou qui ne peuvent pas produire d'accidents étant donné la conception de l'installation.

Les événements tsunami / cyclone / cyclone tropical, éruption volcanique, tempête de sable, activité glaciaire, avalanche, déferlantes, sont exclus sur le site de Beznau de par sa situation géographique.

Le brouillard peut accroître la fréquence d'événements causés par des moyens de transport terrestres, aériens ou par voies navigables. Cet effet est pris en compte dans les statistiques d'accidents correspondantes. Les accidents de moyens de transport terrestres ou par voies navigables sont décrits au chapitre 3.3 et ne présentent pas de danger pour l'installation. Les chutes d'avions sont également traitées au chapitre 3.3. Les données statistiques n'établissent pas de distinction entre les causes des chutes, mais comprennent déjà l'effet du brouillard.

Les dangers du froid sont essentiellement ceux de la neige et du givrage (eau gelée, givre). Ces événements ont été traités au chapitre 3.4. Des influences directes du givre ne sont pas à attendre.

Des vagues dues à de forts vents ne sont pas un danger pour le site. Un glissement de terrain en amont du site pourrait provoquer une vague d'ampleur inhabituelle mais ce ne serait pas suffisant pour inonder l'île. Les scénarios pouvant conduire à une inondation de l'île ont été identifiés dans le cadre de l'analyse du risque d'inondation et sont décrits au chapitre 3.5.

Les dangers d'incendies extérieurs, y compris d'un incendie de forêt, sont prévenus par la conception de l'installation pour la protection contre la chute d'avions.

Des interférences électromagnétiques de sources extérieures à l'installation peuvent avoir un effet sur des équipements électriques non protégés. Pour cette raison, les équipements électriques dont un dysfonctionnement pourrait avoir une incidence sur la sécurité sont protégés contre les interférences électromagnétiques d'origine extérieure ou conçues de manière à y résister.

L'événement attentat terroriste relève de la protection contre les actes illicites (UEW), qui, comme nous l'avons dit en 3.9 sera traité dans le rapport de sûreté.

Les effets d'une chute de météorite augmentent avec la taille de celle-ci, mais simultanément la probabilité de l'événement diminue. Dans le cadre de la surveillance des objets « proches de la Terre » (Near Earth Objects – NEO), le *Spaceguard Survey Report* de la NASA donne la fréquence attendue des chutes de météorites en fonction de leur taille [61]. Ces données indiquent que seules des météorites d'un diamètre supérieur à environ 10 m atteignent la surface de la terre. La probabilité d'un tel événement est d'environ deux fois en dix ans. L'impact d'une météorite de 10 m n'a cependant que des effets locaux. La météorite de la Toungouska en Sibérie en 1908 avait un diamètre d'environ 60 m et a détruit une surface de forêt d'environ 2 000 km^2, soit une zone de 25 km de rayon. La probabilité d'une telle météorite, selon l'étude citée, est d'environ 2E-03 par an.

Si l'on admet prudemment que la chute d'une météorite dangereuse en un endroit quelconque de la Terre se produit avec une fréquence de 0.1 par an et conduit à un danger notable dans un rayon de 10 km autour du point d'impact, on obtient, dans l'hypothèse d'une distribution uniforme sur la surface de la Terre (510 millions de km^2), une fréquence de mise en danger du site de Beznau d'environ 6E-08 par an.

Cette valeur très petite obtenue malgré l'hypothèse pessimiste sur la fréquence permet de négliger ce risque dans la suite de la réflexion.

La chute d'un satellite appelle le même genre de remarques que celle d'une météorite. Cependant la taille des satellites est limitée. La zone de dégâts dans le cas d'une chute de satellite serait donc inférieure de plusieurs ordres de grandeur à celle qui entre en considération dans le cas d'une météorite.

Comme d'autres objets proches de la terre, les satellites font l'objet d'une surveillance. Une chute imminente serait donc prévisible et l'on pourrait, en fonction de l'importance du risque, prendre les mesures préventives appropriées.

En conséquence, la question de la chute d'un satellite ne sera pas étudiée plus avant.

En conclusion, les événements traités dans le chapitre 3.10 ne représentent pas un danger pour le site de Beznau.

3.11 Résumé

Globalement, le site de Beznau présente des conditions favorables pour la construction et l'exploitation de l'EKKB :

- La répartition de la population et son évolution, aux alentours du site, ne présentent pas de caractéristiques défavorables à l'implantation de centrales nucléaires. Ceci est également valable eu égard à la faisabilité des mesures de protection d'urgence requises par les ordonnances en vigueur (ordonnance sur la protection d'urgence [65] et ordonnance relative à l'organisation d'intervention en cas d'augmentation de la radioactivité OROIR [64]).
- Aucune installation industrielle représentant un danger pour l'EKKB ne se trouve à proximité du site. Il en va de même pour l'utilisation des routes et des voies ferrées. Une conduite de gaz naturel à haute pression (28 pouces, 70 bars) se trouve au minimum à une distance de 1.4 km du site. Même dans le cas improbable d'une rupture, elle ne représente donc pas de danger pour l'EKKB. Il ne faut pas non plus s'attendre à une modification fondamentale du risque lié aux installations industrielles et aux voies de communication terrestres. Etant donné la proximité, la conception de l'EKKB doit en revanche tenir compte des risques éventuellement liés à l'exploitation des centrales nucléaires KKB 1 et 2.
- Le site se trouve à 24 km de l'aéroport de Zurich-Kloten et à 56 km de celui de Bâle-Mulhouse. La probabilité calculée d'une chute d'avion durant la période 2007-2030 est faible et ne remet pas en question le choix du site, ni aujourd'hui ni demain. La conception de l'installation tient compte des conséquences de tels événements.
- Les conditions météorologiques du site sont bien documentées et évaluées. Il s'agit d'un climat typique de l'Europe centrale, à faible altitude, convenant en principe à la construction et à l'exploitation d'une centrale nucléaire. Le site se trouvant dans une dépression du Plateau, il existe un certain risque de givrage des composants qui doivent être refroidis par de l'air extérieur. Ce risque doit être pris en compte dans la conception, mais il ne remet pas en cause l'adéquation du site.
- La fréquence et l'intensité de phénomènes induits par le climat tels que la foudre, les rafales et les tornades ainsi que la fréquence des conditions météorologiques extrêmes ont été analysées. L'installation est conçue de manière à faire face à leurs conséquences.
- Le site dispose d'eau de rivière en quantité suffisante pour le refroidissement nécessaire à la sécurité et pour les utilisations non liées à la sécurité. Les écarts de températures de l'eau fluviale correspondent aux conditions habituelles rencontrées en Europe centrale et ont été pris en compte dans la conception des systèmes de refroidissement. En hiver et en été, le niveau de l'eau peut être bas. Ce phénomène a été pris en compte dans le choix du circuit primaire du réacteur et sera également considéré lors de la conception de l'installation.
- L'île étant située dans la vallée inférieure de l'Aar et à une cote peu élevée par rapport au niveau de la rivière, il est possible qu'elle se trouve partiellement inondée par hautes eaux. Le fait doit être pris en compte dans la conception de l'installation et dans les mesures de protection contre les inondations. Ces mesures sont possibles et le choix du site n'est pas remis en question, même si l'on considère une crue dont le temps de retour serait de 10 000 ans. Une éventuelle inondation consécutive à des ruptures de barrages a également été analysée, mais ne serait pas aussi grave que les crues naturelles.

- L'hydrologie souterraine aux environs du site est très bien connue et documentée de manière détaillée. La productivité de la nappe phréatique est suffisante pour répondre à tous les besoins actuellement prévus ou envisagés en vue du refroidissement et des autres utilisations. Les températures des eaux souterraines et leur évolution sont connues et documentées. Elles se situent dans le cadre des valeurs limites usuelles pour la conception des systèmes de refroidissement. L'hydrologie souterraine du site convient donc à la construction et à l'exploitation d'une centrale nucléaire.
- Pour le site de Beznau, l'état des connaissances sur la géologie locale et le sol de fondation est exceptionnellement élevé, grâce à une base de données constituée sur des décennies. Il en va de même des connaissances sur l'aléa sismique, qui s'appuient sur une analyse approfondie et utilisant les dernières techniques de l'aléa sismique du site proprement dit. On ne connaît pas de failles tectoniques locales qui passent à travers l'île de Beznau. Le potentiel de décrochements locaux peut donc être négligé. Les propriétés du sol de fondation sont favorables. Aucun potentiel de liquéfaction du sol n'a été constaté et sa force portante est jugée bonne. Selon les cartes d'aléa du Service sismologique suisse, Beznau se trouve dans une zone sismologiquement calme pour la Suisse. Les accélérations du sol calculées pour le site sont comparables à l'aléa que présentent d'autres zones d'activité sismique faible à moyenne, comme par exemple l'est et le centre des États-Unis. Les failles locales cartographiables en surface n'ont pratiquement pas d'influence sur l'aléa sismique. Aux points de vue de la géologie, des propriétés du sol et de l'aléa sismique, le site est donc approprié à la construction et à l'exploitation de l'EKKB.
- Le site de Beznau occupe une position centrale dans le réseau suisse à haute tension. Le poste de commutation extérieur à 380 kV possède quatre travées de lignes, reliées aux postes de Leibstadt, Tiengen (D), Laufenburg et Breite. Des installations de réseau existent aussi aux niveaux 220 kV, 50 kV et 10 kV. Le réseau 50 kV va être converti à 110 kV. Les capacités de raccordement sont élevées et la sortie redondante d'une puissance de 1450 MWe avec une marge de variation d'environ ±20% est donc garantie par la configuration du réseau existant. L'analyse des statistiques du réseau a aussi montré que le niveau 380 kV dans la région de Beznau est particulièrement sûr. Aux niveaux 220 kV et 50 kV, le nombre des coupures a été un peu plus élevé, mais la majorité ont été réglées par le réenclenchement automatique. Pour toutes ces raisons, le raccordement du site de Beznau au réseau convient extrêmement bien à l'exploitation d'une grande centrale nucléaire comme l'EKKB.
- La qualité du site du point de vue de la sûreté sera décrite et évaluée dans le rapport de sûreté. Le site est approprié.
- Le site est bien desservi pour les phases de construction et d'exploitation par différentes voies de communication et de plusieurs routes d'accès redondantes.

4 Radioprotection et exposition aux radiations

4.1 Introduction

Le présent chapitre présente l'exposition aux radiations prévisible aux alentours de l'installation, comme le demande l'art. 23 let. a ch. 3 OENu. Il porte exclusivement sur l'exposition aux rayonnements ionisants. L'exposition aux rayonnements non ionisants relève du rapport d'impact sur l'environnement [62].

Dans l'ensemble, on doit s'attendre à ce que les émissions de l'EKKB en exploitation normale, et donc aussi la dose de radiation prévisible aux alentours de l'installation, soient comparables à ceux des centrales nucléaires suisses modernes existantes (Gösgen et Leibstadt).

Le chapitre 4.2 résume les exigences légales dans le domaine de la radioprotection et de l'exposition aux radiations.

Le chapitre 4.3 traite de la justification de l'exposition aux radiations et de l'optimisation de la protection.

La protection des personnes et de l'environnement à l'intérieur de l'enceinte est assurée par des mesures de radioprotection opérationnelle. Le chapitre 4.4 traite de la protection des personnes à l'intérieur de l'installation.

Le chapitre 4.5 est consacré à la protection des personnes et de l'environnement contre un rejet excessif de substances radioactives, en exploitation normale ou en cas d'accident, et contre le rayonnement direct à l'extérieur de l'installation.

Les conséquences radiologiques d'accidents ne seront analysées et évaluées en détail qu'en lien avec la demande de l'autorisation de construire. Le chapitre 3 fait néanmoins état d'une série d'événements pouvant conduire à des accidents, les expositions au rayonnement à l'intérieur ou à l'extérieur de l'installation étant un critère d'évaluation de ces accidents. Les documents accompagnant la demande d'autorisation générale présentent l'exposition au rayonnement prévisible aux alentours de l'installation en exploitation normale.

4.2 Exigences légales

4.2.1 Principes généraux

Les principes de la sécurité nucléaire sont énoncés dans l'art. 4 LENu. Lors de l'utilisation de l'énergie nucléaire, l'homme et l'environnement doivent être protégés des rayonnements ionisants. Les substances radioactives ne peuvent être libérées que dans des quantités ne présentant pas de danger. Il faut en particulier prévenir le rejet excessif de substances radioactives ainsi que l'irradiation excessive des personnes, tant en exploitation normale qu'en cas de dérangement ou d'accident. Cette prévention doit prendre en compte les conséquences à long terme sur le patrimoine génétique (art. 4 al. 2 LENu). Au titre de la prévention, on prendra également toutes les mesures qui s'imposent en vertu de l'expérience et de l'état des sciences et des techniques (art. 4 al. 3 let. a LENu), ainsi que toutes les mesures supplémentaires qui contribuent à diminuer le danger, pour autant qu'elles soient appropriées (art. 4 al. 3 let. b LENu).

Une activité par laquelle l'homme ou l'environnement sont exposés à des rayonnements ionisants (exposition aux radiations) ne doit être exercée que si elle se justifie par rapport aux avantages et aux dangers qui y sont liés (art. 8 LRaP). Plus précisément, une activité est justifiée au sens de l'art. 8 LRaP lorsque les avantages qui y sont liés l'emportent nettement sur les inconvénients dus aux rayonnements et qu'il n'existe pas d'autre solution globalement plus favorable pour l'homme et l'environnement n'entraînant pas d'exposition aux rayonnements (art. 5 ORaP).

De plus, pour réduire l'exposition aux radiations de chaque individu ainsi que de l'ensemble des personnes concernées, il y a lieu de prendre toutes les mesures commandées par l'expérience et par l'état des sciences et des techniques (art. 9 LRaP), étant entendu que l'effort fait en vue de limiter l'exposition aux radiations doit être raisonnablement proportionné à la réduction de la dose de radiation que l'on peut atteindre (FF 1988, 201).

Le rejet de déchets radioactifs sous forme de gaz, d'aérosol ou de liquide et les mesures de contrôle qui s'y rapportent sont réglés dans l'ordonnance sur la radioprotection ORaP, tout comme le rejet de déchets solides. C'est également le cas des valeurs limites d'immissions et de la surveillance des immissions par l'entreprise. Ces prescriptions, pour l'essentiel, entreront en considération à une phase ultérieure – pour l'autorisation d'exploitation.

En lien avec le risque d'accidents, pour limiter l'exposition au rayonnement aux alentours de l'installation, l'ORaP impose de prendre les mesures propres à empêcher tout accident et l'OENu fixe une série d'exigences pour la sécurité nucléaire. Pour pouvoir maîtriser les accidents, il faut concevoir l'installation de façon à ce qu'aucun rejet inadmissible de substances radioactives ne se produise aux alentours de la centrale. Des systèmes de sécurité passifs et actifs doivent être prévus à cet effet (art. 7 let. c OENu).

En prévision des accidents pouvant libérer des substances radioactives en quantités dangereuses, on devra prendre en outre, sur les plans technique, organisationnel et administratif, des mesures préventives et des mesures destinées à en atténuer les effets néfastes (art. 7 let. d OENu). L'OENu exige également que soient prises des mesures de protection contre les accidents ayant leur origine tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'installation, et qu'il soit démontré que les doses limites fixées au titre de la prévention des accidents (art. 94 al. 2-5 ORaP) peuvent être respectées (art. 8 al. 4 OENu). Des mesures de protection en cas d'urgence doivent être préparées pour limiter les dégâts en cas de rejet de quantités dangereuses de substances radioactives (art. 5 al. 2 LENu). Les concepts pour la protection en cas d'urgence seront remis avec la demande de l'autorisation de construire (OENu, annexe 4). Pour la demande d'autorisation générale, les informations relatives au site figurent au chapitre 3 et celles concernant les aspects organisationnels au chapitre 5.

4.2.2 Exigences légales pour la demande d'autorisation générale

Selon l'art. 14 let. e LENu, l'autorisation générale fixe la limite maximale d'exposition des personnes aux radiations aux alentours de l'installation. Il s'agit là de la « valeur directrice de dose liée à la source » (ci-après VDDLS) au sens de l'art. 7 ORaP, comme le précise le message relatif à la LENu (cf Chapitre 8.4.1.3). Selon l'art. 23 let. a ch. 3 OENu, l'exposition au rayonnement prévisible aux alentours de l'installation doit être présentée dans le rapport de sécurité fourni avec la demande d'autorisation générale. Ceci concerne l'exploitation normale aussi bien que les incidents d'exploitation.

L'exposition prévisible en exploitation normale et en cas d'incident d'exploitation est traitée au chapitre 4.5.2. Les incidents d'exploitation sont des événements dont la fréquence est supérieure à 10^{-1} par an. En exploitation normale aussi bien qu'en cas d'incident, la valeur limite de dose fixée à l'art. 27 ORaP pour une personne de la population aux alentours de l'installation (1 mSv par an) ne doit pas être dépassée.

L'exposition prévisible en cas d'accident de fréquence de 10^{-1} et de plus de 10^{-6} par an est discutée au chapitre 2.4. L'exposition aux radiations est une des limites intervenant dans l'évaluation des conséquences des accidents. Les justificatifs provisoires relatifs aux accidents d'origine intérieure et extérieure seront fournis avec la demande de l'autorisation de construire, selon l'OENu, art. 7 let. c, art. 8 et annexe 4. Les analyses définitives seront fournies avec la demande d'autorisation d'exploitation.

Selon la directive DSN-R-11, la VDDLS fixée pour un site nucléaire est de o,3 mSv par an. Cette valeur couvre à la fois l'exposition directe et l'exposition aux rejets de substances radioactives.

Les autorités peuvent aussi fixer des VDDLS pour une ou plusieurs des entreprises d'un site. L'autorité qui délivre les autorisations décide pour quelles entreprises une valeur directrice de dose liée à la source est nécessaire et fixe celle-ci (art. 7 al. 2 ORaP).

Les valeurs limites d'immissions pour le rayonnement direct sont fixées à l'art. 102 ORaP. La surveillance des immissions est régie par l'art. 103 ORaP.

Selon l'art. 21 al. 1 let. c LENu, les limites du rejet de substances radioactives dans l'environnement sont fixées dans l'autorisation d'exploitation. Le respect des VDDLS est donc garanti.

4.2.3 Principes de la conception de l'installation du point de vue de la radioprotection

La conception de l'EKKB doit respecter strictement les principes de la sécurité nucléaire énoncés dans la LENu. Il faut en particulier prévenir le rejet excessif de substances radioactives ainsi que l'irradiation excessive des personnes, tant en exploitation normale qu'en cas d'accident (art. 4 al. 1 LENu). Au titre de la prévention, on prendra pour cela toutes les mesures qui s'imposent en vertu de l'expérience et de l'état des sciences et des techniques (art. 4 al. 3 let. a LENu). On prendra en outre toutes les mesures supplémentaires qui contribuent à diminuer le danger, pour autant qu'elles soient appropriées (art. 4 al. 3 let. b LENu).

Dès la conception, les mesures de protection obéissant aux principes reconnus sur le plan international doivent être prises, comprenant en particulier l'utilisation de composants de

construction de qualité, la mise en place de barrières de sécurité multiples, la pluralité et l'automatisation des systèmes de sécurité (art. 5 al. 1 LENu).

Dans la conception de l'EKKB, comme le prescrit l'ordonnance sur l'énergie nucléaire, des systèmes de sécurité passifs et actifs seront prévus, de façon à ce que, même en cas d'accident, aucun rejet inadmissible de substances radioactives ne se produise aux alentours (art. 7 let. c OENu). Les principes fixés dans la législation pour régir la conception d'une centrale nucléaire seront appliqués systématiquement (art. 10 al. 1 OENu).

L'optimisation requise dans l'ordonnance sur la radioprotection (art. 6, en particulier al. 1 ORaP) interviendra dès la conception de l'EKKB – dans la mesure où elle s'applique à ce stade – par le fait que les différentes solutions appropriées seront évaluées du point de vue de la radioprotection et que l'évacuation des sources radioactives sera prise en considération. Cela comprend en particulier une optimisation de la désaffectation future de l'EKKB tirant profit des expériences faites lors de désaffectations antérieures (voir chapitre 7.2 Concept de désaffectation de l'EKKB [95]).

L'EKKB sera conçue de telle manière que les valeurs limites d'immissions fixées dans l'ordonnance sur la radioprotection (art. 102 ORaP) puissent être respectées durant la phase d'exploitation et que la surveillance des immissions qui y est prescrite (art. 103 ORaP) puisse être effectuée par l'entreprise comme il se doit.

Dans la conception de l'EKKB, il est prévu de prendre en compte dès un stade précoce les aspects de radioprotection. Cela s'applique en particulier aux concepts désignés par l'OENu comme faisant partie de la description technique qui doit accompagner la demande de l'autorisation de construire, à savoir les concepts pour les zones radiologiques, l'écran de protection, la surveillance des alentours, la surveillance de l'espace, du système et des émissions, la protection d'urgence, les eaux usées, le procédé de conditionnement des déchets et l'entreposage des déchets. Dans l'évaluation de ces concepts, une attention particulière sera portée à la séparation claire entre la zone contrôlée et la zone non contrôlée, tant du point de vue architectural que des systèmes techniques.

4.3 Justification de l'exposition aux radiations et optimisation de la protection

La production d'énergie électrique au moyen d'une centrale nucléaire s'accompagne d'une certaine exposition aux radiations. Grâce aux mesures légales, il est possible de garantir pour la population et l'environnement que cette exposition est faible par rapport à l'exposition naturelle. Il est également garanti que l'irradiation du personnel travaillant à l'intérieur de l'installation ne dépasse pas les limites légales, si bien que l'exposition de chaque personne est limitée autant que le permet l'état des sciences et des techniques. Le respect de la loi sur la radioprotection garantit la protection des personnes et de l'environnement contre les risques liés aux rayonnements ionisants (art. 1 LRaP).

Aux termes de la loi sur la radioprotection, une activité par laquelle l'homme ou l'environnement sont exposés à des rayonnements ionisants (exposition aux radiations) ne doit être exercée que si elle se justifie par rapport aux avantages et aux dangers qui y sont liés (art. 8 LRaP).

Au sens de la Commission internationale de protection radiologique CIPR, cette justification suppose une pesée des avantages et des inconvénients, des bénéfices et des risques des activités entraînant une exposition aux radiations. Cette pesée des intérêts est principalement qualitative. Elle ne peut, au mieux, être quantifiée que partiellement et demeure donc une question d'appréciation. Aussi la question de savoir jusqu'à quel point une activité impliquant une exposition aux radiations peut être autorisée est-elle en fin de compte une décision politique. De manière générale, de l'avis de la CIPR, une activité est justifiée si le législateur a fixé des prescriptions à son sujet. La question de principe de la justification ne doit donc plus être posée à nouveau pour chaque autorisation.

En conséquence, la justification de l'exposition aux radiations causée par l'EKKB est donnée par la loi sur l'énergie nucléaire, puisque celle-ci réglemente l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire et vise en particulier la protection de la population et de l'environnement contre ses dangers (art. 1 LENu).

La loi sur la radioprotection prescrit de prendre toutes les mesures commandées par l'expérience et par l'état des sciences et des techniques afin de réduire l'exposition aux radiations de chaque individu ainsi que de l'ensemble des personnes concernées (art. 9 LRaP), étant entendu que les dépenses faites en vue de limiter l'exposition aux radiations doivent être raisonnablement proportionnées à la réduction de la dose de radiation que l'on peut atteindre (FF 1988, 201). Une fois appliqués les critères d'optimisation précisés dans l'ordonnance sur la radioprotection (art. 6 ORaP), l'exposition résiduelle aux radiations sera aussi faible qu'il est raisonnablement possible d'y parvenir, selon le principe de proportionnalité.

Cette exigence sera satisfaite d'une part par la conception de l'installation (voir chapitre 4.2.3) d'autre part par les mesures à prendre pour la mise en service et pour la phase d'exploitation en vue de la protection du personnel à l'intérieur de l'installation (voir chapitre 4.4). D'autres éléments limitant l'exposition aux radiations seront non seulement les mesures supplémentaires contribuant à diminuer les risques liés aux rayonnements ionisants, mais aussi le respect des VDDLS fixées par les autorités (voir chapitre 4.5.1).

4.4 Protection des personnes à l'intérieur de l'installation

La protection des personnes exposées aux radiations est réglée au chap. 2 de la loi sur la radioprotection. Les dispositions qui concernent une installation nucléaire sont celles qui portent sur le respect des valeurs limites de dose (art. 11 LRaP), sur le calcul de la limite de dose (art. 12 LRaP), sur les mesures médicales applicables aux personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession (art. 13 LRaP), sur la communication de données médicales (art. 14 LRaP) et sur la responsabilité au sein des entreprises (art. 16 LRaP). Comme le prescrit l'ordonnance sur l'énergie nucléaire, les mesures qui seront prises pour répondre à ces dispositions seront présentées dans les documents accompagnant la demande d'autorisation d'exploitation, en l'occurrence dans le règlement sur la radioprotection.

Les mesures constructives (tel le blindage), la définition de zones radiologiques, la surveillance de l'espace et des systèmes, le conditionnement des déchets servent également à la protection des personnes exposées aux radiations. Elles s'appliquent à toutes les zones et à tous les domaines de l'installation qui sont sous contrôle des radiations. Les mesures de radioprotection suivent le principe d'optimisation selon l'art. 6 ORaP. L'exposition individuelle et collective des personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession pendant la phase d'exploitation de l'EKKB sera abaissée encore en dessous du seuil légal, conformément au principe d'optimisation, par des mesures prises durant la planification et la construction de l'EKKB (radioprotection aux niveaux de l'architecture, de la construction et des systèmes) et durant la planification et l'exécution d'activités utilisant des substances radioactives ou s'effectuant dans des champs de radiations élevés (radioprotection au niveau opérationnel), pour autant que ce soit possible à un coût raisonnable.

4.5 Exposition aux rayonnements aux alentours de l'installation

L'exposition aux rayonnements occasionnée par l'EKKB aux alentours de l'installation se compose de l'exposition due aux rejets sous forme de gaz, d'aérosol ou de liquide et du rayonnement direct provenant de l'installation.

Etant donné que la conception, la construction et l'exploitation de l'EKKB s'effectueront dans le respect systématique des principes formulés au sujet de l'exposition aux radiations dans la loi sur l'énergie nucléaire (art. 4 OENu) et par la législation sur la radioprotection (art. 9 LRaP et art. 79 ORaP), on peut admettre que l'exposition aux rayonnements occasionnée par l'EKKB aux alentours de l'installation ne sera pas supérieure à celle observée autour des installations suisses récentes actuellement en service.

4.5.1 Valeur directrice de dose liée à la source (VDDLS)

Pour les installations nucléaires, la VDDLS au sens de l'ordonnance sur la radioprotection sert à fixer, dans l'autorisation générale, conformément à la loi sur l'énergie nucléaire, l'exposition maximale admissible pour les personnes aux alentours de l'installation.

L'autorité qui délivre les autorisations fixe cette valeur selon le principe de l'optimisation, en tenant compte des rejets de substances radioactives et du rayonnement direct provenant d'autres entreprises (art. 7 al. 3 ORaP), de telle manière qu'elle ne soit pas supérieure à la valeur limite de dose applicable aux personnes exposées aux rayonnements dans des circonstances non liées à l'exercice de leur profession. Elle prend aussi en compte les conséquences à long terme sur le patrimoine génétique (art. 4 al. 2 LENu).

La VDDLS ainsi définie s'applique à l'exposition provenant du site de la centrale pendant une année. Cette exposition se compose d'une part du rayonnement direct provenant des installations du site, d'autre part de l'exposition due aux rejets radioactifs, agissant sur l'organisme humain soit par l'air (immersion, inhalation), soit par ingestion (eau potable, produits végétaux et animaux), soit par le rayonnement du sol.

La VDDLS est valable pour tous les individus, en particulier pour les membres d'un groupe fictif défini selon une hypothèse pessimiste : on suppose que ce groupe vit là où la dose totale résultant des facteurs mentionnés ci-dessus est la plus élevée, qu'il travaille sur place, que sa consommation totale de fruits, légumes, lait et viande provient de ce même endroit et que sa consommation totale d'eau potable et de poisson provient de la rivière en aval de l'installation.

La VDDLS doit être respectée aussi bien en exploitation normale qu'à la suite d'accidents dont la fréquence est égale ou supérieure à une fois tous les dix ans (art. 94 al. 2 ORaP). Un accident dont la fréquence est située entre une fois en dix ans et une fois en cent ans ne doit pas générer une dose supplémentaire excédant la VDDLS (art. 94 al. 3 ORaP). Les limites des doses de radiations consécutives à des accidents et les justificatifs correspondants devant accompagner la demande de l'autorisation de construire sont traités au chapitre 2.4. Etant donné que la conception de l'installation est conforme aux principes décrits au chapitre 4.2.3, on peut admettre que l'exposition aux radiations en cas d'accidents de toutes les catégories devrait être faible et comparable à celle que produiraient les accidents correspondants dans les installations suisses récentes existantes.

Pour déterminer la VDDLS, l'autorité qui délivre les autorisations considère comme « source » l'ensemble des sources de rejets contrôlables se trouvant sur un même site. Pour tenir compte de la possibilité de superposition de plusieurs sources, la Commission internationale de protection radiologique CIPR recommande une VDDLS n'excédant pas environ 0.3 mSv par an pour une source individuelle. De cette façon, des immissions supplémentaires provenant d'autres sources ne devraient pas entraîner de dépassement de la valeur directrice de dose.

L'EKKB sera construite à proximité immédiate de la KKB existante. Du point de vue radiologique, les deux installations peuvent être considérées comme une source de radiations unique sur un même site, à laquelle une seule VDDLS s'applique.

Sans vouloir préjuger de la décision de l'autorité qui délivre les autorisations, remarquons ici qu'une solution logique du point de vue radiologique consisterait à reprendre la VDDLS valable pour la KKB 1 et 2 existante et pour le ZWIBEZ en l'appliquant à l'ensemble du site KKB / ZWIBEZ / EKKB.

S'il devait y avoir sur le site plusieurs organisations exploitantes, celles-ci conviendraient de règles contractuelles sur la manière d'utiliser ensemble la VDDLS valable pour le site tout en respectant toutes les limites de doses et de rejets.

4.5.2 Respect de la limite d'exposition

4.5.2.1 Emissions de substances radioactives sous forme de gaz, d'aérosol ou de liquide

Conformément à l'art. 80 ORaP, les émissions radioactives sous forme de gaz, d'aérosol ou de liquide seront rejetés par l'air évacué dans l'atmosphère et par les eaux usées déversées dans l'Aar.

Les valeurs limites d'émissions admissibles par an et sur de courtes durées pour la KKB 1 et 2 sont définies et calculées dans le règlement DSN 10/260, révision 1 de décembre 2007. En général, les limites annuelles de rejet de la KKB 1 et 2 sont loin d'être atteintes. Si elles l'étaient, cela ne représenterait qu'environ la moitié de la VDDLS. On doit s'attendre à ce que les rejets de l'EKKB en exploitation normale soient comparables à ceux des centrales nucléaires suisses modernes existantes (Gösgen et Leibstadt). En conséquence, il est vraisemblable que la somme des rejets de l'EKKB et de KKB 1 et 2 sera nettement inférieure aux valeurs limites.

L'autorisation d'exploitation fixe les limites des rejets de substances radioactives dans l'environnement (art. 21 al. 1 let. a LENu). L'obligation faite au détenteur de l'installation, par l'art. 21 al. 1 let. d LENu, de prendre des mesures de surveillance des alentours, garantit qu'il peut être justifié à tout moment du respect de la limite maximale d'exposition aux alentours de l'installation. Cette preuve fait également l'objet d'un rapport périodique (art. 37 al. 1 et annexe 5 OENu).

Pour définir d'autres mesures de réduction des émissions, il sera tenu compte des expériences faites dans les centrales nucléaires européennes modernes et des limites fixées dans des accords internationaux (p. ex. OSPAR [63]).

4.5.2.1.1 Émissions radioactives sous forme de gaz ou d'aérosol

Les déchets radioactifs sous forme de gaz ou d'aérosol provenant des systèmes de processus, de l'aspiration du condenseur et de la ventilation de la zone contrôlée seront rejetés dans l'environnement de manière contrôlée par la cheminée d'évacuation ou par d'autres moyens appropriés. Il est prévu d'équiper les canaux d'évacuation de filtres de telle manière que les rejets soient maintenus aussi faibles qu'il est raisonnablement possible de le faire (art. 4 chi. 3 LENu et art. 9 LRaP).

Le parcours d'émission sera muni d'appareils de surveillance d'activité permettant d'observer et de faire le bilan de l'activité rejetée. Il est prévu en outre de grouper autant que possible les émissions en un seul point de rejet approprié (en principe la cheminée). Il existe cependant des types de réacteurs à plusieurs points de rejet.

4.5.2.1.2 Émissions radioactives sous forme liquide

L'eau radioactive provenant des systèmes de l'installation et des drainages sera collectée et conditionnée, puis évacuée de manière contrôlée. Les systèmes utilisés à cet effet seront conçus de telle sorte que le contenu radioactif des eaux usées rejetées dans l'environnement soit maintenu aussi faible qu'il est raisonnablement possible de le faire (art. 4 chi. 3 LENu et art. 9 LRaP).

Toutes les émissions seront surveillées et feront l'objet d'un bilan, afin de garantir que les valeurs limites et les autres objectifs de radioprotection seront respectés.

Les conduites de retour des systèmes de refroidissement (par eau fluviale ou souterraine) seront également surveillées, afin de détecter les contaminations consécutives à des fuites dans les échangeurs thermiques ou dans d'autres barrières et de les limiter.

4.5.2.2 Exposition au rayonnement direct

En exploitation normale comme en cas d'incident, les quantités totales maximales d'émissions de substances radioactives par la KKB 1 et 2 dans les alentours ont été limitées de telle manière que l'exposition totale d'une personne aux radiations ne dépasse par o,2 mSv par an. La dose résultant du rayonnement direct de la KKB 1 et 2 est inférieure à o,1 mSv par an, de sorte que la VDDLS de o,3 mSv par an fixée pour le site de Beznau n'est pas dépassée (DSN-R-11). Il n'a pas été fixé de valeur de référence spécifique à l'exploitation de la KKB 1 et 2.

En dehors de l'enceinte du site pris dans son ensemble (KKB 1 et 2, ZWIBEZ et EKKB), le rayonnement direct ne conduira pas à des doses locales dépassant 1 mSv par an dans les locaux d'habitation, de séjour et de travail et 5 mSv par an dans tout autre endroit. Il sera garanti d'autre part que l'exposition résultant du rayonnement direct de l'ensemble KKB 1 et 2, ZWIBEZ et EKKB ne dépassera pas o,1 mSv par an par personne.

La dose locale et le débit de dose locale seront surveillés aux alentours de l'EKKB ainsi que sur l'enceinte délimitant le site au moyen de systèmes de mesure appropriés.

Il est probable que la VDDLS de o,3 mSv par an valable pour le site sera appliquée à l'ensemble des centrales (entreprises au sens de l'art. 7 chi. 2 ORaP) implantées sur le site. Les émissions et le rayonnement direct de tous les domaines de l'installation EKKB seront alors limités de telle manière que même durant l'exploitation simultanée des quatre installations nucléaires (KKB 1 et 2, ZWIBEZ et EKKB) la VDDLS du site sera respectée. Selon l'art. 7 al. 2 ORaP, l'autorité qui délivre les autorisations décide pour quelles entreprises une VDDLS est nécessaire et fixe celle-ci.

L'exposition aux radiations prévisible aux alentours de l'installation doit être présentée dans les documents accompagnant la demande d'autorisation générale, selon l'art. 23 let. a chi. 3 OENu. Cette exposition dépend du type de réacteur, en particulier des termes sources et du niveau des émissions. Les analyses provisoires à ce sujet ne seront soumises qu'avec la demande de l'autorisation de construire, selon l'art. 24 et l'annexe 4 OENu. Mais on doit s'attendre à ce que les émissions de l'EKKB en exploitation normale, et donc aussi la dose de rayonnement prévisible, soient comparables à celles des centrales nucléaires suisses modernes existantes (Gösgen et Leibstadt).

Comme il a été dit plus haut, le total des émissions effectives de l'ensemble des installations nucléaires du site sera vraisemblablement nettement inférieur aux limites d'émissions qui seront fixées dans l'autorisation générale selon l'art. 21 LENu. On doit donc s'attendre à ce que l'exposition des personnes qui vivent aux alentours de l'installation soit également nettement inférieure à la VDDLS du site. De plus, la VDDLS du site de Beznau (o,3 mSv par an) est très inférieure à la valeur limite fixée dans l'ordonnance sur l'énergie nucléaire (1 mSv par an, art. 7 ORaP).

Conformément au principe d'optimisation, l'exposition de la population aux radiations sera abaissée encore en dessous du seuil légal et des limites d'émission fixées par l'autorité, grâce à des filtres, lignes de rétention, blindages, etc., appropriés, et à un pilotage adéquat.

Pour définir d'autres mesures de réduction des émissions, il sera tenu compte des expériences faites dans les centrales nucléaires européennes modernes et des limites fixées dans des accords internationaux (p. ex. OSPAR [63]).

4.5.2.3 Contrôle des émissions durant la phase d'exploitation

Durant l'exploitation de l'EKKB, la mesure des rejets radioactifs est l'une des tâches majeures par le règlement sur la radioprotection. Celui-ci fait partie du dossier d'exploitation et donc des documents à joindre à la demande d'autorisation d'exploitation (art. 28 al. 1 let. a et Annexe 3 OENu). Le règlement sur la radioprotection est un document organisationnel, qui doit donc être tenu à jour pendant toute la durée de l'exploitation jusqu'aux dernières opérations de la désaffectation de la centrale, et réactualisé en continu en fonction de l'état de l'installation (art. 41 al. 1 et Annexe 3 OENu).

Le contrôle des rejets d'exploitation fait partie des relevés effectués pour assurer en tout temps la traçabilité de l'exploitation (art. 41 al. 2 et annexe 3 OENu).

4.5.2.4 Respect des valeurs limites d'immissions

Le respect des valeurs limites d'immissions est assuré selon l'art. 102 al. 3 ORaP par la définition de valeurs limites d'émissions et le contrôle des rejets d'exploitation, ainsi que par la limitation du rayonnement direct et le contrôle de celui-ci.

En raison des obligations générales du titulaire de l'autorisation, qui est responsable de la sécurité de l'installation et de l'exploitation, et dans le cadre de la documentation d'exploitation exigée par la LENu en accord avec l'ORaP, l'exploitant de l'EKKB surveillera par des mesures techniques, soit lui-même, soit en faisant appel à des services externes agréés par l'autorité de surveillance, les immissions de substances radioactives et le rayonnement direct émis par son entreprise et il annoncera régulièrement les résultats à l'autorité de surveillance. Une autre mesure de contrôle prévue dans l'ORaP pour la surveillance des valeurs limites d'immissions consistera à mesurer le bruit de fond radiatif pendant quelques années, par exemple trois, avant la mise en exploitation de l'EKKB.

Tout comme le contrôle des émissions durant la phase d'exploitation dont il est question au chapitre 4.5.2.3, la surveillance des immissions sera déterminée de manière définitive dans les documents accompagnant la demande d'autorisation d'exploitation.

5 Données relatives au personnel et à l'organisation

5.1 Introduction

L'art. 23 let. a ch. 4 de l'ordonnance sur l'énergie nucléaire (OENu) stipule que la demande d'autorisation générale doit être accompagnée des rapports de sécurité et de sûreté, présentant notamment « les données importantes relatives au personnel et à l'organisation ». Cette exigence de l'OENu a été précisée. Les aspects suivants seront considérés :

1 Les données relatives au personnel et à l'organisation concernant chaque phase du projet doivent être présentées

2 Une description des principes et des intentions est nécessaire. Les programmes de mise en œuvre proprement dits seront établis plus tard, en temps voulu, selon les art. 24, 28 et 41 et les annexes 3 et 4 de l'OENu.

3 Les données relatives à un programme de gestion de la qualité.

4 Des réflexions de principe sont à mener sur la manière de prendre en compte comme il se doit les facteurs humains et organisationnels (human factors engineering, HFE ; organisational factors engineering, OFE). L'autorisation d'une installation nucléaire (autorisation de construire et autorisation d'exploitation) ne s'appuie pas seulement sur l'évaluation du système technique, mais aussi sur celle du système socio-technique en tant qu'ensemble. L'objet de l'évaluation est donc l'intearction optimale Homme – Technique – Organisation.

Pour les différentes phases du projet, une organisation sera développée permettant :

5 d'organiser le déroulement du projet et des procédures d'autorisation de telle manière que toutes les exigences de sécurité nucléaire soient remplies, justificatifs à l'appui, et qu'une évaluation complète soit possible quant à la capacité du projet d'obtenir chaque autorisation

6 de coordonner au mieux le déroulement du projet et celui des demandes d'autorisations et de pouvoir tenir compte à temps, dans le développement du projet, des exigences formulées au cours de la procédure d'autorisation

7 d'adapter de manière souple l'organisation du projet à ses phases successives et aux exigences de chacune concernant les compétences techniques et méthodologiques, pour la transposer finalement en organisation de l'exploitation.

5.2 Principes de l'organisation et de l'évolution des effectifs

Par principe, l'évolution de l'organisation et des effectifs de l'EKKB devra répondre à toutes les exigences applicables :

- Loi sur l'énergie nucléaire, LENu
- Ordonnance sur l'énergie nucléaire, OENu
- Loi sur la radioprotection, LRaP
- Ordonnance sur la radioprotection, ORaP
- Autres ordonnances applicables, dont les ordonnances sur les mesures de sûreté, sur les équipes de surveillance, celle du 9 juin 2006 relative aux qualifications du personnel des installations nucléaires (OQPN), sur le courant fort, sur la protection de l'environnement, etc.
- Les directives applicables de la DSN et d'autres exigences de la DSN qui ne sont pas encore émises sous forme de directives
- D'autres directives émanant d'organisations mandatées par la DSN (p. ex. l'ASIT), posant des exigences relatives au personnel et à l'organisation
- Les normes et standards internationaux applicables qui complètent les exigences ci-dessus de manière utile et orientée vers la sécurité
- Les précisions supplémentaires apportées au besoin par la DSN ou les organisations mandatées par elle.

L'organisation requise pour la construction d'une nouvelle centrale nucléaire, depuis la demande d'autorisation générale jusqu'à l'exploitation de l'installation, est soumise à d'importants changements au cours du temps. Des éléments déterminants sont cependant conservés tout au long du processus. Ils sont définis par des principes qui pourront certes varier au niveau de leur impact mais qui seront constants. Ces éléments centraux sont :

1. La « culture de sécurité », c'est-à-dire une conscience aiguë des questions de sécurité. La culture de sécurité fait partie intégrante de toutes les activités rattachées aux autres éléments.
2. Sécurité nucléaire :
   - assurée par la technique
   - assurée par le développement du personnel et de son organisation (*human factors engineering* et *organisational factors engineering,* HFE et OFE)
   - assurée par la qualité (assurance qualité, contrôles qualité).
3. Coordination entre le déroulement du projet et celui des demandes d'autorisations
4. Sécurité conventionnelle
5. Sûreté de l'installation
6. Organisation d'interfaces entre :
   - la requérante et l'autorité de surveillance
   - la requérante et le fournisseur
   - l'autorité de surveillance et le fournisseur.

Des principes seront développés pour ces différents éléments d'après les directives de la DSN, de façon à attribuer clairement les tâches et les compétences pour toutes les phases du projet. Ces principes seront élaborés en parallèle avec l'évolution de l'organisation et du personnel (voir chapitre 5.3). Quant au fond, ils correspondent aux lignes essentielles des tâches au cours des différentes phases du projet. Par exemple, une bonne culture de sécurité doit être garantie à toutes les phases du cycle de vie de l'installation. Ceci doit se faire dès le début, dès la phase d'étude du projet. Les principes requis sont très semblables dans toutes les phases mais leur concrétisation au niveau des tâches correspond à l'aspect prioritaire de chaque phase.

Les principes sont concrétisés de telle manière que dans toutes les phases du projet, les tâches et les compétences du personnel soient attribuées de manière adéquate et orientées vers la sécurité. La requérante ou future détentrice de l'autorisation se chargera de réunir les compétences techniques et méthodologiques, ainsi que les ressources humaines nécessaires ; elle veillera également à ce que les fournisseurs offrent eux aussi ces compétences, ces ressources et une organisation appropriée, afin de pouvoir accomplir leurs tâches de manière conforme aux exigences. Elle connaîtra et aura connaissance à tout moment des produits et services des fournisseurs de manière suffisante pour remplir ses propres obligations (*intelligent customer capability*). Cela suppose une surveillance globale des activités des fournisseurs.

Ces compétences techniques et méthodologiques, dans la mesure où l'autorisation de la nouvelle centrale nucléaire y sera liée, seront mises à disposition par la direction des procédures d'autorisation. Cette dernière sera chargée de régler toutes les tâches en lien avec l'autorisation de la nouvelle installation et représentera l'interface entre la requérante et l'autorité de surveillance. Elle sera l'interlocutrice de l'organisation du projet auprès de l'autorité de surveillance et veillera à ce que les compétences techniques et méthodologiques requises par les lois, ordonnances et directives, ainsi qu'une organisation appropriée, soient disponibles de manière adéquate à chacune des phases du projet.

L'évolution de l'organisation et des effectifs qui en résultera est discutée plus en détail au chapitre suivant.

5.3 Organisation et évolution des effectifs

Le fil conducteur pour l'évolution du concept de l'organisation et des effectifs est l'ordonnance sur l'énergie nucléaire. Celle-ci précise explicitement les documents qui doivent être fournis à chaque étape du projet à l'autorité qui délivre les autorisations. A chaque phase du projet, jusqu'à la mise en service incluse, l'organisation du projet, en collaboration avec les fournisseurs, sera en mesure d'établir ces documents, de faire avancer le projet conformément à ces exigences et d'effectuer les surveillances et les réceptions nécessaires.

Par organisation du projet, on entend l'ensemble de l'organisation du maître de l'ouvrage responsable de tous les aspects du projet jusqu'à la réception de la centrale des mains du fournisseur. L'organisation du projet comprend toutes les fonctions nécessaires à cet effet. « Gestion du projet » est le terme générique qui inclut toutes ces fonctions.

La gestion des procédures d'autorisation est l'une des fonctions à l'intérieur de l'organisation du projet. Elle se rapproche de la notion anglaise de « licensing ». La gestion des procédures d'autorisation s'assurera que toutes les exigences de sécurité nucléaire, formulées par la législation, par l'autorité qui délivre les autorisations ou par d'autres instances, sont intégralement

prises en compte et mises en œuvre dans le déroulement du projet et dans les procédures d'autorisation.

L'organisation et les effectifs nécessaires à l'exploitation future de l'installation découlent de l'organisation du projet. Il s'y ajoute le personnel supplémentaire pour l'exploitation, la maintenance, la sûreté, la radioprotection et toutes les tâches fixées par l'ordonnance sur l'énergie nucléaire art. 30 pour l'organisation de l'exploitation. Pour leur réalisation, on tiendra compte de toutes les directives DSN applicables.

L'organigramme, les effectifs, la formation et l'embauche du personnel pendant les différentes phases jusqu'à l'exploitation en continu incluse seront présentés dans les documents joints aux demandes de l'autorisation de construire, de première autorisation de construire, d'autorisation d'exploitation, de permis de mise en service et de permis de marche en puissance ou d'exploitation continue, comme le précise l'ordonnance sur l'énergie nucléaire, annexe 4.

5.3.1 Importance de la gestion des procédures d'autorisation

La gestion des procédures d'autorisation réunit pour l'essentiel trois disciplines dont les compétences techniques et méthodologiques permettent d'évaluer le système socio-technologique d'une centrale nucléaire du point de vue de sa sécurité et du respect des exigences formulées par les lois, les ordonnances, les directives et autres codes et normes, et si nécessaire d'exiger des modifications de la part du fournisseur. Ces trois disciplines sont :

1. l'ingénierie de la sécurité (déterministe et probabiliste)
2. la gestion des facteurs humains et organisationnels (human factors engineering, HFE ; organisational factors engineering, OFE)
3. la qualité (assurance qualité, contrôles qualité).

Elles constituent les éléments centraux de la « sécurité nucléaire », pour laquelle, comme décrit plus haut, des principes doivent être développés en rapport avec les tâches et les compétences. De cette façon, il est garanti que les aspects de sécurité seront pris en considération de manière exhaustive durant tout le processus d'autorisation.

Ingénierie de sécurité (déterministe et probabiliste)

Cette discipline évalue les technologies et vérifie si elles remplissent tous les critères liés à la sécurité. L'ingénierie de sécurité déterministe considère les exigences sécuritaires déterministes et démontre au moyen des justificatifs correspondants que les objectifs de protection, les valeurs limites et les autres critères sont tous respectés. L'ingénierie de sécurité probabiliste se base sur des analyses de sécurité probabilistes pour calculer la fréquence des dommages au cœur en cas d'accident et démontrer que les critères de l'art. 24 al. 1 let. b OENu sont remplis. L'installation doit être conçue et construite en accord avec les analyses de sécurité déterministes. De même, les hypothèses des analyses de sécurité probabilistes doivent concorder avec la base de conception et la configuration de l'installation. La tâche première de l'ingénierie de sécurité est de garantir que tel sera le cas.

Facteurs humains et organisationnels

L'HFE et l'OFE assistent l'ingénierie de sécurité dans ses évaluations et garantissent que toutes les problématiques sécuritaires seront considérées dans leur globalité socio-technologique. L'OFE s'occupe de l'organisation. L'HFE s'occupe de la prise en compte des capacités humaines et de leurs limites dans la conception des postes de travail, des moyens de travail et des processus de travail, notamment là où il s'agit d'activités liées à la sécurité, p. ex. la commande (salles de commande, postes de pilotage) et la maintenance de l'installation (p. ex. accès, outils) (art. 10 al. 1 let. j OENu). L'application des principes de l'HFE et de l'OFE sera toujours élaborée en détail, phase par phase, pour les différents domaines techniques. Ceci vaut à toutes les étapes de l'étude du projet, de la construction, de l'exploitation et de la désaffectation de l'installation. Le but est toujours le même, à savoir optimiser l'exécution des travaux grâce à la prise en considération des particularités humaines et organisationnelles du projet et de l'installation. Il est particulièrement important de considérer les facteurs humains de manière interdisciplinaire, en faisant appel à des experts pour la conception (ingénierie de la sécurité), l'exploitation, la radioprotection et la maintenance. Cela devrait se faire en coopération avec des spécialistes de l'HFE.

Gestion de la qualité (assurance qualité, contrôles qualité)

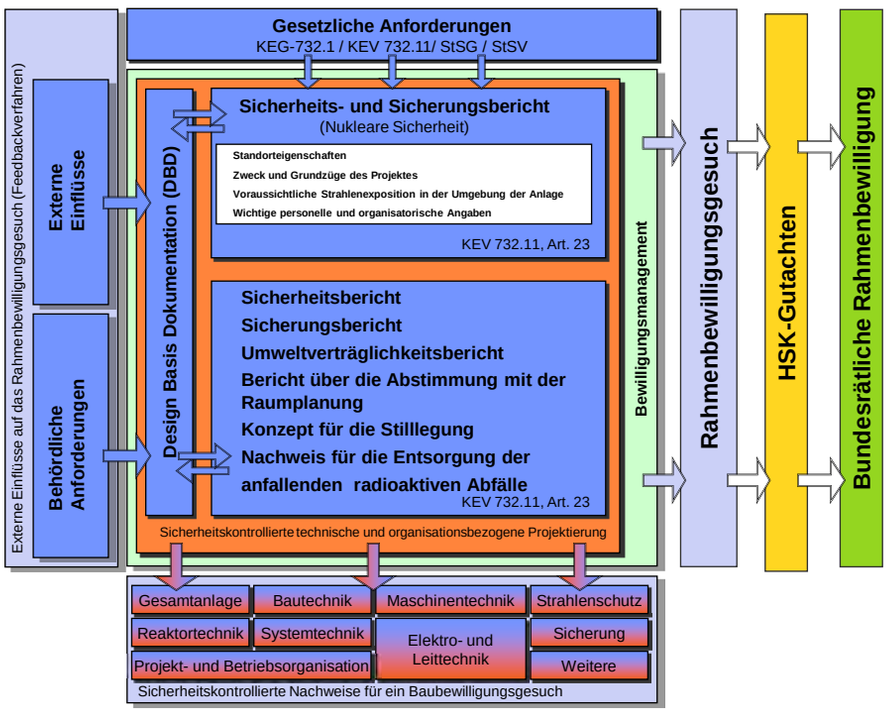
La « gestion des procédures d'autorisation » développera un concept pour un programme de gestion de la qualité. Ce concept sera élaboré à partir des exigences applicables et il en sera tenu compte dans l'établissement des documents accompagnant les demandes d'autorisations. L'application du programme de gestion de la qualité sera du ressort des divisions chargées de l'exécution des différentes fonctions dans l'organisation du projet.

Les contrôles, aussi bien des équipements que des documents, s'effectueront toujours par rapport à la base de conception (dite aussi base du dimensionnement) de l'installation, selon les art. 24 et 25 de l'ordonnance sur l'énergie nucléaire. Un programme de gestion de la qualité pour la phase d'étude du projet et celles de construction sera joint à la demande de l'autorisation de construire (art. 24 et 25 OENu).

Le système de gestion de la qualité pour l'exploitation remplira les critères de l'art. 31 OENu. Ce système sera décrit dans le manuel de gestion de la qualité, qui accompagnera la demande d'autorisation d'exploitation (art. 28 et annexe 3 OENu).

Dans le cadre de la phase « autorisation générale », les bases de la demande d'autorisation générale seront complétées de manière que toutes les bases soient disponibles pour le rapport sur la conformité du projet avec l'autorisation générale (art. 24 al. 2 let. g OENu). La figure Fig. 5.3-1 clarifie les corrélations à prendre en compte pour l'élaboration de ces bases.

Fig. 5.3-1 : La fonction « gestion des procédures d'autorisation » et ses interfaces pour la phase « autorisation générale » du projet



Les exigences légales posées aux documents accompagnant la demande seront identifiées et remplies. Les documents d'appui seront contrôlés et archivés afin de garantir la traçabilité des données (*design basis documentation*). Les analyses formant la base des documents accompagnant la demande rempliront les exigences posées par l'autorité et tiendront compte des influences extérieures au projet, comme par exemple les caractéristiques du site.

La gestion des procédures d'autorisation accompagnera la demande dans les étapes de la procédure d'autorisation et s'assurera que toutes les informations supplémentaires demandées ont été élaborées et transmises aux instances compétentes. Elle s'assurera également que l'ensemble du développement du processus est orienté sécurité. Les résultats représenteront une partie des bases nécessaires à l'élaboration des justificatifs accompagnant la demande de l'autorisation de construire.

5.3.2 Phases du projet

La Loi sur l'énergie nucléaire définit une subdivision du projet global en une série de phases dont chacune est soumise à autorisation, et l'ordonnance sur l'énergie nucléaire précise notamment le volume et le contenu des documents qui doivent accompagner les demandes. Dans les paragraphes ci-après, les phases 1 et 3 du projet sont désignées par le nom de l'autorisation qui sera demandée à la fin de chaque phase. La phase 2 est est désignée par le nom de l'autorisation demandée pour la phase de construction et son exécution. L'organisation sera constituée et structurée de manière que toutes les activités visant à l'obtention de l'autorisation respective puissent se dérouler de manière conforme aux exigences juridiques.

Phases d'autorisation :

1 Autorisation générale

L'art. 23 OENu exige, pour poser une demande d'autorisation générale, toute une série de pièces relatives à la sécurité et à la sûreté de l'installation, à son impact sur l'environnement, à son adéquation par rapport à l'aménagement du territoire, à sa désaffectation et à l'élimination de ses déchets.

2 Autorisation de construire et exécution des travaux

La phase de l'autorisation de construire et d'exécution des travaux se subdivise, selon l'art. 21 et l'annexe 4 OENu, en une série de phases assorties de permis d'exécution (autorisation de construire, permis de fabrication, permis de montage). C'est au cours de cette phase que sont élaborés les concepts et les bases s'appliquant à la conception de l'installation. Les documents nécessaires à l'exécution des travaux et les documents de fabrication et de montage sont établis et appliqués lors de la construction, de la fabrication et du montage.

3 Autorisation d'exploitation

L'art. 28 et les annexes 3 et 4 de l'OENu définissent les documents nécessaires pour faire la demande 'd'autorisation d'exploitation : il s'agit pour l'essentiel des justificatifs de conception et de justificatifs attestant que la conception est bien conforme aux instructions de l'autorisation générale et des différentes phases de l'autorisation de construire. Il convient de prouver la qualification du personnel de direction astreint à licence en radioprotection et des personnels d'encadrement et de remettre les documents requis attestation de l'organisation (art. 28 OENu). Les effectifs et les programmes de formation et de perfectionnement pour le fonctionnement en continu sont remis lors de la demande d'autorisation de mise en service.

4 Exploitation

La phase d'exploitation inclut la conduite de l'exploitation, la surveillance, la maintenance et tous les aspects de suivi technique de l'installation. Ceci comprend tous les types d'exploitation, y compris les cas d'urgence.

5 Désaffectation

La désaffectation commence avec la phase suivant l'arrêt du réacteur. L'organisation de la désaffectation découlera en grande partie de l'organisation de l'exploitation. Les connaissances spécifiques à l'installation en matière de radioprotection, de technique des systèmes et de technique du bâtiment jouent un rôle important pour la sécurité du démontage et de l'élimination des composantes et matériaux.

Le développement de l'organisation pendant ces phases s'effectue en fonction des besoins et processus évoqués. Le nombre d'employés, la qualification et l'organisation du personnel assurent le traitement du projet dans le respect des exigences légales et en tenant compte des principes évoqués au chapitre 5.2.

L'organisation inclura en outre toutes les fonctions importantes pour la construction, l'exploitation et la maintenance qui ne sont pas en lien direct avec la sécurité ou la sûreté de l'installation.

5.3.2.1 Autorisation générale

La principale tâche pendant la phase d'autorisation générale est de réunir les documents à fournir à l'autorité et d'accompagner la procédure d'autorisation. Une fois remise la demande d'autorisation générale commencent les préparatifs pour l'établissement de la demande de l'autorisation de construire et la détermination de toutes les exigences relatives à l'installation à construire. C'est pourquoi la fonction de gestion de l'autorisation est un point crucial de la gestion du projet au cours de cette phase.

Une demande répondant aux exigences de l'art. 23 OENu sera rédigée. Elle doit entre autres prouver l'adéquation du site et décrire le but du projet, ainsi que ses grandes lignes et l'exposition aux rayonnements prévisible aux alentours de l'installation. L'organisation de projet, sous la direction d'un chef de projet général, doit disposer des compétences techniques et de l'expérience nécessaires pour mener ces missions à bien conformément aux principes du chapitre 5.2.

Au cours de cette phase, l'organisation de projet se compose principalement des domaines spécialisés qui réalisent des études sur l'adéquation du site potentiel et déterminent les aspects liés à la sécurité, à la sûreté, à l'impact sur l'environnement et à l'aménagement du territoire pour le site. L'étude des risques potentiels sur le site en est le point fort ; les futurs programmes d'ingénierie HOF sont définis mais pas encore intégrés à l'organisation.

L'équipe de projet chargée d'élaborer la demande d'autorisation générale se compose d'une équipe centrale dont les membres sont responsables en tant que chefs de projet pour les activités dans les domaines de la sécurité et de la sûreté, de l'élimination des déchets et de la désaffectation ainsi que de l'impact sur l'environnement et de l'aménagement du territoire. L'équipe centrale assure également le suivi des études liées à la détermination du site et aux conceptions d'installations possibles. Pour la constituer, on a scrupuleusement veillé à choisir des personnes ayant acquis dans des sociétés partenaires ou des organisations qui s'y rattachent une grande expérience dans le domaine des techniques nucléaires et de la gestion de projets nucléaires.

Dans son travail, l'équipe centrale est assistée d'autres experts issus de sociétés partenaires ou d'experts externes, principalement choisis sur la base de leur expérience dans des projets de technique nucléaire. Des sociétés suisses et internationales ont été mandatées en tant qu'experts externes pour les différents domaines techniques. L'équipe centrale porte la responsabilité de mandater tous ces experts, de coordonner leurs travaux et d'assurer l'assurance de la qualité des résultats. Les documents de la demande ont été élaborés selon les directives d'assurance qualité définies.

La collaboration avec FMB dans la société Resun a permis de mettre des compétences et des expériences supplémentaires à disposition. L'expérience et les connaissances des collaborateurs des centrales nucléaires de Beznau et Leibstadt ont également été mises à profit lors de l'établissement et du contrôle des documents. Les ingénieurs-conseils spécialisés qui étaient chargés de l'examen des caractéristiques du site (météorologie/climatologie, hydrologie, géographie et industrie, eaux souterraines, géologie et sismologie) ont joué un rôle important.

Ingénierie de sécurité :

L'ingénierie de sécurité est un élément important de l'organisation au cours de cette première phase, qui réalise les premières évaluations de la sécurité et crée les principes de sécurité nécessaires pour la phase suivante du projet.

C'est à ce stade que sont tirées les premières conclusions de principe quant aux caractéristiques du site. Les dispositions légales à respecter et les exigences des autorités, dans la mesure où elles concernent la demande d'autorisation générale, sont traitées et documentées dans des rapports correspondants. Ceci inclut notamment une première évaluation des événements externes (liés au site).

Facteurs humains et organisationnels :

Cette partie de la gestion de l'autorisation n'est pas au premier plan lors de l'élaboration de la demande d'autorisation générale. La demande d'autorisation générale met l'accent sur la description et l'évaluation de l'adéquation du site. C'est pourquoi aucun service correspondant n'est encore impliqué dans l'organisation à cette phase du projet. Lors de la préparation des données relatives au personnel et à l'organisation, un soutien spécialisé externe a été demandé dans le domaine de l'organisation et des HOF.

On connaît l'importance d'une prise en compte précoce de cette discipline pour la sécurité et l'aptitude d'une centrale nucléaire à être autorisée, comme l'ont montré les programmes HFE et OFE. Le développement de programmes correspondants et leur intégration organisationnelle dans la gestion des autorisations sont prévus pour la phase de projet suivante. La mise en œuvre sera planifiée avec l'ingénierie de sécurité parallèlement aux évaluations de sécurité des différentes technologies envisagées.

Assurance qualité :

A cette phase du projet, l'assurance qualité garantit que les aspects liés à la sécurité sont traités de manière appropriée pour les documents destinés à la demande d'autorisation générale et peuvent être transmis à la phase de projet suivante (voir aussi le chapitre 1.5).

Le développement d'un programme de gestion de la qualité conformément à l'art. 25 OENu est prévu pour la phase de projet suivante.

5.3.2.2 Autorisation de construire

Au cours de cette phase du projet, lors de laquelle se poursuit la préparation des documents et programmes exigés aux articles 24 et 25 de l'ordonnance sur l'énergie nucléaire, la fonction de gestion des autorisations reste le point central de la gestion de projet. L'organisation du projet est entièrement définie, principalement dans les fonctions liées à la conception, de manière à ce que tous les domaines correspondants soient couverts de façon appropriée (voir annexe 4 OENu). L'organisation du projet est capable de spécifier les exigences déterministes en termes de sécurité et les analyses probabilistes de la sécurité, ainsi que d'en évaluer et d'en juger les résultats. L'organisation de projet peut également intégrer tous les aspects liés à la sécurité, y compris le HFE et le OFE, dans les processus d'évaluation et d'autorisation ainsi que dans les processus de conception et de réalisation (spécifications, surveillance du montage). D'autres

mesures organisationnelles seront prises pour mettre en place un système de gestion de la qualité.

En accord avec les principes formulés par l'AIEA en matière de culture de la sécurité (INSAG-4), l'initiatrice du projet ou la détentrice de l'autorisation et ses représentants, notamment la direction responsable de l'exploitation ultérieure, mettent tous les moyens (personnels, financiers et matériels) en œuvre pour accorder la priorité absolue à la sécurité dans toutes les activités et fixer une procédure pour cette mise à disposition de moyens. De plus, ils s'engagent pour un suivi et un développement continu de la sécurité. Pendant toutes les phases du projet et pendant toute la durée de vie de l'installation, le principal objectif sera de garantir la sécurité et la sûreté et de protéger le personnel et la population ; il est important pour cela de s'assurer que le personnel respecte scrupuleusement les principes de la culture de sécurité (p. ex. esprit critique positif, évaluation du retour d'expérience, prise en compte des aspects importants entre homme, technique et organisation) et applique bien ces principes au quotidien.

La mise en œuvre de ces principes de la culture de sécurité sera adaptée au cours du projet en fonction des activités principales à chaque stade.

Au début de la phase de autorisation de construire, l'organisation de projet est constituée de manière ciblée grâce au recrutement de personnel technique expérimenté supplémentaire. Au cours de cette phase, il est extrêmement important d'employer les bons collaborateurs en nombre adéquat afin de remplir le rôle d'« intelligent customer ». Cela signifie que l'initiatrice du projet/le maître d'ouvrage doit être en mesure de spécifier entièrement et correctement les prestations des fournisseurs et d'en contrôler la mise en œuvre.

Pour pouvoir l'assurer, dans une première phase, l'ingénierie de sécurité met en place des interfaces importantes au sein de l'organisation de projet et avec les autorités et les fournisseurs. En outre, des programmes HFE/OFE et un programme de gestion de la qualité sont développés en accord avec l'ingénierie de sécurité. Les demandes de permis d'exécution pour les concepts, les spécifications de la conception, la fabrication et le montage sont posées en fonction de l'avancement du projet.

Au fur et à mesure de l'avancement du projet, des départements spécialisés seront créés et pourront se détacher de la gestion des autorisations de manière utile et ciblée pour former des unités organisationnelles de gestion de projet indépendantes.

Au début de la phase de construction, l'organisation de projet sera une nouvelle fois élargie. L'ensemble des disciplines de technique nucléaire seront prises en compte, ainsi que certaines fonctions liées à la mise en service et à l'exploitation ultérieures. La surveillance de la réalisation et du montage sur la base des spécifications correspondantes constitue un point important. Les connaissances acquises seront également utilisées pour la maintenance et le suivi de l'installation pendant l'exploitation. La gestion de la qualité jouera un rôle particulièrement important pendant cette phase du projet ; notamment la gestion des interfaces entre les fournisseurs, l'organisation de projet et les autorités.

Les futurs services de l'organisation de l'exploitation (organisation globale touchant tous les aspects de l'exploitation de la centrale) commenceront à se former à partir de l'organisation de projet. Ils surveilleront, en contact étroit avec les fournisseurs, le respect des contrats conclus et feront connaître les points de vue et exigences du futur exploitant responsable de l'installation. Le service Exploitation évoqué au chapitre 5.3.2.3 est l'un de ces services, qui sera ultérieurement responsable de la conduite de l'exploitation depuis le principal poste de commande, et sur place à l'intérieur de l'installation. Les services de maintenance, de surveillance et de suivi technique verront également le jour au cours de cette phase.

5.3.2.3 Autorisation d'exploitation

La phase de l'autorisation d'exploitation qui débute avec la préparation des documents exigés par l'art. 28 OENu permet d'élaborer les demandes d'autorisation d'exploitation pour la mise en service et l'exploitation de l'installation. Lors de la phase précédente du projet, le service Exploitation a notamment déjà été mis en place et peut maintenant contribuer à l'élaboration de la documentation d'exploitation, voir art. 28 et annexe 3 OENu. Les spécifications techniques, les prescriptions d'exploitation et en cas d'accident, les prescriptions pour les essais et autres documents d'exploitation peuvent être établis avec les connaissances acquises au cours des phases précédentes relatives à la conception de l'installation.

5.3.2.4 Exploitation

L'organisation de l'exploitation de l'installation répondra aux exigences de l'art. 30 OENu et aux ordonnances correspondantes ainsi qu'aux directives des autorités telles que décrites au chapitre 5.2. Lors de la phase d'exploitation, le programme de gestion de la qualité continuera de remplir les exigences de l'art. 31 OENu.

Pendant l'exploitation, une appréciation systématique de l'organisation et du personnel aura lieu conformément à l'art. 33 OENu. Pour ce faire, l'organisation et le personnel seront périodiquement vérifiés et soumis à des évaluations dans le cadre de réexamens approfondis de la sécurité conformément à l'art. 34 OENu.

La détentrice de l'autorisation d'exploitation mettra en place un organe qui analysera les événements et les constats ayant pour origine des facteurs humains, proposera des mesures et surveillera leur mise en œuvre (art. 30 al. 3 OENu).

Elle suivra également l'évolution des techniques, y compris l'organisation et le personnel, et contrôlera dans quelle mesure il est possible d'en tirer des informations relatives à la sécurité et à la sûreté de l'installation.

Les modifications apportées aux documents définis à l'art. 40 al. 1 lettre c OENu nécessitent un permis d'exécution.

En cas d'éventuelle exploitation en parallèle[57] de l'EKKB et des installations existantes KKB 1 et 2, elle identifiera des synergies dans les domaines du personnel et de l'organisation et les exploitera conformément aux permis d'exécution délivrés par les autorités compétentes. La même chose s'applique à la désaffectation des installations KKB 1 et 2.

5.3.2.5 Désaffectation

L'organisation de la phase de désaffectation est préparée et soumise conformément à l'art. 45 OENu. Ceci inclut un justificatif de l'engagement d'effectifs en nombre suffisant et disposant des qualifications professionnelles requises pour accomplir et surveiller les travaux de désaffectation , ainsi qu'une structure d'organisation idoine avec une claire attribution des compétences.

Un programme de gestion de la qualité sera également remis avec le projet de désaffectation. L'organisation est définie dans la décision de désaffectation (art. 46 OENu).

5.4 Mesures de protection d'urgence

Conformément à l'art. 5 al. 2 de la loi sur l'énergie nucléaire, des mesures de protection d'urgence doivent être préparées pour limiter les dommages en cas de rejet de quantités dangereuses de substances radioactives. Le rapport de sécurité accompagnant la demande de autorisation de construire décrit les concepts de protection d'urgence, comme l'exige l'annexe 4 OENu.

L'organisation de l'exploitation doit être configurée conformément à l'art. 30 OENu de manière à ce que la préparation des plans d'urgence et leur mise en œuvre puisse être assurée par l'organisation elle-même. Un règlement pour les cas d'urgence sera remis en même temps que les documents de demande de l'autorisation d'exploitation.

La planification d'urgence fait l'objet d'une évaluation systématique pendant l'exploitation (art. 33. OENu).

Lors de l'appréciation de l'adéquation du site pour la demande d'autorisation générale, la faisabilité des mesures de protection d'urgence a été évaluée. On trouvera une description et une appréciation de l'adéquation du site en vue de la faisabilité des mesures de protection d'urgence au chapitre 3.2.

Une organisation de la protection en cas d'urgence sera mise en place et élargie au cours du projet à partir des services existants de manière à ce que l'accès aux compétences nécessaires soit assuré à chaque phase du projet.

[57] La NOK souhaite arrêter l'exploitation de la KKM existante aussi rapidement que possible après la mise en service de l'EKKM. Une exploitation des deux installations en parallèle semble cependant nécessaire en l'état actuel des choses afin d'assurer l'approvisionnement pour les partenaires impliqués dans l'EKKM pendant la première phase qui suivra la mise en service de l'EKKM.

6 Références

[1] Loi sur l'énergie nucléaire LENu, SR 732.1

[2] Ordonnance sur l'énergie nucléaire OENu, SR 732.11

[3] Loi sur la radioprotection LraP, SR 814.50

[4] Ordonnance sur la radioprotection ORaP, SR 814.501

[5] Botschaft des Bundesrates 01.022 [Message du Conseil fédéral] : Botschaft zu den Volksinitiativen : MoratoriumPlus – Für die Verlängerung des Atomkraftwerk – Baustopps und die Begrenzung des Atomrisikos (MoratoriumPlus) und Strom ohne Atom – Für eine Energiewende und die schrittweise Stillegung der Atomkraftwerke (Strom ohne Atom) sowie zu einem Kernenergiegesetz, 28.02.2001 (BBl 2001 2665)

[6] Ordonnance sur la protection des eaux Oeaux, SR 814.201

[7] Unique (Flughafen Zürich AG) : *Rapport statistique 2007*, 28.3.2008

[8] Boeing : Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations 1959-2005, 2006

[9] Bureau d'enquête sur les accidents d'aviation (BEAA) : Statistik über Flugunfälle von in der Schweiz immatrikulierten Luftfahrzeugen im In- und Ausland sowie von im Ausland immatrikulierten Luftfahrzeugen in der Schweiz, Période de rapport 2006

[10] Interplan Consult GmbH p.o. de l'OFAC : Entwicklung des Luftverkehrs in der Schweiz bis 2030 – Nachfrageprognose, 2005

[11] Dotzek, N. : *Tornado- und Downburstklimatologie*, Klimastatusbericht 2004, Deutscher Wetterdienst, 2004, pp.171-180

[12] Blüthgen, J., Weischet, W. : *Allgemeine Klimageographie*, 3. édition, Verlag de Gruyter, Berlin, 1980

[13] Doswell Ch. A. : *What is a Tornado?,* Internet article by the Cooperative Institute for Mesoscale Meteorological Studies, Norman OK (USA), 2001, http://www.cimms.ou.edu/~doswell/a_tornado/atornado.html

[14] Schmid, W., Schiesser, H.-H., Furger, M., Jenni, M. : *The Origin of Severe Winds in a Tornadic Bow-Echo Storm over Northern Switzerland.*, Monthly Weather Review 128, 2000, pp. 192-207

[15] Schiesser, H.-H., Waldvogel, A., Schmid, W., Willemse, S. : *Klimatologie der Stürme und Sturmsysteme anhand von Radar- und Schadendaten*, Vdf Hochschulverlag AG, Zurich, 1997

[16] Piaget A. : *L'évolution orageuse au nord des Alpes et la tornade du Jura vaudois du 26 âout 1971*, Publications de la Station centrale suisse de météorologie, 1976, No. 35

[17] Herzog, J.L., Golaz, Ch. : *Le cyclone orageux du 12 juin 1926*, Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, 1926, Appendice No. 3

[18] Organe consultatif sur les changements climatiques OcCC : *Le climat change – que faire? Le nouveau rapport sur le climat (GIEC2007) et les conséquences pour la Suisse*, Berne, 2008 http://www.occc.ch/

[19] Fujita, T. T., Pearson, A. D. : Results of FPP classification of 1971 and 1972 Tornadoes. Proc. 8th Conf. on Severe Local Storms, Denver, 1973, pp.142-145

[20] Dotzek, N., Hubrig, M., Berz, G. : *TORRO- und Fujita-Skala Beschreibung, angepasst für Mitteleuropa,* 2004, http://www.tordach.org/FT_scales.htm

[21] National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA : *U.S. Tornado Climatology*, National Climatic Data Center Asheville, North Carolina, 2008, mise à jour le 10 avril 2008. http://lwf.ncdc.noaa.gov/oa/climate/severeweather/tornadoes.html

[22] Naef, F., Schmocker-Fackel, P., Margreth, M., Kienzler, P., Scherrer, S. : Die Häufung der Hochwasser der letzten Jahre, 2008, In : Bezzola, G. R., Hegg, C. : Ereignisanalyse Hochwasser, Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen, Publié par l'Office fédéral de l'environnement OFEV, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage, Umwelt-Wissen No. 0825 : 429 S, 2005

[23] Achermann ,K. : Betriebliche Vorkommnisse und Erfahrungen beim Eisgang vom Februar 1956 auf Aare und Rhein, Wasser- und Energiewirtschaft, 1959, No. 3

[24] Amberg, B. : Beiträge zur Chronik der Witterung und verwandter Naturerscheinungen mit besonderer Rücksicht auf das Gebiet der Reuss und der angrenzenden Gebiete der Aare und des Rheins, I. Teil Erstes bis dreizehntes Jahrhundert, 1890

[25] Amberg, B. : Beiträge zur Chronik der Witterung und verwandter Naturerscheinungen mit besonderer Rücksicht auf das Gebiet der Reuss und der angrenzenden Gebiete der Aare und des Rheins, II. Teil Vierzehntes, fünfzehntes und erste Hälfte des sechzehnten Jahrhunderts, 1892

[26] Amberg, B. : Beiträge zur Chronik der Witterung und verwandter Naturerscheinungen mit besonderer Rücksicht auf das Gebiet der Reuss und der angrenzenden Gebiete der Aare und des Rheins, III. Zweite Hälfte des sechzehnten und siebzehnten Jahrhunderts bis 1613, 1897

[27] Banholzer, M. : Geschichte der Stadt Brugg im 15. und 16. Jahrhundert, 1961

[28] Banholzer, M., Bieger, P. : *Alt Brugg,* 1984

[29] Baumann, M. : Geschichte von Windisch, 1983

[30] Stadtarchiv Brugg : Die Aare bei Brugg ist überfroren, janvier 1905

[31] Dobras, W. : Seegfrörne, die spannende Geschichte der Seegfrörnen von 875 bis heute (1.édition : Wenn der ganze Bodensee zugefroren ist!), 1992

[32] Härry, A. (1939) : *Die Eisverhältnisse bei den Kraftwerken an der Aare und Rhein vom Bielersee abwärts bis Basel im Februar/März 1929*, Sonderabdruck aus der Schweizerische Wasser- und Elektrizitätswirtschaft, du 9 au 12 septembre/décembre 1930

[33] Pfirter, U., Hauber, L. : *Hydrogeol. Karte von Biel 1:100 000*, Carte et explications, 1991

[34] Hendricks Franssen, H.J., Scherrer, S.C. : *Freezing of lakes on the Swiss plateau in the period 1901-2006*, International Journal of Climatology, 2007, V. 28, pp. 421-433

[35] Hydrologischer Atlas der Schweiz HADES : *Landeshydrologie und –geologie*, publ. 1992

[36] Pfister, C. : Wetternachhersage–500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen, 1999

[37] Metz, R. : Geologische Landeskunde, 1980

[38] Stotzer, W. : Eisgang auf der Aare 1789, Hornerblätter, Vereinigung für Heimatpflege Büren, 1951

[39] Zschokke, T. : Das Grundeis auf der Aare, 1855

[40] Baer, M., Deichmann, N., Faeh, D., Kradolfer, U., Mayer-Rosa, D., Ruettener, E., Schler, T., Sellami, S., Smit, P. : *Earthquakes in Switzerland and surrounding regions during 1996*, Eclogae geol. Helv., 1997, V. 90, N. 3, pp. 557–567

[41] Bitterli, Th. et al. : Blatt 1050 Zurzach. – Geol. Atlas Schweiz 1:25 000, Explicat. 102, 2000

[42] Bitterli-Dreher, P. et al. : Blatt 1070 Baden. – Geol. Atlas Schweiz 1:25 000, Explicat. 120, 2007

[43] Diebold, P., Naef, H., Ammann, M. : Zur Tektonik der zentralen Nordschweiz – Interpretation aufgrund regionaler Seismik, Oberflächengeologie und Tiefbohrungen, rapport technique Nagra NTB 90-04, 1991

[44] Haldimann, P. et al. : Fluviatile Erosions- und Akkumulationsformen als Indizien jungpleistozäner und holozäner Bewegungen in der Nordschweiz und angrenzenden Gebieten, rapport technique Nagra NTB 84-16, 1984

[45] Haldimann, P. : Indizien für neotektonische Krustenbewegungen in der Nordschweiz, Eclogae geol. Helv. 80.2, 1987, pp. 509-519

[46] HSK : Review Approach and Comments on « Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites (PEGASOS Project) – Final Report », HSK-RT Final Report, (HSK-AN-5364), 2004

[47] Husen, S., Bachmann, C., Deichmann, N. : Locally Triggered Seismicity in the Central Swiss Alps Following the Large Rainfall Event of August 2005, Geophys. J. Int. 171, 2007, pp. 1126-1134

[48] Kanamori, H., Anderson, D.L. : *Theoretical Basis of Some Empirical Relations in Seismology*, Bull. Seism. Soc. Amer. 65, 1975, pp. 1073-1095

[49] Kastrup, U., Deichmann, N., Fröhlich, A., Giardini, D. : *Evidence for an Active Fault Below the Northwestern Alpine Foreland of Switzerland*, Geophys. J. Int. 169, 2007, pp. 1273-1288

[50] Laubscher, H.P. : The Eastern Jura : Relations Between Thin-skinned and Basement Tectonics, Local and Regional, Nagra Technischer Bericht NTB 85-53, Wettingen, 1985, pp. 36

[51] Mohammadioun, B., Serva, L. : *Stress Drop, Slip Type, Earthquake Magnitude, and Seismic Hazard*, Bull. Seism. Soc. Amer. 91(4), 2001, pp. 694-707

[52] Müller, W.H., Naef, H., Graf, H. : Geologische Entwicklung der Nordschweiz, Neotektonik und Langzeitszenarien Zürcher Weinland, rapport technique Nagra NTB 99-08, 2002

[53] Nagra : *Die Kernbohrung Beznau*, rapport technique Nagra NTB 84-34, 1984

[54] PEGASOS-1 : Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites (PEGASOS Project), Final Report, Text. Nagra, Wettingen, 2004, Volume 1

[55] PEGASOS-2 : Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites (PEGASOS Project), Final Report, Results. Nagra, Wettingen, 2004, Volume 2

[56] PEGASOS-4 : *Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites (PEGASOS Project)*, Final Report, Elicitation Summaries Seismic Source Characterisation (SP1). Nagra, Wettingen, 2004, Volume 4

[57] Roth, Ph., Pavoni, N., Deichmann, N. : Seismotectonics of the Eastern Swiss Alps and Evidence for Precipitation-induced Variations of Seismic Activity. Tectonophysics 207(1), 1992, 183-197

[58] Sprecher, C., Müller, W. H. : Geophysikalisches Untersuchungsprogramm Nordschweiz : Reflektionsseismik 82, rapport technique Nagra NTB 84-15, 1986

[59] Thouvenot, F., Fréchet, J., Tapponnier, P., Thomas, J-C., Le Brun, B., Ménard, G., Lacassin, R., Jenatton, L., Grasso, J-R., Coutant, O., Paul, A., Hatzfeld, D. : *The Ml-5.3 Epagny (French Alps) earthquake of 15 July 1996 : a long-awaited event on the Vuache fault*. Geophys. J. Int. 135, 1998, pp. 876–892

[60] Wells, D.L., Coppersmith, K.J. B. : New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement, Bull. Seism. Soc. Amer. 84(4), 1994, pp. 974-1002

[61] Spaceguard Survey Report. Nasa Ames Space Science Division, 1992 (cf. http://impact.arc.nasa.gov resp. http://128.102.38.40/impact/downloads/spacesurvey)

[62] Rapport sur la compatibilité avec l'environnement TB-042-RS080023, décembre 2008

[63] Un service du Bundesministerium der Justiz en collaboration avec juris GmbH : *Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordost-Atlantiks*, SR 0.814.293, 22.09.1992

[64] Ordonnance relative à l'organisation d'intervention en cas d'augmentation de la radioactivité VEOR, SR 520.17

[65] Ordonnance sur la protection en cas d'urgence au voisinage des installations nucléaires, SR 732.33

[66] United States Nuclear Regulatory Commission U.S. NRC NUREG/CR-2300 : A Guide to the Performance of Probabilistic Risk Assessments for Nuclear Power Plants : PRA Procedures Guide

[67] IAEA Safety Requirements NS-R-3 : Site *Evaluation for Nuclear Installations*, 2003

[68] Normdokumentation und Checklisten für Kantone, Regionen, Gemeinden und Betriebe der Zone 1 & 2 um die Kernkraftwerke : *Konzept für den Nofallschutz in der Umgebung der Kernanlagen*, agréé 27.11.2007, janvier 2006

[69] Ordonnance sur la distribution des comprimés d'iode à la population, SR 814.52

[70] Ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs OPAM, SR 814.012

[71] Schweizerische Erdgaswirtschaft und SKS Ingenieure AG : *Sicherheit von Erdgashochdruckanlagen*, Rahmenbericht, Revidierte Ausgabe 1997 und die in der Zwischenzeit gewonnenen Erfahrungen aus ähnlichen Projekten und aus Gesprächen mit den zuständigen Behörden, 1997

[72] Basler & Hofmann AG : Rahmenbericht Flüssiggas-Tankanlagen, zum Kurzbericht und zur Risikoermittlung im Hinblick auf die Störfallvorsorge, 1992 avec correction, avril 1993

[73] Verein Deutscher Ingenieure VDI : *Ausbreitungsrechnung für die Sicherheitsanalyse nach der Störfallverordnung*, Richtlinie VDI 3783, Blatt 2, Ermittlung der Ausbreitung schwerer Gase im Rahmen der Sicherheitsanalyse, VDI Verlag, Düsseldorf, 1990

[74] CARBURA, SKS Ingenieure AG : Rahmenbericht über die Sicherheit von Stehtankanlagen für flüssige Treib- und Brennstoffe, 2004

[75] National Transportation Safety Board NTSB : Aviation accident statistics, Table 5, *Accidents, Fatalities and Rates*, 1987 - 2006, 14 CFR 121, Scheduled and Nonscheduled Service (Airlines), www.ntsb.gov/aviation

[76] National Transportation Safety Board NTSB : Annual Review of Aircraft Accident Data, U.S. General Aviation, Calendar Year 2003, National Transportation Safety Board 01.2007

[77] Boeing : Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations 1959-2006, 2007

[78] Kaschuba, M. : *Hagel. Entstehung, Verbreitung, Schäden, Abwehr und Vorhersage,* 2006 http://www.marco-kaschuba.com/hagel.pdf

[79] Bader, S. : *Tornados*, Bericht KKW Beznau, Meteoschweiz, 01.10. 2008

[80] Dotzek, N. : An updated estimate of tornado occurence in Europe, 2003

[81] Entwurf der HSK-Richtlinie A-05 : Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA) : Qualität und Umfang, décembre 2008

[82] Kerntechnischer Ausschuss KTA : Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre, Sicherheitstechnische Regel des KTA, KTA 1508

[83] Vischer, D., L. : Die Geschichte des Hochwasserschutzes in der Schweiz. Von den Anfängen bis ins 19. Jh, 2003, In : Berichte des BWG, Serie Wasser, No. 5.

[84] Geo 7, Hunziker & Zarn und Partner, IUB Bern, Emch und Berger AG : *Extermhochwasser im Einzugsgebiet der Aare – EHW Aare*, Im Auftrag des Tiefbauamts und des Wasserwirtschaftsamtes des Kt. BE, 2008

[85] Petrascheck, A. : Einfluss der 2. JGK auf die Bestimmung der Wahrscheinlichkeit von Hochwasser der Aare an der Pegelstelle Murgenthal. Auftraggeber Kt. AG, Abt. Landschaft und Gewässer, 2008

[86] Bezzola, G.R., Hegg, C. : *Ereignisanalyse Hochwasser 2005*, Teil 1, Prozesse, *Schäden und erste Einordnung*. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidg. Forschungsanstalt WLS, Umweltwissen Nr. 0707.215 S, 2007

[87] Flussbau AG SAH : *Hydrologie Aare, Murgenthal – Koblenz, Hochwasserabflüsse*. Im Auftrag des Departements Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, 14.05.2008

[88] Bundesamt für Umwelt BAFU : Hydrometrische Jahrbücher, Abflussmessungen, Pegelstände, Stationsdokumentation, Längs- und Querprofile, sowie ältere Unterlagen zu Pegelständen und Hochwassermarken entlang der Aare, Reuss und Limmat, 2008

[89] Zschokke, T. : Die Überschwemmungen in der Schweiz im September 1852, 1855

[90] Klemesz, V. : *Dilettantism in Hydrology : Transition or Destiny?,* Water Resour. Res., 1986, 22 (9 p.), pp. 177-188.

[91] Richtlinien des BWG : *Sicherheit der Stauanlagen*, Version 1.1, novembre 2002

[92] Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich : Neubau Hydraulisches Kraftwerk Beznau, Modellversuche über die Strömungsverhänltnisse und die Geschiebebewegung im erweiterten Oberwasserkanal und bei der Dotieranlage, sowie über die Änderung des Wehrreglementes zur Verbesserung des Geschwemmseltransportes im

Unterwasser der Schiffahrtsschleuse (Im Auftrag der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG, Baden), juillet 1990

[93] Röthlisberger, G. : *Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz*, Berichte WSL, 1991, rapport no. 330

[94] Pfister, C. : Überschwemmungen und Niedrigwasser im Einzugsgebiet des Rheins 1500-2000, 2005 In : Klötzli, F. et al. : Der Rhein – Lebensader einer Region, Naturforschende Gesellschaft in Zürich, pp. 265-273.

[95] Konzept für die Stilllegung, TB-042-RS080025, décembre 2008

[96] Nagra : Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager, Geologische Grundlagen, Textband und Beilagenband, Nagra Technischer Bericht NTB 08-04, 2008

[97] Deichmann, N. : Structural and rheological implications of lower-crustal earthquakes below northern Switzerland. Phys. Earth Planet. Int. 69, 270-280, 1992

[98] Fraefel, M. : Geomorphic response to neotectonic activity in the Jura Mountains and the southern Upper Rhine Graben, Diss. Univ. de Bâle, 2008

[99] Graf, H.R. : Die Deckenschotter der zentralen Nordschweiz, Diss ETH No. 10205, 1993

[100] Jackli, H. : *Rutschung Schlosshalde*, Böttstein, février 1966

[101] Cornell, C.A. : *Engineering seismic risk analysis*, Bull. Seism. Soc. Am. 58, 1583-1606, 1968

[102] Cornell, C.A. : A *Probabilistic Analysis of Damage to Structures Under Seismic Loads*, Chapter 27 of Dynamic Waves in Civil Engineering, ed. by D. A. Howells et al., John Wiley & Sons Ltd., Londres, 1971

[103] United States Nuclear Regulatory Commission U.S. NRC NUREG/CR-6372 : Recommendations for Probalistic Seismic Hazard Analysis : Guidance on Uncertainty and Use of Experts, 1997

[104] Lacave, C. : Time Histories for Determination of Site Amplification Factors for magnitude 6 Using One-Dimensional TH-Method, PEGASOS TP3-TN-0151, 2002

[105] Koller, M. : PEGASOS Soil Profiles for Supporting Computations, PEGASOS TP3-TN-0166, 2002

[106] Te Kamp, L. : *Spannungen auf der Mandacherstörung*, Report No 10-09, Itasca Consultants GmbH, Gelsenkirchen (D), 2009

[107] Giardini, D., Wiemer, S., Fäh, D., Deichmann, N., Sellami, S., Jenni, S., the Hazard Team of the Swiss Seismological Service : *Seismic Hazard Assessment 2004*. Swiss Seismol. Serv., ETH Zurich (81 p.), 2004

[108] Interoil : *Projekt OPAL-Phase 2, Standortuntersuchungen in Beznau*, rapport IO08-TA0016 pour Nordostschweizerische Kraftwerke AG, 2009

[109] Thury, M. et al. : Geology and Hydrogeology of the Crystalline Basement of Northern Switzerland, Nagra NTB 93-01, 1994

Index des figures

Figure 2.2-1 : Vue d'ensemble du site et des environs 6

Figure 2.2-2 : Installations existantes sur l'île de Beznau (vue du sud) 8

Figure 2.2-3 : Installations existantes sur l'île de Beznau (vue du nord) 9

Figure 2.2-4 : Plan des installations existantes sur l'île de Beznau 10

Figure 2.2-5 : Plan avec aires de construction 13

Figure 2.3-1 : Plan de l'installation générique sur le site de Beznau 22

Figure 2.3-2 : Visualisation de l'installation EKKB sur l'île de Beznau (vue de l'ouest) 23

Figure 2.3-3 : Visualisation de l'installation EKKB sur l'île de Beznau (vue du nord) 24

Figure 3.2-1 : Situation géographique du site de Beznau 46

Figure 3.2-2 : Géographie des environs immédiats du site 47

Figure 3.2-3 : Répartition des communes autour du site 56

Figure 3.2-4 : Chiffres démographiques dans les secteurs à risque 58

Figure 3.2-5 : Zone de protection d'urgence 1 pour les centrales nucléaires de Beznau et de Leibstadt 59

Figure 3.2-6 : Secteurs à risque 1 et 4 de la zone de protection d'urgence 2 60

Figure 3.2-7 : Secteurs à risque 2 et 5 de la zone de protection d'urgence 2 60

Figure 3.2-8 : Secteur à risque 3 de la zone de protection d'urgence 2 61

Figure 3.2-9 : Chiffres démographiques dans les secteurs concentriques 62

Figure 3.2-10 : Évolution démographique dans le canton d'Argovie et dans le Bade-Wurtemberg 66

Figure 3.2-11 : Population transitoire dans les zones concentriques 69

Figure 3.2-12 : Occupation des sols à proximité immédiate du site 71

Figure 3.2-13 : Occupation des sols à l'intérieur de la zone de protection en cas d'urgence 2 en Suisse 72

Figure 3.2-14 : Représentation de l'occupation des sols à l'intérieur de la zone de protection en cas d'urgence 2, y compris en République fédérale d'Allemagne 73

Figure 3.3-1 : Plan d'ensemble des risques industriels 106

Figure 3.3-2 : Surpression hors du poste détente comptage gaz après explosion d'un mélange stœchiométrique gaz-air dans le local de gaz (480 m^3) de la station ... 117

Figure 3.3-3 : Distance de la limite inférieure d'explosibilité en fonction de la quantité dégagée spontanément ([72]) 120

Figure 3.3-4 : Risques présentés par les voies de transport 122

Figure 3.3-5 : Phases de vol et pourcentage d'accidents de 1996 à 2005. Le graphique utilisé ici est extrait de [8]. 134

Figure 3.4-1 : Répartition GEV des températures pour Bâle de 1981 à 2007, Buchs de 1984 à 2007 et Beznau de 1987 à 2007 basée sur la moyenne horaire mensuelle la plus basse (à gauche) et la plus haute (à droite) de la température [°C]..... 151

Figure 3.4-2 : Répartition normalisée de la température de bulbe humide pendant la ériode de 1987 à 2007 pour Bâle (en bleu) et Buchs (en vert)..... 154

Figure 3.4-3 : Répartition normalisée de l'humidité relative pendant la période de 1987 à 2007 pour Bâle et Buchs et pendant la période de 2002 à 2006 pour Leibstadt 155

Figure 3.4-4 : Répartition du risque de givrage en fonction de l'heure de la journée 157

Figure 3.4-5 : Rrépartition normalisée de la pression atmosphérique pour Bâle et Buchs sur la période de 1987 à 2007 158

Figure 3.4-6 : Répartition GEV des rafales de vent à Bâle de 1981 à 2007 à 16 m, à Buchs de 1984 à 2007 à 10 m, à Leibstadt de 1987 à 2007 à 10 et 110 m et au PSI de 1992 à 2007 à 70 m du sol [m/s]..... 161

Figure 3.4-7 : Répartition GEV de la moyenne maximale sur 10 min. de la vitesse du vent à Beznau de 1987 à 2007 à 10 m et 70 m, à Leibstadt de 1987 à 2007 à 10 et 110 m et au PSI de 1992 à 2007 à 70 m du sol [m/s]..... 162

Figure 3.4-8 : Répartition GEV de la moyenne horaire maximale de la vitesse du vent à Bâle de 1981 à 2007 à 16 m, à Buchs de 1984 à 2007 à 10 m, à Beznau de 1987 à 2007 à 10 m et 70 m, à Leibstadt de 1987 à 2007 à 10 et 110 m et au PSI de 1992 à 2007 à 70 m du sol [m/s]..... 163

Figure 3.4-9 : Série chronologique des vents violents mensuels maximaux au PSI, à 70 d'altitude, à partir du 01/1992 au niveau des événements sur 50, 100 et 200 ans..... 169

Figure 3.4-10 : Rose des vents de la direction principale du vent à Bâle, de 1981 à 2007 (année entière) 170

Figure 3.4-11 : Rose des vents de la direction principale du vent à Buchs, de 1984 à 2007 (année entière) 171

Figure 3.4-12 : Rose des vents de la direction principale du vent à Beznau, de 1987 à 2007, à 10 m du sol..... 172

Figure 3.4-13 : Rose des vents de la direction principale du vent à Beznau, de 1987 à 2007 à 70 m du sol (année entière)..... 173

Figure 3.4-14 : Rose des vents de la direction principale du vent au PSI, de 1992 à 2007 à 70 m du sol (année entière)..... 174

Figure 3.4-15 : Répartition annuelle de la direction du vent à Bâle, Buchs et Beznau, à 10 met 70 m du sol et à Leibstadt à 10 m et 70 m du sol..... 175

Figure 3.4-16 : Emplacement des mâts de mesure des sites de Beznau (à gauche) et du PSI (à droite) 176

Figure 3.4-17 : Répartition GEV des hauteurs de précipitations horaires [mm] pour Bâle, de 1981 à 2007, Buchs, de 1984 à 2007, Beznau, de 1987 à 2007 et Leibstadt, de 1987 à 2007 180

Figure 3.4-18 : Répartition GEV des hauteurs de précipitations journalières [mm] pour Bâle, de 1865 à 1980, Bâle, de 1981 à 2007, Buchs, de 1984 à 2007, Beznau, de 1987 à 2007 et Leibstadt, de 1987 à 2007 181

Figure 3.4-19 : Répartition GEV des hauteurs de précipitations à 5 jours [mm] pour Bâle, de 1865 à 1980, Bâle, de 1981 à 2007, Buchs, de 1984 à 2007, Beznau, de 1987 à 2007 et Leibstadt, de 1987 à 2007 182

Figure 3.4-20 : Hauteur totale maximum de neige tombée par an à Bâle, de 1931 à 2007 et à Buchs, de 1984 à 2007. 186

Figure 3.4-21 : Tornades (T) enregistrées en Suisse La lettre W désigne les tornades se formant au-dessus d'étendues d'eau, que l'on appelle souvent « trombes d'eau » dans le langage courant [79]. 195

Figure 3.4-22 : Activité des tornades en Suisse, le triangle bleu représentant la zone regroupant plus de 95% des observations de tornades effectuées en Suisse (données provenant de, carte de) 197

Figure 3.4-23 : Région du nord de la Suisse concernée par les tornades 198

Figure 3.4-24 : Répartition de la densité de foudroiement chaque année de 2000 à 2007. Le cercle noir matérialise le site de Beznau 202

Figure 3.4-25 : Répartition mensuelle de la densité de foudroiement durant la saison de faible activité de la foudre, de novembre à avril. Le cercle noir matérialise le site de Beznau 203

Figure 3.4-26 : Répartition mensuelle de la densité de foudroiement durant la saison de forte activité de la foudre, de mai à octobre. Le cercle noir matérialise le site de Beznau 204

Figure 3.4-27 : Moyenne des températures à Beznau sur la période 1865-2007 210

Figure 3.4-28 : Température moyenne à Bâle (en haut) et à Berne (en bas) sur la période d'environ 150 ans considérée. La ligne en rouge représente une moyenne glissante des données statistiques sur 15 ans. L'augmentation marquante due u réchauffement apparaît nettement à partir de 1980. 212

Figure 3.4-29 : Minima (à gauche) et maxima (à droite) journaliers moyens pour Bâle (en haut) et Berne (en bas). La ligne en rouge représente une moyenne glissante des données statistiques sur 15 ans. Les quatre graphiques montrent une augmentation à partir de 1980. 213

Figure 3.4-30 : Cumul annuel des précipitations à Bâle (en haut) et à Berne (en bas) durant les 150 dernières années. La ligne en rouge représente une moyenne glissante des données statistiques sur 15 ans. 214

Figure 3.4-31 : Scénarios d'évolution future des températures (Versant nord des Alpes) 217

Figure 3.4-32 : Scénarios d'évolution future des températures, DJF, données à partir de 1865 (voir Figure 3.4-27) 218

Figure 3.4-33 : Valeur caractéristique de la pression dynamique pour Beznau selon la norme SIA 261 225

Figure 3.4-34 : Exemple de comparaison entre les sites de Buchs et de Beznau. La température (à gauche) présente un coefficient de détermination élevé, de $R^2 = 0.99$ et la dépendance linéaire apparaît clairement. Pour le vent (à droite), le coefficient de détermination a pour valeur $R^2 = 0.67$ et aucune dépendance linéaire n'est visible. 229

Figure 3.4-35 : Exemple de fonction de densité de probabilité (pdf) et de fonction de répartition cumulée (cdf) 230

Figure 3.4-36 : Exemple de distribution GEV avec histogramme des maxima de blocs pris en compte dans le calcul statistique. 232

Figure 3.4-37 : Détermination de l'événement à 100 ans d'après une distribution GEV avec un bloc max d'1 an. L'événement à 100 ans correspond à $F(\theta)=0.99$. On obtient un niveau de retour θ égal à 38.73. 233

Figure 3.4-38 : Rose des vents de la direction des vents dominants, Bâle 1981-2007, mois par mois (janvier-mars, avril-juin, juillet-septembre, octobre-décembre) 245

Figure 3.4-39 : Rose des vents de la direction des vents dominants, Buchs 1984-2007, mois par mois (janvier-mars, avril-juin, juillet-septembre, octobre-décembre) 246

Figure 3.4-40 : Rose des vents de la direction des vents dominants, Beznau 1987-2007 à 10 m au-dessus du sol, mois par mois (janvier-mars, avril-juin, juillet-septembre, octobre-décembre) 247

Figure 3.4-41 : Rose des vents de la direction des vents dominants, Beznau 1987-2007 à 70 m au-dessus du sol, mois par mois (janvier-mars, avril-juin, juillet-septembre, octobre-décembre) 248

Figure 3.4-42 : Rose des vents de la direction des vents dominants, PSI 1992-2007 à 70 m au-dessus du sol, mois par mois (janvier-mars, avril-juin, juillet-septembre, octobre-décembre) 249

Figure 3.5-1 : Eaux de surface, emplacements des barrages régulateurs des grandes centrales hydroélectriques situées en amont et en aval 267

Figure 3.5-2 : Le bassin de réception de l'Aar 269

Figure 3.5-3 : Points de débordement et zones d'inondation potentiels entre canal de Hagneck, lac de Bienne et Soleure en cas d'événements de crues extrêmes ... 270

Figure 3.5-4 : Le pont routier en pierre au-dessus de l'Aar à Brugg avec les trois marques de crues de 1852, 1881 et 1876 [88] 271

Figure 3.5-5 : Crues historiques de l'Aar depuis l'an 1200 environ, caractérisation de chacune des crues sur la base des descriptions provenant des sources exploitées 272

Figure 3.5-6 : Crues annuelles aux stations de mesure des niveaux d'Aar-Döttingen, Stilli et Untersiggenthal (OFEV), complétées par les valeurs de débits de crues reconstituées sur la base des lectures de niveaux ou des marques de crues 274

Figure 3.5-7 : Diagramme de fréquences des crues annuelles aux stations de mesure des niveaux d'Aar-Brugg, Reuss-Mellingen et Limmat-Baden, complété par les valeurs de débits de crues reconstituées sur la base des lectures de niveaux ou des marques de crues. 275

Figure 3.5-8 : Diagramme de fréquence des crues annuelles de l'Aar à Untersiggenthal (1904 à 2007) complété des débits de crues historiques reconstitués (en orangé) et des débits déterminés à partir des scénarios (en violet). Les lignes rouges indiquent la zone probable des débits de crues ayant différentes annualités 278

Figure 3.5-9 : Courbes des débits de l'Aar à Untersiggenthal avant et après la CEJ II et moyennes (1904 à 2007) 281

Figure 3.5-10 : Courbes des débits de l'Aar à Untersiggenthal durant les années sèches (1921.1949 et 2003) et durant les années humides (1970 et 1999) 282

Figure 3.5-11 : Moyenne mensuelle du débit de la station de Aar-Untersiggenthal de 1904 à 2007 (1904 à 1934 : Döttingen, 1935 à 1974 : Stilli) et son amplitude de variation 283

Figure 3.5-12 : Diagramme de fréquence des minima du débit annuel de Aar-Untersiggenthal 284

Figure 3.5-13 : Fréquence des périodes d'étiage (débits < 300 m^3/s) de différentes durées de l'Aar à Untersiggenthal de 1904 à 2007 284

Figure 3.5-14 : Débits des années 1912, 1979 et 1994 qui correspondent à la courbe d'une année moyenne 285

Figure 3.5-15 : Courbe de la vague de crue pour $HQ_{10\,000}$ 290

Figure 3.5-16 : Hauteur d'eau maximale dans la zone de l'île de Beznau 291

Figure 3.5-17 : Débit de la Limmat en amont de la chambre de compensation après rupture de la centrale de Wettingen 292

Figure 3.5-18 : Hauteurs d'eau maximales en cas de rupture de la centrale de Wettingen 293

Figure 3.5-19 : Hauteur d'eau maximale après rupture séquentielle de KRA et KWWB 294

Figure 3.5-20 : Hauteur d'eau maximale en cas de rupture simultanée de KRA, KWWB et KWW 295

Figure 3.5-21 : Courbe de la vague de crue pour l'exemple de surcharge ($HQ_{10\,000} \times 1.2$)..... 298
Figure 3.5-22 : Hauteur d'eau maximale pour un débit de 5040m3/s..... 299
Figure 3.5-23 : Courbe à long terme de la température des eaux de l'Aar à Untersiggenthal pour les années froides (1970, 1987) et pour les années chaudes (1976, 2000 et 2003), et valeur moyenne (période analysée 1963-2007)..... 300
Figure 3.5-24 : Évolution de la température annuelle moyenne de l'Aar à Untersiggenthal (période : 1963–2007) 301
Figure 3.5-25 : Photos des archives municipales de Brugg, janvier 1905 : L'Aar est prise dans les glaces au niveau de Brugg [30]..... 302
Figure 3.5-26 : Nombre d'années avec gel des grands lacs et des cours d'eau en Suisse et données sur les hivers très froids (du 9e au 21e siècle), ainsi que sur le gel complets des lacs de Zurich et de Constance 310
Figure 3.5-27 : Gel des lacs du Plateau suisse (Mittelland) en comparaison avec l'Aar dans la région du « château d'eau » (Wasserschloss) 311
Figure 3.5-28 : Débits hivernaux moyens à la station de mesure Aar-Untersiggen..... 312
Figure 3.5-29 : Nombre de jours avec gel enregistrés par les stations de Berne et Bâle pendant le semestre d'hiver (du 1er octobre de l'année précédente au 31 mars)..... 313
Figure 3.5-30 : Nombre de jours avec une température moyenne < -10 °C aux stations de Berne et Bâle pendant le semestre d'hiver (du 1er octobre de l'année précédente au 31 mars) 313
Figure 3.5-31 : Somme des températures moyennes journalières négatives (NDD) avec tendance et moyennes trimestrielles du débit 314
Figure 3.5-32 : Degrés-jours de gel avec tendance, moyenne glissante et température hivernale minimale 315
Figure 3.5-33 : Durée des degrés-jours de gel minimaux avec tendance, moyenne glissante et températures hivernales minimales 316
Figure 3.6-1 : Isohypses de la surface supérieure du socle rocheux, région de Beznau 319
Figure 3.6-2 : Carte au 1:5000, isopièzes du niveau des eaux souterraines, juillet 2008 322
Figure 3.6-3 : Infiltrations / régime du milieu récepteur 323
Figure 3.6-4 : Courbes du niveau dela surface des eaux souterraines dans des stations de pompages sélectionnées, 1975-2007 326
Figure 3.6-5 : Carte des captages d'eau souterraine dans la vallée inférieure de l'Aar (état juin 2008)..... 329
Figure 3.6-6 : Carte des points de mesure des températures et des paramètres chimiques dans les environs de la centrale nucléaire de Beznau 331
Figure 3.6-7 : Caractéristiques chimiques des eaux de l'Aar près de Felsenau, partie 1 333

Figure 3.6-8 : Caractéristiques chimiques des eaux de l'Aar près de Felsenau, partie 2 334
Figure 3.6-9 : Zones chimiques, dureté carbonatée et teneur en oxygène 335
Figure 3.6-10 : Caractéristiques des eaux souterraines à la station de pompage de Beznau, partie 1 337
Figure 3.6-11 : Caractéristiques chimiques des eaux souterraines à la station de pompage de Beznau, partie 2 338
Figure 3.6-12 : Courbes de température aux points de mesure de l'Aar T 22 et Untersiggenthal, 1984-2007 340
Figure 3.6-13 : Carte des points de mesure de température aux abords de la KKB 343
Figure 3.6-14 : Indications sur les amplitudes et le décalage des températures 344
Figure 3.6-15 : Courbes de température de la rivière et des eaux souterraines sur des points de mesure sélectionnés 1968-2007 345
Figure 3.6-16 : Profil transversal des bâtiments existants 350
Figure 3.6-17 : Profil transversal de l'EKKB 351
Figure 3.6-18 : Extrait de la carte des eaux souterraines du canton d'Argovie 356
Figure 3.6-19 : Isohypses de la surface rocheuse / de la limite inférieure des alluvions 361
Figure 3.6-20 : Répartition des valeurs de perméabilité dans le modèle 363
Figure 3.6-21 : Résultats de l'analyse du modèle hydraulique 365
Figure 3.6-22 : Épaisseur de la nappe souterraine par moyennes eaux, selon le modèle, dans la région de l'île de Beznau 366
Figure 3.6-23 : Isopièzes de la surface de la nappe souterraine par moyennes eaux selon le modèle (en noir), en comparaison avec la carte des eaux souterraines (en bleu). Voir aussi Figure 3.6-18 367
Figure 3.6-24 : Carte au 1:5000 avec emplacements du puits Nano (HB), du puits de secours (NB), des puits d'essai VB1 et VB2, ainsi que des points d'observation 368
Figure 3.6-25 : Essai de pompage de dix jours dans le puits de secours en février 1988 (Q = 240 l/s), comparaison entre les courbes mesurées et simulées du niveau de la nappe souterraine 370
Figure 3.6-26 : Isopièzes de la surface de la nappe souterraine par étiage 372
Figure 3.6-27 : Isopièzes de la surface de la nappe souterraine par moyennes eaux et fonctionnement de secours après 30 jours (500l/s) 374
Figure 3.6-28 : Courbes du niveau de la nappe souterraine dans les puits de secours (état moyennes eaux après réalisation du projet) 375
Figure 3.6-29 : Isopièzes de la surface de la nappe souterraine par étiage et fonctionnement de secours après 30 jours (500 l/s) 377

Figure 3.6-30 : Isopièzes de la surface de la nappe souterraine par moyennes eaux en cas de perte de la retenue (en noir), en comparaison avec la carte des eaux souterraines (en bleu) 379
Figure 3.6-31 : Isopièzes de la surface de la nappe souterraine par moyennes eaux, en cas de disparition de la retenue ; pompage dans les puits de secours existant et nouveau : 500 l/s au total (état après 30 jours) 380
Figure 3.6-32 : Propriétés chimiques des eaux souterraines à la SP Unterwald, Döttingen, partie 1 386
Figure 3.6-33 : Propriétés chimiques des eaux souterraines à la SP Unterwald, Döttingen, partie 2 387
Figure 3.6-34 : Propriétés chimiques des eaux souterraines à la SP Beim Schulhaus, Böttstein, partie 1 388
Figure 3.6-35 : Propriétés chimiques des eaux souterraines à la SP Beim Schulhaus, Böttstein, partie 2 389
Figure 3.6-36 : Propriétés chimiques des eaux souterraines dans le puits 1001, Kleindöttingen, partie 1 390
Figure 3.6-37 : Propriétés chimiques des eaux souterraines dans le puits 1001, Kleindöttingen, partie 2 391
Figure 3.6-38 : Courbes de température de l'Aar, point de mesure T22, canal supérieur, 1968-2007 392
Figure 3.6-39 : Courbes de température de l'Aar, point de mesure T4, en dessous de la KKB, 1976-2007 392
Figure 3.6-40 : Courbes de température dans le tube d'observation 518, 1968-2007 393
Figure 3.6-41 : Courbes de température à la station de pompage de l'Unterwald, Döttingen (11.16), 1976-2007 393
Figure 3.6-42 : Courbes de température dans le tube d'observation 553T, 1968-2007 394
Figure 3.6-43 : Courbes de température dans le tube d'observation 555H, 1968-2007 394
Figure 3.6-44 : Courbes de température dans le tube d'observation 558, 1968-2007 395
Figure 3.6-45 : Courbes de température dans le puits 1001, Kleindöttingen, 1968-2007 395
Figure 3.6-46 : Courbes de température à la SP Beim Schulhaus, Kleindöttingen (11.08), 1968-2007 396
Figure 3.7-1 : Géomorphologie de la vallée inférieure de l'Aar 398
Figure 3.7-2 : Profil du forage de Beznau (version simplifiée de [53]) 400
Figure 3.7-3 : Le chevauchement de Mandach à l'ouest de la vallée de l'Aar (tiré de [96], complété) 403

Figure 3.7-4 : Vue d'ensemble des forages existants et des travaux de terrain effectués dans le cadre du projet OPAL 406

Figure 3.7-5 : Nouvelle interprétation des isohypses du fond rocheux dans la région de Beznau, à partir des données existantes et des résultats du programme d'investigations sur site OPAL. Les deux points rouges indiquent l'emplacement des bâtiments des réacteurs de KKB 1 et 2 [108] 408

Figure 3.7-6 : Carte de 1984 des isohypses du socle rocheux de Beznau [44] 413

Figure 3.7-7 : Carte des isohypses du sommet du Lias avec le tracé du chevauchement de Mandach au sud de l'île de Beznau à partir des données disponibles et des résultats du programme de recherches sur le site OPAL. Les deux points rouges marquent l'emplacement des bâtiments des réacteurs de la KKB 1 et 2 [108] 414

Figure 3.7-8 : Extrait de la carte des eaux souterraines du canton d'Argovie 416

Figure 3.7-9 : Carte tectonique synoptique (tirée de [96], complétée) 417

Figure 3.7-10 : Structures du socle (tiré de Nagra NTB 08-04 [96]) 419

Figure 3.7-11 : Modélisation numérique du terrain de la région de l'Unterwald 421

Figure 3.7-12 : Mouvements verticaux récents de la croûte terrestre (tiré de [52]) 422

Figure 3.7-13 : Orientation des contraintes récentes (tiré de [96]) 424

Figure 3.7-14 : Sismicité et répartition de la profondeur des foyers (tiré de [96]) 426

Figure 3.7-15 : Profil géologique de la zone de construction avec le modelé des couches de roches meubles et l'emplacement de la surface du socle rocheux 427

Figure 3.7-16 : Structure schématique du sol de fondation avec épaisseurs des couches 429

Figure 3.7-17 : Module de cisaillement normé des échantillons des alluvions de Beznau comme fonction de la dilatation due au cisaillement 433

Figure 3.7-18 : Rapport d'amortissement des échantillons d'alluvions de Beznau comme fonction de la dilatation due au cisaillement 433

Figure 3.7-19 : Points de mesure des eaux souterraines et isopièzes du niveau de la nappe (11.07.2008) 435

Figure 3.7-20 : Carte de l'aléa sismique du Service Sismologique Suisse [107]. Sont représentées les accélérations horizontales attendues (en m/s^2) pour une fréquence de 5 Hz et une périodicité de 10 000 ans 438

Figure 3.7-21 : Courbe d'aléa pour Beznau, composantes horizontales pour la roche, la surface, la PGA. La distribution des incertitudes est représentée par des courbes de valeurs moyennes, médianes et fractales de 5%, 16%, 84% et 95% 445

Figure 3.7-22 : Spectre d'aléa ('Uniform Hazard Spectrum') pour Beznau, composantes horizontales, roche pour une probabilité annuelle de dépassement de 10^{-4} et 5% d'atténuation (critique). 445

Figure 3.7-23 : Valeurs moyennes de la PGA pour des roches dures (3000 m/s) avec une probabilité annuelle de dépassement de 10^{-4} dans la partie centrale et orientale des États-Unis (calculées sur la base d'une carte d'aléa USGS). Les résultats d'aléa de PEGASOS correspondent à la codification jaune. 446

Figure 3.7-24 : Extrait de la base de données PEGASOS de caractérisation des sources aux environs de Beznau (« modèle sismo-tectonique »). 450

Figure 3.7-25 : Architecture du sous-sol de la région de l'île de Beznau sur un détail de la section de sismique réflexion 82NX40 (nord : à gauche). On distingue nettement la séquence mésozoïque (au-dessus du réflecteur signalé en bleu), le chevauchement de Mandach (en jaune) et le soubassement, où l'on entrevoit les failles bordières du fossé permo-carbonifère (en rouge). Le fossé, bordé par des réflexions sédimentaires plongeant en pente abrupte en direction du sud, est reconnaissable dans la partie droite. 454

Figure 3.7-26 : Distributions des profondeurs de foyer pour la magnitude 5 dans le nord de la Suisse. Développées par les quatre groupes d'experts du SP1 (caractérisation des sources) 456

Figure 3.7-27 : Contributions des dix principales sources à l'aléa moyen calculé pour Beznau selon le modèle de sources du groupe d'experts EG1a. (composante horizontale, surface, rocher, PGA). Noter en particulier les contributions à l'aléa représentées par les zones hôtes modélisées à titre de variantes, E3A et E3B (voir Figure 3.7-29 et Figure 3.7-30). 457

Figure 3.7-28 : Distributions de probabilité de la magnitude maximale pour les zones sources du nord de la Suisse. Développées par les quatre groupes d'experts du SP1 (caractérisation des sources). 459

Figure 3.7-29 : Exemple d'un modèle de zonage du groupe d'experts EG1a. Dans cette variante, la zone du fossé permo-carbonifère est délimitée en tant que zone source distincte (E3b) (PC Active : Yes, pondération 0.3, voir Figure 3.7-30). L'effet de cette variante sur l'aléa obtenu, en comparaison du modèle sans fossé permo-carbonifère, se déduit de la Figure 3.7-27 460

Figure 3.7-30 : Modèle de zonage des sources du groupe d'experts EG1a présenté sous formes de branches pondérées d'un arbre logique. Un premier embranchement (tout à gauche) sépare les modèles qui comprennent une réactivation inverse des failles bordières du fossé permo-carbonifère (« PC Active : Yes ») et les autres (« PC Active : No »). 461

Figure 3.7-31 : Modèles 1-3 des vitesses des ondes de cisaillement au site de la KKB selon l'estimation des quatre experts du SP3 (effet de site) de PEGASOS, en noir [105]. Le modèle 1 et le profil traitillé en bleu ont servi d'input pour la KKB et l'EKKB respectivement en vue des calculs provisoires d'amplification de résonance (Figure 3.7-32). Le profil EKKB provisoire calculé à cet effet considère seulement les épaisseurs des autres couches du nouveau site. 463

Figure 3.7-32 : Comparaison provisoire des fonctions d'amplification (moyennes) pour les sites KKB (courbe rouge) et EKKB (courbe bleue). 464

Figure 3.7-33 : Contributions à l'aléa sismique pour le site de Beznau (roche) en fonction de la magnitude, de la distance et de ε pour une amplitude d'accélération horizontale de 0.05 g et une fréquence de 0.5 Hz 466

Figure 3.7-34 : Contributions à l'aléa sismique pour le site de Beznau (roche) en fonction de la magnitude, de la distance et de ε pour une amplitude d'accélération horizontale de 0.7 g et une fréquence de 100 Hz (PGA) 466

Figure 3.7-35 : Réactivation de failles dans le socle rocheux :ligne sismique 83-NF-55 dans la zone CMP 700 (NTB 08-04). 468

Figure 3.7-36 : La ligne Nagra 82NX40, non interprétée (en haut) et interprétée (en bas). En rouge, dans l'encadré, le tracé de la faille de Mandach projeté sur la base du Quaternaire. 470

Figure 3.7-37 : La ligne Nagra 82NF50, non interprétée (en haut) et interprétée (en bas) 471

Figure 3.7-38 : Formations géologiques considérées dans le modèle numérique avec leurs paramètres matériels. Le groupe anhydrite et le Gipskeuper (voir chapitre 3.7.1, Figure 3.7-2) ont été modélisés comme des unités déformables de manière ductile, toutes les autres lithologies comme déformables de manière cassante. 472

Figure 3.7-39 : Structure réticulée des éléments déformables (détail) 472

Figure 3.7-40 : Vecteurs de mouvement au voisinage de la surface de chevauchement au moment de la rupture de celle-ci (en haut) et sensiblement plus tard (en bas) pour un angle de frottement de 10°. 473

Figure 3.7-41 : Variation de la contrainte de cisaillement moyenne intégrée sur la surface de chevauchement, en fonction du raccourcissement calculé par le modèle dans le cas d'un angle de frottement de 10° (à gauche) ou de 15° (à droite). 473

Figure 3.7-42 : Spectres de réponse en accélération des séismes enregistrés à Beznau (instrumentation sur rocher) depuis 1969. Composante horizontale, amortissement critique 5% 476

Figure 3.8-1 : Lignes à haute tension dans la région de Beznau, état actuel 484

Figure 3.8-2 : Analyse de la statistique d'indisponibilité pour le site de Beznau entre le 01.01.1998 et le 10.01.2008 487

Figure 5.3-1 : La fonction « gestion des procédures d'autorisation » et ses interfaces pour la phase « autorisation générale » du projet 514

Index des tableaux

Tableau 2.3-1 : Dimensions des principaux bâtiments de l'installation générique 17

Tableau 2.4-1 : Récapitulatif des événements extérieurs pouvant engendrer des accidents ou des effets externes. 36

Tableau 2.4-2 : Événements extérieurs et conséquences (seuls les événements avec des conséquences identifiées sont listés ci-après) 38

Tableau 3.2-1 : Population des communes de la zone 1 54

Tableau 3.2-2 : Répartition démographique dans un rayon de 20 km 63

Tableau 3.2-3 : Densité moyenne de la population au voisinage de Beznau (y compris le territoire allemand) 64

Tableau 3.2-4 : Agglomérations dans un rayon de 20 km 64

Tableau 3.2-5 : Population transitoire à prendre également en compte dans le rayon de 20 km en Suisse 68

Tableau 3.2-6 : Population transitoire à prendre également en compte dans le rayon de 20 km en Allemagne 68

Tableau 3.2-7 : Population transitoire à prendre également en compte dans le rayon de 20 km par secteurs 69

Tableau 3.2-8 : Chiffres actuels de la population des communes situées dans un rayon de 20 km 75

Tableau 3.2-9 : Évolution de la population des communes dans un rayon de 20 km 82

Tableau 3.2-10 : Lieux de travail et personnes actives dans un rayon de 20 km 88

Tableau 3.2-11 : Occupation des sols dans un rayon de 10 km (ha) 94

Tableau 3.2-12 : Occupation des sols dans un rayon de 20 km (ha) 97

Tableau 3.3-1 : Entreprises industrielles situées dans un rayon de 2 km et potentiellement dangereuses pour le site de l'EKKB qui sont soumises à l'Ordonnance sur les accidents majeurs. La numérotation se réfère au plan d'ensemble « Risques industriels », Fig. 3.3-1 107

Tableau 3.3-2 : Entreprises industrielles situées dans un rayon de 2 à 8 km et potentiellement dangereuses pour le site de l'EKKB qui sont soumises à l'Ordonnance sur les accidents majeurs. La numérotation se réfère au plan d'ensemble « Risques industriels », Fig. 3.3-1 108

Tableau 3.3-3 : Entreprises industrielles non dangereuses situées dans un rayon de 2 à 8 km qui sont soumises à l'Ordonnance sur les accidents majeurs. La numérotation se réfère au plan d'ensemble « Risques industriels », Fig. 3.3-1. 109

Tableau 3.3-4 : Densité relative, densité et température d'inflammation du gaz naturel, du propane et de l'air dans des conditions normales 113
Tableau 3.3-5 : Taux de défaillance d'une conduite de 28"/70 bars ayant une épaisseur de paroi de 5.6 mm 115
Tableau 3.3-6 : Rayons calculés pour la boule de feu pour 46 t et 20 t de propane liquide dégagé 121
Tableau 3.3-7 : Fréquence de chute d'aéronefs civils, militaires et d'hélicoptères 128
Tableau 3.3-8 : Couloirs aériens examinés et nombre de vols 132
Tableau 3.3-9 : Mouvements aériens en 2007 136
Tableau 3.3-10 : Données d'entrée et résultats pour le modèle sans approche coudée par le nord 137
Tableau 3.3-11 : Données d'entrée et résultats pour le modèle avec approche coudée par le nord 138
Tableau 3.4-1 : Stations et paramètres utilisés 143
Tableau 3.4-2 : Valeurs horaires maximales de la vitesse du vent par mois. Formation des valeurs horaires à différentes périodes à l'exemple du site de Beznau (altitude : 10 m au-dessus du niveau de la mer) entre 1988 et 2007 (unité : [m/s]) 144
Tableau 3.4-3 : Écarts entre Bâle et Buchs, de 1984 à 2005 145
Tableau 3.4-4 : Écarts de température par mois entre Bâle et Buchs, de 1984 à 2005 146
Tableau 3.4-5 : Écarts de température au thermomètre mouillé par mois entre Bâle et Buchs, de 1984 à 2005 146
Tableau 3.4-6 : Écarts entre Bâle et Beznau, de 1987 à 2005 147
Tableau 3.4-7 : Écarts entre Buchs et Beznau, de 1987 à 2005 147
Tableau 3.4-8 : Écarts entre Buchs et Leibstadt, de 2002 à 2006 147
Tableau 3.4-9 : Écarts entre le PSI et Beznau, de 1992 à 2005 147
Tableau 3.4-10 : Maxima historiques des températures 148
Tableau 3.4-11 : Minima historiques des températures 148
Tableau 3.4-12 : Bâle, 1865-1980, températures max / min [°C] 149
Tableau 3.4-13 : Bâle, 1981-2007, moyenne températures max / min sur 10-min [°C] 149
Tableau 3.4-14 : Beznau, à 10 m du sol, 1987-2007, moyenne températures max / min sur 10-min [°C] 149
Tableau 3.4-15 : Beznau à 70 m du sol, 1987-2007, moyenne températures max / min sur 10-min [°C] 149

Tableau 3.4-16 : Leibstadt capteur 1, à 110 m du sol, 1987-2007, moyenne températures max / min sur 10-min [°C] 149
Tableau 3.4-17 : Bâle, 1981-2007, valeur horaire moyenne la plus basse / la plus haute de la température [°C] 150
Tableau 3.4-18 : Buchs, 1984-2007, valeur horaire moyenne la plus basse / la plus haute de la température [°C] 150
Tableau 3.4-19 : Beznau, à 10 m du sol, 1987-2007, valeur horaire moyenne la plus basse / la plus haute de la température [°C] 150
Tableau 3.4-20 : Beznau, à 70 m du sol, 1987-2007, valeur horaire moyenne la plus basse / la plus haute de la température [°C] 150
Tableau 3.4-21 : Leibstadt capteur 1, 1987-2007, valeur horaire moyenne la plus basse / la plus haute de la température [°C] 150
Tableau 3.4-22 : Paramètres de la répartition GEV 152
Tableau 3.4-23 : Moyenne horaire attendue la plus basse (tableau du haut) / la plus haute (tableau du bas) de la température [°C] pour Bâle, Buchs et Beznau pour différentes périodes de retour. L'intervalle de confiance de 95% est indiqué entre les crochets 153
Tableau 3.4-24 : Nombre d'heures de risque d'un givrage par mois [h] 156
Tableau 3.4-25 : Pourcentages de risque d'un givrage par mois [] 156
Tableau 3.4-26 : Pourcentages sur l'année de risque d'un givrage [%] 156
Tableau 3.4-27 : Pressions atmosphériques maximales / minimales historiques 158
Tableau 3.4-28 : Vents violents maximaux historiques 159
Tableau 3.4-29 : Vents violents maximaux mensuels à Bâle, entre 1981 et 2007 à 16 m du sol, à Buchs entre 1984 et 2007 à 10 m du sol, à Leibstadt entre 1987 et 2007 à 10 et 110 m du sol et au PSI entre1992 et 2007 à 70 m du sol [m/s] ... 159
Tableau 3.4-30 : Moyenne horaire maximale de la vitesse du vent à Bâle de 1981 à 2007 à 16 m, à Buchs de 1984 à 2007 à 10 m, à Beznau de 1987 à 2007 à 10 m et 70 m, à Leibstadt,de 1987 à 2007 à 10 et 110 m et au PSI de 1992 à 2007 à 70 m du sol [m/s] 160
Tableau 3.4-31 : Paramètres de la répartition GEV 162
Tableau 3.4-32 : Paramètres de la répartition GEV 163
Tableau 3.4-33 : Paramètres de la répartition GEV 164
Tableau 3.4-34 : Vents violents maximaux attendus à Bâle, Buchs, Leibstadt et au PSI pour diverses périodicités et pression du vent attendue p_W. (IC = intervalle de confiance) 165

Tableau 3.4-35 : Moyenne maximale attendue sur 10 min. à Beznau à 10 m et 70 m, Leibstadt à 10 m et 110 m et au PSI à 70 m du sol pour diverses périodicités et pression du vent attendue p_W. (IC = intervalle de confiance) 166

Tableau 3.4-36 : Moyenne horaire maximale attendue à Bâle à 10 m, Buchs à 10 m, Beznau à 10 m et 70 m, Leibstadt à 10 m et 110 m et au PSI à 70 m du sol pour diverses périodicités et pression du vent attendue (IC = intervalle de confiance) 167

Tableau 3.4-37 : Probabilité d'occurrence d'un événement extrême 169

Tableau 3.4-38 : Maximum horaire historique des hauteurs de précipitations [mm] 176

Tableau 3.4-39 : Hauteurs de précipitations journalières maximales[mm] 177

Tableau 3.4-40 : Hauteurs de précipitations journalières maximales sur 5 jours [mm] 177

Tableau 3.4-41 : Hauteurs de précipitations mensuelles minimales / maximales [mm] 178

Tableau 3.4-42 : Hauteurs de précipitations mensuelles moyennes [mm] 178

Tableau 3.4-43 : Nombre moyen d'heures par mois avec une hauteur de précipitations ≥ 0.1mm [h] 179

Tableau 3.4-44 : Nombre moyen de jours par mois avec une hauteur de précipitations ≥ 1.0 mm [jours] 179

Tableau 3.4-45 : Paramètres de la répartition GEV 180

Tableau 3.4-46 : Paramètres de la répartition GEV 181

Tableau 3.4-47 : Paramètres de la répartition GEV 182

Tableau 3.4-48 : Somme maximale attendue des précipitations [mm] pour Bâle, Buchs et Beznau pour diverses périodicités. La série des données étant succincte, la somme des précipitations dégagée pour des périodes de 1000 et 10 000 ans s'accompagne d'incertitudes significatives. 183

Tableau 3.4-49 : Hauteur de précipitations attendue à Bâle, Buchs, Beznau et Leibstadt à différentes périodicités pour une moyenne sur 5 minutes [mm] pour différents rapports de 5 min/1 heure 184

Tableau 3.4-50 : Hauteurs totales de neige historiques 186

Tableau 3.4-51 : Hauteur totale de neige attendue et charges de neige à Bâle pour diverses périodicités. (IC = intervalle de confiance). Pour la charge volumétrique moyenne de la neige, l'on admet 3 kN/m^3 selon la norme SIA 261 : 2003 186

Tableau 3.4-52 : Nombre d'années de grêle (année de grêle = 1 chute de grêle dans l'année) au voisinage de Beznau durant la période de 1961 à 2004 187

Tableau 3.4-53 : Vitesse de chute et énergie d'impact de grêlons en fonction de leur taille [78] 188

Tableau 3.4-54 : Rayonnement solaire moyen horaire [W/m^2], Buchs, de 1984 à 2007 189

Tableau 3.4-55 : Échelle de Fujita servant à décrire la puissance de tornades en fonction de la nature des dégâts 191
Tableau 3.4-56 : L'échelle de TORRO servant à décrire la puissance des tornades en Europe en fonction des vitesses de vent 192
Tableau 3.4-57 : Observations de tornades en Suisse de 1890 à 2008 196
Tableau 3.4-58 : Historique des observations de tornades dans la région de Beznau et estimations de la pression du vent pW 200
Tableau 3.4-59 : Tempêtes violentes historiques en Suisse fn et pressions du vent estimées pW 200
Tableau 3.4-60 : Densité de foudroiement autour de Beznau pour différentes grandeurs de zones autour du site 205
Tableau 3.4-61 : Fréquence des catégories de diffusion A à F. Toutes les heures ont été prises en compte de 02/1987 à 12/2007..... 207
Tableau 3.4-62 : Nombre d'heures par mois pour chaque classe de diffusion de 02/1987 à 12/2007..... 207
Tableau 3.4-63 : Nombre moyen d'heures par mois pour chaque classe de diffusion de jour (de 6h à 18h TU) 208
Tableau 3.4-64 : Nombre moyen d'heures par mois pour chaque classe de diffusion de nuit (de 18h à 6h TU 208
Tableau 3.4-65 : Moyennes mensuelles des températures maximales / minimales [°C] sur la période 1865-2008 (Beznau, 10 m au-dessus du sol)..... 211
Tableau 3.4-66 : Moyenne et écart-type mensuels [°C] sur la période 1865-2008 (Beznau, 10 m au-dessus du sol) 211
Tableau 3.4-67 : Réchauffement des différentes parties de la Suisse au cours du 20e siècle..... 211
Tableau 3.4-68 : Scénario mondial. Réchauffement climatique moyen par rapport à 1990. La valeur médiane / moyenne est indiquée avec, entre parenthèses, l'intervalle de confiance à 95% de toutes les simulations..... 215
Tableau 3.4-69 : Scénario régional d'augmentation de la température moyenne par rapport à 1990 pour le versant nord des Alpes suisses. Le tableau montre la valeur médiane / moyenne, l'intervalle de confiance à 95% de toutes les simulations étant indiqué entre parenthèses. 215
Tableau 3.4-70 : Scénario régional d'augmentation relative des précipitations annuelles en % par rapport à 1990 pour le versant nord des Alpes suisses. Le tableau montre la valeur médiane / moyenne, l'intervalle de confiance à 95% étant indiqué entre parenthèses. Les signes représentent une diminution (-) ou une augmentation (+) 216
Tableau 3.4-71 : Paramètres relatifs à la sécurité résultant de l'analyse..... 226
Tableau 3.4-72 : Bâle 1865-1980, maxima et minima journaliers moyens de température [°C]. 234

Tableau 3.4-73 : Bâle 1865-1980, maxima et minima journaliers moyens de température [°C]. 234
Tableau 3.4-74 : Buchs 1984-2007, maxima et minima journaliers moyens de température [°C] 235
Tableau 3.4-75 : Beznau, 1987-2007, maxima et minima journaliers moyens de température [°C] à 10 m au-dessus du sol 235
Tableau 3.4-76 : Beznau, 1987-2007, maxima et minima journaliers moyens de température [°C] à 70 m au-dessus du sol 235
Tableau 3.4-77 : Leibstadt, capteur 1, 1987-2007, maxima et minima journaliers moyens de température [°C] à 10 m au-dessus du sol 235
Tableau 3.4-78 : Bâle 1865-1980, maxima et minima mensuels moyens de température [°C] .. 235
Tableau 3.4-79 : Bâle 1865-1980, maxima et minima mensuels moyens de température [°C] .. 235
Tableau 3.4-80 : Buchs 1984-2007, maxima et minima mensuels moyens de température [°C] 236
Tableau 3.4-81 : Beznau, 1987-2007, maxima et minima mensuels moyens de température [°C] à 10 m au-dessus du sol) 236
Tableau 3.4-82 : Beznau, 1987-2007, maxima et minima mensuels moyens de température [°C] à 70 m au-dessus du sol) 236
Tableau 3.4-83 : Leibstadt, capteur 1, 1987-2007, maxima et minima mensuels moyens de température [°C] à 10 m au-dessus du sol 236
Tableau 3.4-84 : Bâle 1981-2007, valeur moyenne et écart-type par mois [°C] 237
Tableau 3.4-85 : Buchs 1984-2007, valeur moyenne et écart-type par mois [°C]..... 237
Tableau 3.4-86 : Beznau, 1987-2007, valeur moyenne et écart-type par mois [°C] à 10 m au-dessus du sol 237
Tableau 3.4-87 : Beznau, 1987-2007, valeur moyenne et écart-type par mois [°C] à 70 m au-dessus du sol 237
Tableau 3.4-88 : Leibstadt, capteur 1, 1987-2007, valeur moyenne et écart-type par mois [°C] à 10 m au-dessus du sol: 237
Tableau 3.4-89 : Bâle 1865-1980, maxima journaliers moyens sur un mois [°C]..... 237
Tableau 3.4-90 : Bâle 1981-2007, maxima journaliers moyens sur un mois [°C]..... 238
Tableau 3.4-91 : Buchs 1984-2007, maxima journaliers moyens sur un mois [°C] 238
Tableau 3.4-92 : Beznau 1987-2007, maxima journaliers moyens sur un mois [°C], 10 m au-dessus du sol 238
Tableau 3.4-93 : Beznau 1987-2007, maxima journaliers moyens sur un mois [°C], 70 m au-dessus du sol 238
Tableau 3.4-94 : Leibstadt, capteur 1, 1987-2007, maxima journaliers moyens sur un mois [°C], 10 m au-dessus du sol 238
Tableau 3.4-95 : Bâle 1865-1980, minima journaliers moyens sur un mois [°C] 238

Tableau 3.4-96 : Bâle 1981-2007, minima journaliers moyens sur un mois [°C] 239
Tableau 3.4-97 : Buchs 1984-2007 minima journaliers moyens sur un mois [°C] 239
Tableau 3.4-98 : Beznau, 10 m au-dessus du sol, minima journaliers moyens sur un mois [°C], sur la période 1987-2007 239
Tableau 3.4-99 : Beznau, 70 m au-dessus du sol, minima journaliers moyens sur un mois [°C], sur la période 1987-2007 239
Tableau 3.4-100 : Leibstadt, capteur 1, 10 m au-dessus du sol, minima journaliers moyens sur un mois [°C], sur la période 1987-2007 239
Tableau 3.4-101 : Bâle 1865-1980, maxima mensuels moyens [°C] 239
Tableau 3.4-102 : Bâle 1981-2007, maxima mensuels moyens [°C] 240
Tableau 3.4-103 : Buchs 1984-2007, maxima mensuels moyens [°C] 240
Tableau 3.4-104 : Beznau, 10 m au-dessus du sol, maxima mensuels moyens [°C] sur la période 1987 à 2007 240
Tableau 3.4-105 : Beznau, 70 m au-dessus du sol, maxima mensuels moyens [°C] sur la période 1987 à 2007 240
Tableau 3.4-106 : Leibstadt, capteur 1, 10 m au-dessus du sol, maxima mensuels moyens [°C], sur la période 1987-2007 240
Tableau 3.4-107 : Bâle 1865-1980, minima mensuels moyens [°C] 241
Tableau 3.4-108 : Bâle 1981-2007, minima mensuels moyens [°C] 241
Tableau 3.4-109 : Buchs 1984-2007, minima mensuels moyens [°C] 241
Tableau 3.4-110 : Beznau, 10 m au-dessus du sol, minima mensuels moyens [°C] sur la période 1987 à 2007 241
Tableau 3.4-111 : Beznau, 70 m au-dessus du sol, minima mensuels moyens [°C] sur la période 1987 à 2007 241
Tableau 3.4-112 : Leibstadt, capteur 1, 10 m au-dessus du sol, minima mensuels moyens [°C], sur la période 1987-2007 241
Tableau 3.4-113 : Bâle 1981-2007, moyenne et écart-type mensuels calculés d'après les valeurs horaires à 16 m au-dessus du sol [m/s] 242
Tableau 3.4-114 : Buchs 1984-2007, moyenne et écart-type mensuels calculés d'après les valeurs horaires à 10 m au-dessus du sol [m/s] 242
Tableau 3.4-115 : Beznau 1987-2007, moyenne et écart-type mensuels calculés d'après les valeurs horaires à 10 m au-dessus du sol [m/s] 242
Tableau 3.4-116 : Beznau 1987à 2007, moyenne et écart-type mensuels calculés d'après les valeurs horaires à 70 m au-dessus du sol [m/s] 242
Tableau 3.4-117 : Leibstadt 1987 à 2007, moyenne et écart-type mensuels calculés d'après les valeurs horaires à 10 m au-dessus du sol [m/s] 243

Tableau 3.4-118 : Leibstadt 1987 à 2007, moyenne et écart-type mensuels calculés d'après les valeurs horaires à 110 m au-dessus du sol [m/s] 243
Tableau 3.4-119 : PSI (Institut Paul Scherrer), 1992-2007, moyenne et écart-type mensuels calculés d'après les valeurs horaires à 70 m au-dessus du sol [m/s] 243
Tableau 3.4-120 : Bâle 1981-2007, maxima mensuels moyens et écart-type calculés d'après les maxima horaires à 10 m au-dessus du sol [m/s] 243
Tableau 3.4-121 : Buchs, 1984-2007, maxima mensuels moyens et écart-type calculés d'après les maxima horaires à 10 m au-dessus du sol [m/s] 244
Tableau 3.4-122 : Leibstadt, 1987-2007, maxima mensuels moyens et écart-type calculés d'après les maxima horaires à 10 m au-dessus du sol [m/s] 244
Tableau 3.4-123 : Leibstadt, 1987-2007, maxima mensuels moyens et écart-type calculés d'après les maxima horaires à 110 m au-dessus du sol [m/s] 244
Tableau 3.4-124 : PSI, 1992-2007, maxima mensuels moyens et écart-type calculés d'après les maxima horaires à 70 m au-dessus du sol [m/s] 244
Tableau 3.4-125 : Pas de précipitations ; classe de diffusion A 250
Tableau 3.4-126 : Pas de précipitations ; classe de diffusion B 251
Tableau 3.4-127 : Pas de précipitations ; classe de diffusion C 251
Tableau 3.4-128 : Pas de précipitations ; classe de diffusion D 252
Tableau 3.4-129 : Pas de précipitations, classe de diffusion E 252
Tableau 3.4-130 : Pas de précipitations, classe de diffusion F 253
Tableau 3.4-131 : Précipitations jusqu'à 0.5 mm, classe de diffusion A 253
Tableau 3.4-132 : Précipitations jusqu'à 0.5 mm, classe de diffusion B 254
Tableau 3.4-133 : Précipitations jusqu'à 0.5 mm, classe de diffusion C 254
Tableau 3.4-134 : Précipitations jusqu'à 0.5 mm, classe de diffusion D 255
Tableau 3.4-135 : Précipitations jusqu'à 0.5 mm, classe de diffusion E 255
Tableau 3.4-136 : Précipitations jusqu'à 0.5 mm, classe de diffusion F 256
Tableau 3.4-137 : Précipitations : hauteur comprise entre 0.5 mm et 3 mm, classe de diffusion A 256
Tableau 3.4-138 : Précipitations : hauteur comprise entre 0.5 mm et 3 mm, classe de diffusion B 257
Tableau 3.4-139 : Précipitations : hauteur comprise entre 0.5 mm et 3 mm, classe de diffusion C 257
Tableau 3.4-140 : Précipitations : hauteur comprise entre 0.5 mm et 3 mm, classe de diffusion D 258

Tableau 3.4-141 : Précipitations : hauteur comprise entre 0.5 mm et 3 mm, classe de diffusion E 258
Tableau 3.4-142 : Précipitations : hauteur comprise entre 0.5 mm et 3 mm, classe de diffusion F 259
Tableau 3.4-143 : Précipitations > 3 mm, classe de diffusion A 259
Tableau 3.4-144 : Précipitations > 3 mm, classe de diffusion B 260
Tableau 3.4-145 : Précipitations > 3 mm, classe de diffusion C 260
Tableau 3.4-146 : Précipitations > 3 mm, classe de diffusion D 261
Tableau 3.4-147 : Précipitations > 3 mm, classe de diffusion E 261
Tableau 3.4-148 : Précipitations > 3 mm, classe de diffusion F 262
Tableau 3.5-1 : Critères de classification des crues de l'Aar à Untersiggenthal sur la base des descriptions données par des sources historiques et de la comparaison des marques de crues 272
Tableau 3.5-2 : Stations de mesure des niveaux et bassins de réception 273
Tableau 3.5-3 : Débits de crues de différentes annualités, pour les stations de mesure des niveaux d'Aar-Brugg, Reuss-Mellingen et Limmat-Baden 276
Tableau 3.5-4 : Scénarios crues extrêmes pour l'Aar-Untersiggenthal 277
Tableau 3.5-5 : Débits de crue de diverses annualités pour l'Aar à Untersiggenthal 279
Tableau 3.5-6 : Caractéristiques des barrages de grandes capacité de retenue situés en amont 289
Tableau 3.6-1 : Captages d'eau potable et industrielle dans la vallée inférieure de l'Aar 325
Tableau 3.6-2 : Captages d'eau souterraine sur l'île de Beznau 327
Tableau 3.6-3 : Indications sur les quantités prélevées dans les stations de pompage 1998-2007 328
Tableau 3.6-4 : Données sur la diminution de la capacité d'écoulement 353
Tableau 3.6-5 : Niveau de la nappe souterraine 359
Tableau 3.6-6 : Comparaison des niveaux mesurés et modélisés des basses eaux 371
Tableau 3.7-1 : Valeurs géotechniques spécifiques du sol de fondation en état non perturbé 431
Tableau 3.7-2 : Vitesses des ondes 434
Tableau 3.8-1 : Statistique d'indisponibilité 486

Liste des abréviations

Abréviation	Explication
ABK	Catégorie de propagation
AEW	AEW Energie AG früher Aargauische Elektrizitätswerke AG
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
APE	Annual Probability of Exceedance
AWE	Remise en service automatique
BAV	Office fédéral des transports
BAZL	Office fédéral de l'aviation civile
BBL	Journal officiel fédéral
BFE	Office fédéral de l'énergie
BKW	Force motrice bernoise BKW FMB Energie SA
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
CDF	**C**ore **D**amage **F**requency - Fréquence de dommages au cœur du réacteur
CENAL	Centrale nationale d'alarme
CKW	Centralschweizerische Kraftwerke AG
DETEC	(Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
DK	Courbe débit-durée
DMK	Concept des mesures à prendre en fonction des doses
DSN	Division principale de la sécurité des installations nucléaires
DTM	Digital Trip Module
DTM-AV	Modèle numérique de terrain de l'Office de topographie
EKKB	Ersatz Kernkraftwerk Beznau (Centrale de remplacement de Beznau)
EPR	European Pressurized (Water) Reactor
ESBWR	Economic Simplified Boiling Water Reactor
ESTI	Inspection fédérale des installations à courant fort ESTI
ETH	Ecole polytechnique fédérale
EUR	European Utility Requirements
FBR	Full Bore Rupture

Abréviation	Explication
GEV	Distribution de valeurs extrêmes généralisée - Generalized Extreme Value Distribution
GM	Ground Motion
HFE	Human Factors Engineering
HQ	Débit de crue
ICRP	International Commission for Radiological Protection
ISO	International Standards Organization
JGK	Correction des eaux du Jura
KEG	Loi sur l'énergie nucléaire
KEV	Ordonnance sur l'énergie nucléaire
KKB	Centrale nucléaire de Beznau
KKG	Centrale nucléaire de Gösgen
KKL	Centrale nucléaire de Leibstadt
KKW	Centrale nucléaire (Kernkraftwerk)
KRA	Centrale électrique de Rupperswil-Auenstein
KW	Centrale électrique
KWWB	Centrale électrique de Wildegg-Brugg
LNG	Liquefied Natural Gas (G*az naturel liquéfié - GNL*)
m. du sol	Mètres au-dessus du sol
m. s. ,..	Mètres au-dessus du niveau de la mer
MASW	Multi Channel Acquisition of Surface Waves
mSv	milli Sievert
MTO	Man-Technology-Organisation
MW	Mégawatt
MWe	Mégawatt électrique
MWth	Mégawatt thermique
Nagra	**Na**tionale **G**enossenschaft für die Lagerung **R**adioaktiver **A**bfälle (Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs)
NEI	Nuclear Energy Institute
NNE	Nord-nord-est
NOK	Nordostschweizerische Kraftwerke AG

Abréviation	Explication
OBE	Operating Basis Earthquake
OcCC	Organe consultatif sur les changements climatiques
OFE	Organisational Factors Engineering
OFEG	Office fédéral des eaux et de la géologie
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OPAL	OSIRIS-PEGASOS-Beznau-Leibstadt (Projet OPAL).
OQPN	Ordonnance du 9 juin 2006 sur les qualifications du personnel des installations nucléaires
OROIR	Ordonnance relative à l'organisation d'intervention en cas d'augmentation de la radioactivité
OSPAR	Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est
PEGASOS	Analyse probabiliste de l'aléa sismique aux emplacements des centrales nucléaires suisses (Projet PEGASOS)
PGA	Peak Ground Acceleration
PQ	Relation niveau-débit
PRP	Pegasos Refinement Project
PSA	Probabilistic Safety Analysis
PSHA	Probabilistic Seismic Hazard Analysis
PSI	Institut Paul Scherrer IPS
PW	Station de pompage (Pumpwerk)
QBDR	Valeur directrice de dose liée à la source (Quellenbezogener Dosisrichtwert)
REFUNA	Regionale Fernwärme Unteres Aaretal (Chauffage urbain de la vallée inférieure de l'Aare)
RNS	Poste régional de commande de réseau (Regionale Netzleitstelle)
s. l.	senso lato
s. str.	senso stricto
SAR	Safety Analysis Report (Rapport de sécurité)
SBB	Chemins de Fer Fédéraux
SP	Sous-projet
SR	Droit suisse
SSE	Safe Shutdown Earthquake

Abréviation	Explication
SSHAC	Senior Seismic Hazard Analysis Committee
SSO	Sud-sud-ouest
Std.	Standard Deviation / Ecart-type
SÜL	Plan sectoriel des lignes de transport d'électricité (PSE)
TRAWO	Conduite de gaz naturel de Zuzgen à Winterthur
U.S.NRC	United States Nuclear Regulatory Commission
UCPTE	Union for the Coordination of Production and Transmission of Electricity
UEW	Unbefugte Einwirkung (Dritter) (Actes illicites)
USGS	United States Geological Survey
VB	Puits d'essai Versuchsbrunnen
VDI	Verein deutscher Ingenieure
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association
ZWIBEZ	Stockage provisoire pour déchets radioactifs, Beznau
ZWILAG	Zwischenlager Würenlingen AG (stockage provisoire de Würelingen)

Glossaire

Terme	Définition
Active	Qualifie une composante qui a besoin de parties mobiles pour remplir sa fonction de sécurité.
Activité	Nombre de désintégrations nucléaires par unité de temps. L'unité de mesure du système international pour l'activité est le becquerel (Bq). 1 Bq correspond à une désintégration nucléaire par seconde. Le curie (Ci) est une ancienne mesure de l'activité. On a : 1 Ci = $3.7 \cdot 10^{10}$ Bq.
Aérosol	Dispersion de particules liquides ou solides dans un gaz, habituellement dans l'air. Lors de son exploitation normale, une centrale rejette de faibles quantités de substances radioactives dans l'environnement sous forme d'effluents liquides et gazeux. On compte parmi ces derniers des gaz rares radioactifs et de l'iode radioactif issus de la fission nucléaire, ainsi que des aérosols radioactifs qui résultent principalement de l'activation de matériaux de construction.
Atténuation	Diminution – variable selon la magnitude et la fréquence – de l'énergie dégagée par un séisme au fur et à mesure que l'on s'éloigne de son foyer.
Anhydritgruppe	Groupe des anhydrites. Couche de roche du Trias moyen, principalement composée de sédiments à déformation plastique (comme les anhydrites).
Anticlinal	Soulèvement convexe créé par un plissement de roches stratifiées, ou pli orienté vers le haut.
Autorisation de construire	Autorisation de construire une installation nucléaire, délivré par le Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication. Le autorisation de construire fixe : la détentrice du permis, le site, la puissance prévue du réacteur ou la capacité de l'installation, les principaux éléments de la mise en œuvre technique, les grands traits de la protection en cas d'urgence et les ouvrages et parties de l'installation qui ne peuvent être exécutés ou construits qu'après délivrance du permis par les autorités de surveillance.
Autorisation d'exploitation	Autorisation du Département d'exploiter une installation nucléaire. L'autorisation d'exploitation fixe : la détentrice de l'autorisation, la puissance autorisée du réacteur ou la capacité de l'installation, les limites de rejet de substances radioactives dans l'environnement, les mesures de surveillance de l'environnement, les mesures de sécurité, de sûreté et de protection en cas d'urgence que la détentrice de l'autorisation doit prendre pendant l'exploitation, les étapes de la mise en service, dont le lancement est soumis au permis préalable des autorités de surveillance.
Approche coudée par le nord	Route d'approche de l'aéroport de Zurich-Kloten qui conduit à la piste d'atterrissage depuis le nord-ouest avec un tournant brusque. Actuellement non autorisée.

Terme	Définition
Alimentation en eau de refroidissement	Présence d'eau de refroidissement et d'ouvrages permettant de la capter (p. ex. rivière avec amenée d'eau, nappe souterraine avec puits filtrant horizontal).
Arbre logique	Arbre de décision : forme de représentation arborescente proposant à chaque ramification les différentes probabilités et/ou alternatives possibles.
Argiles à Opalinus	Couche du Dogger inférieur, composée d'argiles très homogènes et imperméables.
Aspiration du condenseur	Système d'élimination des gaz non condensables de l'enceinte de vapeur du condenseur.
Autorisation générale	Autorisation du Conseil fédéral qui tranche les questions de principe d'importance politique (p. ex. site d'implantation). Elle est la condition préalable aux autres autorisations. L'autorisation générale détermine la détentrice de l'autorisation, le site, le but de l'installation, les grandes lignes du projet et l'exposition maximale autorisée aux rayonnements pour les personnes des environs de l'installation.
Adéquation du site	Ensemble des caractéristiques d'un site montrant qu'une installation nucléaire peut être construite et exploitée en remplissant toutes les exigences légales concernant la sécurité nucléaire.
Alimentation en électricité	Alimentation des composantes de la centrale nucléaire en courant fort, par le réseau externe, par le turboalternateur, par des batteries ou par des générateurs diesel.
Bilan	Forme particulière de surveillance avec laquelle toutes les quantités d'activité émises dans l'environnement pendant une période prédéfinie sont mesurées, compilées et communiquées aux autorités de surveillance.
Basses eaux	Pour les eaux fluviales, les basses eaux surviennent principalement à la suite d'un manque de précipitations ou d'eau dû à la météo. Les basses eaux peuvent considérablement limiter la navigation fluviale. En outre, cela restreint la production des entreprises qui ont besoin de prélever de l'eau de refroidissement ou d'exploitation. Pour une émission constante de polluants, l'absence d'eau pour les diluer fait augmenter leur concentration. Le ralentissement du flux souvent associé à des températures élevées provoque une baisse de la teneur en oxygène de l'eau, ce qui augmente le risque de mortalité pour les poissons. Les ouvrages de protection des berges et les constructions sur pilotis se décomposent lorsqu'ils sont soumis à l'action de l'oxygène quand le niveau de l'eau est bas. Les interventions humaines peuvent renforcer les phénomènes de basses eaux (prélèvements d'eau) ou les atténuer (régulation des basses eaux). Les basses eaux sont souvent définies à l'aide de seuils qui sont fixés différemment selon les points de vue (écologie, irrigation, navigation fluviale, etc.).

Terme	Définition
Barrage de Beznau	Retenue d'eau et installation de dotation.
Barrage électrique	Petite centrale hydroélectrique au barrage de Beznau, composée d'une turbine de dotation et d'un générateur.
But	Le but de l'installation (ou du projet selon l'OENu) est pour les réacteurs nucléaires la principale utilisation de l'énergie obtenue, c'est-à-dire l'électricité ou éventuellement le chauffage urbain. Le but d'un stockage de déchets radioactifs est l'entreposage ou le stockage en couches géologiques profondes.
Chocs (fonctionnement à l'aide de)	Utilisation intermittente de la pompe à de faibles intervalles dans un puits afin d'améliorer ou de maintenir son rendement.
Conception	Processus de définition et de mise en œuvre des exigences liées à la conception et au dimensionnement permettant de fixer les exigences liées à la fabrication, au montage et à la mise en service d'une centrale. Ce terme s'applique également aux produits du processus, tels que les plans, les spécifications, les justificatifs et autres.
Coefficient de détermination	Carré du coefficient de corrélation. Valeur située entre 0 et 1 (1 = bonne corrélation, 0 = pas de corrélation).
Cadastre des risques chimiques	Carte électronique du canton (dans le système AGIS) avec représentation des entreprises industrielles soumises à l'ordonnance sur les accidents majeurs.
Couverture	Paquet de roches sédimentaires déposé sur le socle géologiquement plus ancien.
Chevauchement-décollement	Mouvement tectonique qui apparaît dans un niveau sédimentaire plastique et par lequel un bloc de roches est poussé par-dessus un autre par une pression latérale.
Catégorie de diffusion	Répartition des différents états de turbulence de l'atmosphère inférieure en catégories.
Concept des mesures à prendre en fonction des doses	Ce concept définit le cadre nécessaire au classement des mesures de protection dans l'objectif de maintenir le risque sanitaire à un niveau bas pour la population même après un événement entraînant une activité plus élevée. Il comprend le séjour dans les maisons, dans les caves ou abris et l'évacuation.
Contrainte	Influence de l'environnement qui doit être prise en compte lors de la conception de l'installation mais qui ne conduit à aucun incident.
Courbe temporelle	Représentation graphique de valeurs mesurées dans leur ordre chronologique. Le temps est représenté sur l'axe x, la valeur mesurée est représentée sur l'axe y du système de coordonnées. On rencontre ce genre de courbe le plus souvent en lien avec des valeurs hydrologiques (hydrogramme) : niveau d'eau ou débit en un point donné, hautes eaux (niveau d'eau lors du passage d'une onde de crue, influencé par les précipitations ou la fonte des neiges), nappe souterraine, écoulement, vitesse, mais aussi charge sédimentaire de l'eau.

Terme	Définition
Circuit primaire du réacteur	Système de circulation d'eau servant à refroidir le condenseur de la turbine.
Crue	Etat d'un cours d'eau dont le niveau ou le débit a atteint ou dépassé une valeur (seuil) déterminée.
Crue annuelle	Les crues sontcouramment désignées en tant qu'événements ayant une périodicité donnée. Une crue centennale est par exemple un événement qui se produit statistiquement une fois tous les 100 ans. Il ne s'agit que de moyenne statistique : rien n'empêche une crue centennale de se produire deux années de suite.
Correction des eaux du Jura	Après une longue période de concertations et de préparatifs, les cantons de Berne, Fribourg, Vaud, Neuchâtel et Soleure ont réalisé la première correction des eaux du Jura entre 1868 et 1878. Elle comprenait pour l'essentiel les travaux suivants : Déviation de l'Aar grâce au canal de Hagneck venant d'être creusé d'Aarberg directement vers le lac de Bienne, utilisation des lacs de Bienne, Neuchâtel et Morat comme bassin de retenue commun. Rectification, canalisation et curage de la Thielle et de la Broye entre les trois lacs. Augmentation du débit du lac de Bienne grâce à la construction du canal de Nidau-Büren. Abaissement des niveaux des trois lacs de 2.5 m en moyenne. Construction d'un barrage de régulation à Nidau. Mise en place d'un réseau de canaux d'assainissement afin de drainer les terres. En 1939, le barrage de régulation de Port, doté d'une écluse de navigation, est mis en service. Cette mesure fait déjà partie de la deuxième correction des eaux du Jura. Les autres travaux de cette 2e correction n'ont été réalisés que dans les années 1962 à 1973 : Construction de la centrale de Flumenthal comme barrage de régulation. Correction de l'Aar entre Büren et Flumenthal, avec suppression du « verrou de l'Emme ». Élargissement, approfondissement et extension des berges des canaux de la Broye, de la Thielle et Nidau-Büren ainsi que du cours de l'Aar entre Büren et Flumenthal.
Cœur	Eléments combustibles, éléments de commande-contrôle et instrumentation du cœur du réacteur.
Classification	Répartition de documents, de données et d'informations en catégories déterminant leur manipulation et leur utilisation (p. ex. confidentiel, secret).
Climat	Moyenne sur une longue période de l'état de l'atmosphère à un endroit donné. Statistiques relatives à la météo pendant une période.
Climatologie	Science étudiant le climat.

Terme	Définition
Conditionnement	Ensemble des opérations servant à préparer les déchets radioactifs en vue de leur entreposage ou de leur stockage dans un dépôt en couches géologiques profondes ; il s'agit en particulier de leur broyage mécanique, de leur décontamination, de leur compactage, de leur incinération, de leur placement dans des matrices de confinement et de leur emballage.
Cristallin	Socle situé sous les sédiments du nord-ouest de la Suisse. Il se compose de granite et de gneiss et est apparu au Paléozoïque ou plus tôt.
Coefficient de lessivage (*wash-out*) à long terme	Facteur de proportionnalité pour les retombées entraînées par la pluie (*wash-out*) sur le sol et les plantes.
Cas d'urgence	Accident déclenché à la suite d'une action illicite (UEW). Par hypothèse, les dispositifs qui n'ont pas été conçus pour résister à une action illicite ne seront pas disponibles pour maîtriser un tel accident.
Canal supérieur	Canal conduisant l'eau de l'Aar retenue par un barrage vers la centrale hydraulique de Beznau.
Contrôle de réactivité	Objectif de sécurité et de protection technique d'installations nucléaires. La réactivité est contrôlée pendant l'exploitation normale de sorte que toutes les limites soient respectées. Si nécessaire, il faut assurer l'arrêt et la sous-criticité du réacteur. Un accident de criticité lors du stockage ou de la manipulation de combustibles doit être exclu avec une sécurité suffisante.
Cellule de couplage	Partie d'un poste de commutation.
Culture de la sécurité	Attitude axée sur la sécurité à tous les niveaux hiérarchiques. Elle englobe la responsabilité supérieure du management, qui est de formuler et de mettre en œuvre une philosophie d'entreprise axée sur la sécurité, de créer une structure organisationnelle adaptée et de mettre les outils nécessaires à disposition, aussi bien au niveau technique qu'au niveau du personnel. La deuxième composante englobe l'attitude et le comportement du personnel à tous les niveaux hiérarchiques, ainsi que la communication entre eux.
Chute de contrainte	Tension tectonique éliminée à la surface de rupture pendant un séisme.
Centrale nucléaire standard	Centrale dont la tranche est conçue comme un tout et reçoit une licence globale. Elle est proposée pour plusieurs sites et plusieurs clients avec la même configuration.
Aptitude du site	Spécificité d'un site et de son environnement qui peut être importante pour la sécurité nucléaire. Elle est prise en compte dans la description des événements externes et dans la recherche des conséquences à prendre en compte lors de la conception.
Chevauchement	Mouvement tectonique par lequel un paquet de roches glisse par-dessus un autre (réduction du volume).

Terme	Définition
Centrale inférieure	Poste de commutation doté de transformateurs qui relie les niveaux de tension électrique.
Contreforts du Jura plissé	Partie du massif du Jura située entre le Jura tabulaire au nord (zone de tectonique de poussée à distance alpine non incluse) et le Jura plissé au sud (conséquences de la tectonique de poussée à distance visible en surface) ; dans les contreforts, seul le sous-sol profond est légèrement déformé par la tectonique de poussée à distance.
Château d'eau (Wasserschloss)	On appelle le « château d'eau » de la Suisse la zone située dans le triangle que forment Brugg, Turgi et Klingnau, où l'Aar, la Reuss et la Limmat se rejoignent à Vogelsang dans la commune de Gebenstorf et où l'Aar se jette dans le Rhin près de Coblence.
Constructions les plus importantes	Constructions les plus importantes d'une centrale nucléaire servant techniquement à son utilisation prévue, ou importantes pour la sécurité et la sûreté nucléaires. Ces constructions sont décrites de manière générique pour le système de réacteurs prévu dans la demande d'autorisation générale, mais les différents types de réacteurs au sein d'un système peuvent avoir des constructions différentes.
Classes de direction du vent	Répartition des directions du vent en un nombre limité de classes. La mesure de la direction est alors plus approximative. Exemple : 36 classes regrouperont les valeurs de 0° à 10°, de 10 à 20°, …, de 350° à 360°.
Classes de force du vent	Répartition des vitesses du vent en un nombre limité de classes. La mesure de la vitesse du vent est alors plus approximative. Exemple : classes de 0 à 3 m/s, de 3 à 6 m/s, de 6 à 9 m/s, >9 m/s.
Cyclone	Tornade tropicale dans l'Océan indien. Il existe d'autres désignations pour ce phénomène dans les autres régions du monde : ouragan (Amérique), typhon (sud-est asiatique).
Cycle	Période d'exploitation entre deux rechargements de combustible consécutifs.
Décrochement	Faille verticale où deux paquets de roches se déplacent l'un par rapport à l'autre horizontalement (*strike slip* en anglais).
Déagrégation	Décomposition du risque sismique global en ses parts correspondant aux différentes plages de magnitude et de distance.
Discrimination	Différenciation des résultats de mesure ou des objets d'étude.
Dispositif	Composante ou sous-composante.
Diversité	Utilisation de composantes de différentes conceptions, configurations ou fabricants pour remplir la même fonction.
Dogger	Période correspondant au Jurassique moyen (de –181 à –150 millions d'années).
Dose	Dimension permettant d'évaluer l'effet du rayonnement ionisant. En général, la dose effective est exprimée en sieverts (Sv).

Terme	Définition
Erreur unique	Une erreur unique est soit la panne d'une composante technique active ou passive, soit l'erreur d'un opérateur. Pour la conception de la centrale, une erreur unique doit être supposée là où elle limite le plus la disponibilité des systèmes de sécurité nécessaires pour maîtriser les accidents.
Répartition des valeurs extrêmes	Répartition de la probabilité d'événements extrêmes
Déplacement du lit d'une rivière	Déplacement du cours d'une rivière dû à l'érosion et à la sédimentation.
Doline	Dépression fermée due à l'affouillement et au travail de sape de l'eau associé à des matières solides (p. ex. sous les chutes d'eau).
Débit de dose ambiant	Le débit de dose (ou taux de dose) exprime l'augmentation de la dose par unité de temps : débit de dose ambiant = dose/temps (en mSv/h) à un endroit donné.
Déchets radioactifs	Substances radioactives ou matériaux contaminés qui ne sont plus utilisés (LENu).
Éléments de combustible	Composants qui conservent le combustible nucléaire dans une configuration adaptée à l'exploitation ou à la maîtrise des accidents.
Émissions	Rejet contrôlé de substances radioactives dans l'environnement, principalement sous forme d'effluents gazeux ou d'aérosols et sous forme d'effluents liquides. Le stockage final de déchets radioactifs n'est pas considéré comme un rejet dans l'environnement.
Évacuation des déchets	Conditionnement, entreposage et stockage des déchets radioactifs dans un dépôt en couches géologiques profondes.
Épicentre	Projection verticale du foyer d'un séisme sur la surface de la Terre.
Événement	Déroulement erroné, dans l'exploitation d'une installation ou lors d'un transport, pouvant compromettre la sécurité (annexe 1 OENu). Cette définition s'applique aux événements d'exploitation internes à l'installation.
Exfiltration	Émergence d'une nappe phréatique à la surface du terrain ou dans des eaux de surface.
Examen des valeurs extrêmes	Analyse des caractéristiques du site (p. ex. météorologie) dans le but de déterminer l'impact lié à des états externes (p. ex. température) présentant différentes périodicités (p. ex. centennale).
Événement consécutif	Conséquence d'un premier événement qui peut elle aussi être considérée comme événement (p. ex. inondation consécutive à un séisme, incendie consécutif à une chute d'avion).
Eau souterraine disponible	Quantité d'eau souterraine disponible.
Extraction de la chaleur résiduelle	Extraction et rejet dans une source froide de la chaleur résiduelle du cœur du réacteur ou des éléments de combustible irradiés stockés.

Terme	Définition
Environs du site	Zone située à proximité du site qui est considérée pour décrire et évaluer les caractéristiques de celui-ci. Leur ampleur dépend des caractéristiques à prendre en compte.
Eau brute secourue	Système d'eau de refroidissement qui amène la chaleur de circuits de refroidissement fermés à une source froide.
Exploitation normale	Fonctionnement de l'installation à l'intérieur des limites d'exploitation spécifiées et conforme aux directives en vigueur
Effet de site	Renforcement (ou rarement affaiblissement) – variable selon la fréquence – des secousses sismiques en fonction de la qualité du sous-sol local proche de la surface (*soil*), par rapport à un point situé dans la roche.
Éléments de contrôle	Composantes servant à réguler la puissance nucléaire et à arrêter d'urgence la fission nucléaire.
Exposition aux rayonnements (aux radiations)	Action des rayonnements ionisants sur le corps humain.
Extraction de chaleur	Extraction ciblée d'énergie thermique d'un système ou d'une installation.
Événement x-centennal	L'ampleur d'un événement est souvent exprimée par sa période de retour (périodicité). Une crue centennale est par exemple un événement qui se produit statistiquement une fois tous les 100 ans. Il ne s'agit que d'une moyenne statistique : rien n'empêcherait une crue centennale de se produire deux années de suite.
Faille	Zone de faiblesse tectonique dans la croûte terrestre où ont lieu ou ont eu lieu des mouvements.
Faille active	Faille tectonique susceptible de provoquer encore aujourd'hui des séismes.
Faille normale	Fracture abrupte dans laquelle un compartiment de roches glisse en dessous d'un autre en tendant à s'écarter.
Front	Intersection entre une surface géologique (p. ex. limite entre deux couches, surface de faille) et la surface de la Terre.
Fossé permo-carbonifère	Structure en forme de fossé orientée est-ouest, dans le socle, qui a été remplie de sédiments pendant le Permien et le Carbonifère. Elle est située sous le Jura et le Plateau et s'étend de la France à la Suisse orientale.
Foyer = hypocentre	Point du sous-sol où naît un séisme.
Facteur de propagation à long terme	La propagation de substances radioactives est décrite à l'aide de facteurs de propagation dépendant du lieu et du temps, définis comme le rapport entre la concentration locale de nucléides dans l'air (CL) et le taux de rejet.

Terme	Définition
Facteur de fuite	Longueur d'écoulement fictive d'un flux d'eaux souterraines dans la couche aquifère lorsqu'une partie de l'eau souterraine s'échappe dans une couche de roches limitrophe moins perméable.
Failles bordières	Système de failles formant la bordure d'un fossé sédimentaire (ici le fossé permo-carbonifère).
Fréquence	Nombre de cas survenant pendant une période donnée.
Gestion des autorisations	L'une des fonctions de l'organisation qui coordonne toutes les activités liées à la sécurité de l'installation.
Géophysique de forage	Mesures effectuées dans un puits de forage afin de déterminer les paramètres physiques (tels que la densité ou le taux d'argile) des couches de roche forées.
Givrage	Formation de givre à partir de l'air sur des structures et des composants.
Glissement	Mouvement d'un paquet de roches par rapport à un autre le long d'une faille.
Grandes lignes du projet	On entend par là les dimensions approximatives et l'emplacement des principaux bâtiments, ainsi que, notamment pour les réacteurs nucléaires, le type/système de réacteur, la classe de puissance et le circuit primaire du réacteur. Pour les entrepôts destinés aux matériaux nucléaires ou aux déchets radioactifs, il s'agit de la catégorisation des substances entreposées et de la capacité de stockage maximale.
Hypothèse de la poussée à distance	Hypothèse bien étayée concernant la dernière phase du raccourcissement de la croûte dans le nord des Alpes, qui donne naissance principalement à des chevauchements-décollements. Affirme que le plissement du massif du Jura résulte d'une poussée à distance exercée par les Alpes. La poussée est transmise par l'empilement sédimentaire mésozoïque/tertiaire qui a été cisaillé de son soubassement dans le bassin molassique du Plateau. L'horizon de cisaillement se situe dans le Trias inférieur, au niveau des évaporites ductiles déformables de l'Anhydritgruppe.
Hercynien	Relatif au cycle orogénique allant du Dévonien jusqu'à la fin du Permien, p. ex. période de la formation de la Forêt Noire.
Holocène	Dernière époque du Quaternaire (de –0.01 million d'années à nos jours). Epoque post-glaciaire.
Host zone	Zone source sismique où se trouve le site pour lequel le risque est calculé.
Human and organisational factors (HOF = HFE + OFE)	HOF est l'interface homme-technique, à savoir entre HFE [facteurs humains] et l'OFE [facteurs organisationnels]

Terme	Définition
Human factors engineering (HFE)	Le HFE assure que tous les points de vue d'une situation de travail sont pris en compte afin d'assurer à chaque membre du personnel la mise à disposition de tous les outils et conditions de travail requis pour l'exécution de la tâche.
Immersion	Exposition externe aux radiations, de tous les côtés, de personnes se trouvant dans un nuage radioactif.
Incertitude aléatoire	Composante de l'incertitude qui décrit la fréquence relative des futurs événements déterminés par un processus physique aléatoire. Plus précisément, on distingue les processus physiques déterministes qui peuvent en principe être prédits si l'on dispose d'informations suffisamment précises (lancer de dé, prévisions météorologiques), et des processus non déterministes, qui sont en principe imprédictibles (décroissance radioactive).
Impact (d'événements)	Conséquence d'un événement qui doit être pris en compte lors de la conception de l'installation ou dans le justificatif d'un accident. Les événements consécutifs font partie des impacts et ont à leur tour leurs propres impacts.
Incident d'exploitation	Non-conformité par rapport à l'exploitation normale, qui n'exige aucune intervention de systèmes de sécurité en dehors d'un éventuel arrêt rapide du réacteur. Par exemple la panne de certaines pompes primaires ou de pompes d'eau d'alimentation, coupure de courant dans les systèmes auxiliaires.
Infiltration dans le sol	Absorption de précipitations par le sol.
Installation de dotation	Turbine et ouvrages correspondants dans le barrage régulateur servant à assurer la quantité d'eau résiduelle nécessaire dans le cours de l'Aar.
Interférences électromagnétiques	Egalement appelées influence électromagnétique (IEM), en anglais electromagnetic interference (EMI). Impact d'une grandeur électromagnétique sur des dispositifs électroniques/électrotechniques, des conducteurs actifs et inactifs, des parties externes conductrices ou des êtres vivants, lié à des couplages nécessaires au fonctionnement ou indésirables (parasites).
Incertitude épistémique	Composante de l'incertitude globale qui peut être imputée à une connaissance incomplète d'un phénomène ou d'un état de fait. Contrairement à la composante aléatoire (voir ci-dessus), elle peut en principe être réduite grâce au recueil de données et informations supplémentaires.
Installation complète	Toutes les installations nucléaires présentes sur le site à un moment donné. Ceci peut correspondre au présent ou à un état futur planifié.

Terme	Définition
Installation nucléaire	Installation destinée à l'exploitation de l'énergie nucléaire, à l'extraction, à la production, à l'utilisation, à la transformation ou à l'entreposage de matériaux nucléaires et à l'élimination de déchets radioactifs au sens de l'art. 2. al. 1 lettre 1 LENu. Les installations nucléaires comprennent tous les ouvrages, installations et éléments servant techniquement à l'utilisation prévue de l'installation nucléaire ou pour lesquels la sécurité et la sûreté nucléaires sont importantes.
Infiltration	Passage d'eaux de surface ou d'eaux issues de la surface d'un terrain dans le sous-sol.
Ingestion	Absorption de substances radioactives dans le corps par les voies digestives.
Inhalation	Absorption de substances radioactives par les voies respiratoires.
Intraplate region	Région située au sein d'une plateforme continentale présentant habituellement une activité tectonique plus faible que les régions situées à sa périphérie.
Isohypses	Les isohypses permettent d'établir des courbes dites izopièzes réunissant des points d'égale profondeur dans le sous-sol ou pour des courbes de niveau au-dessus du niveau de la mer. Isopièzes = Isohypses des nappes souterraines...
Image de réflexion	Aspect général d'une coupe de sismique réflexion, déterminé par les signaux parasites et/ou la réflectivité du sous-sol.
Ingénierie de sécurité	L'ingénierie de sécurité évalue la sécurité technique d'une installation ou d'une technologie en se basant sur les critères et limites de tolérance édictés par les autorités.
Ingénieur système	Ingénieur responsable de tous les aspects de la conception, de la configuration, du contrôle et de la maintenance de systèmes.
Jura plissé	Relié à l'arc alpin, le Jura plissé s'étend des Lägern à l'est jusqu'au sud de Genève. Il constitue la partie fortement plissée du Jura. Egalement appelé chaîne du Jura.
Jurassique	Partie centrale de l'ère secondaire (Mésozoïque).
Jura tabulaire	Partie du Jura située entre le Jura plissé et la Forêt Noire. Les couches de roches sont en général inclinées de 2 à 4° vers le sud-est.
Justification	Une activité lors de laquelle des personnes ou l'environnement sont soumis à des rayonnements ionisants (exposition aux rayonnements) ne peut être exercée que si le rapport risque/bénéfices le justifie.
Keuper	Epoque la plus récente du Trias (de –229 à –204 millions d'années).
Kriging	On entend par kriging (ou krigeage) une méthode géostatistique permettant d'interpoler ou d'approcher des valeurs concernant les sites pour lesquels on ne dispose pas d'échantillons, grâce aux valeurs avoisinantes mesurées.

Terme	Définition
Limite de rejet	Les rejets autorisés de substances radioactives dans l'environnement sont fixés pour un période d'une année, sous forme de limite annuelle de rejet, mais aussi pour des périodes plus courtes, sous forme de limites de rejet à court terme.
Lieu de travail	Lieu où travaillent un nombre déterminé d'employés.
Liquéfaction du sol	Réduction de la viscosité du sol à la suite de secousses.
Limite à potentiel fixe	Position du niveau de la nappe souterraine à la limite de la zone modélisée, dans le traitement d'un modèle numérique de nappe souterraine.
Limite de rejet annuelle	Valeur d'activité maximale tirée de la valeur directrice de dose liée à la source, selon le modèle de la directive HSK-R-41 pour la quantité d'un nucléide ou d'un mélange de nucléides, rejetée dans l'environnement par le biais d'effluents gazeux ou liquides.
Lias	Époque la plus ancienne du Jurassique (de –204 à –181 millions d'années).
Limnigraphe	Appareil de mesure enregistrant l'évolution d'un niveau d'eau au cours du temps. De plus en plus souvent numérique.
Limnimètre	Un limnimètre est un appareil mesurant le niveau de rivières, de mers ou de canaux.
Maîtrise (des accidents)	Les accidents sont maîtrisés si aucun impact radiologique non autorisé n'est enregistré dans l'environnement de l'installation.
Message (fédéral)	Commentaire précédant et accompagnant une loi fédérale. Considéré comme une base d'interprétation obligatoire des exigences de la loi.
Mesure cross-hole	Mesure de forage destinée à déterminer la vitesse de propagation des ondes sismiques provoquées dans un forage et enregistrées dans un ou deux forages proches alignés de même profondeur.
Mesure down-hole	Mesure de forage destinée à déterminer la vitesse de propagation des ondes sismiques provoquées à la surface et enregistrées dans le forage.
Magnitude	Mesure de l'énergie libérée par un séisme, indiquant donc sa force.
Médiane / Moyenne	Valeur centrale d'une répartition (quantile 0.5) qui partage la distribution en deux parties d'effectif égal.
Mégawatt	Unité de puissance. Un million de watts, ou mille kilowatts.
Marne	Roche sédimentaire composée environ pour moitié d'argile et de calcaire.
Mésozoïque	Ère secondaire (de -245 à -65 millions d'années). Comprend les périodes du Trias, du Jurassique et du Crétacé.
Météo	Etat à court terme de l'atmosphère en un lieu donné.

Terme	Définition
Météorologie	Science qui étudie la dynamique de l'atmosphère et le temps que cela provoque.
Moyennes eaux	En nautique (navigation), océanographie ou hydrologie : moyenne calculée sur une longue période, du niveau de l'eau en un point donné. Pour que le résultat soit fiable, le niveau doit être observé ou enregistré automatiquement pendant plusieurs années, voire des décennies, ce qui s'effectue aujourd'hui à l'aide de limnigraphes numériques.
Moyenne	Somme des valeurs individuelles divisée par leur nombre (moyenne arithmétique).
Mesure du niveau de l'eau	On utilise une échelle fluviale et trois points de repère altimétriques à l'aide desquels la cote de niveau de l'échelle fluviale (point zéro de l'échelle) est placée sur le zéro de référence. Le niveau de l'eau est aujourd'hui mesuré à l'aide de flotteurs, de capteurs de pression, de balances à air comprimé, de radars et de sonars. Les mesures sont enregistrées dans un boîtier sur des rouleaux, des bandes et/ou des collecteurs numériques de données.
Mesure de référence	Mesure du niveau de la nappe souterraine à une date déterminée.
Nappe souterraine	Définition DIN 4049 : eau souterraine qui remplit les espaces vides de l'écorce terrestre et dont le mouvement est déterminé exclusivement ou quasi exclusivement par la pesanteur et par les frottements déclenchés par le mouvement lui-même.
Niveau des émissions	Hauteur au-dessus du sol d'une source de rejets radioactifs, p. ex. hauteur de la cheminée.
Nord des Alpes (avant-pays)	Zone située au nord du massif alpin, incluant le Jura et le bassin molassique.
Nappe souterraine	Définition DIN 4049 : eau souterraine qui remplit les espaces vides de l'écorce terrestre et dont le mouvement est déterminé exclusivement ou quasi exclusivement par la pesanteur et par les frottements déclenchés par le mouvement lui-même.
Néotectonique	Mouvements tectoniques récents d'âge non précisé, qui peuvent être actifs jusque dans le présent.
Nœud de réseau	Poste de commutation à la jonction de deux ou plusieurs lignes à haute tension.
Organisational factors engineering (OFE)	L'OFE assure l'existence d'un environnement de travail approprié (organisation, processus, ressources, etc.).
Objectifs de protection	Les objectifs de protection des centrales nucléaires sont les contrôles de la réactivité, le refroidissement des matériaux du cœur et des déchets radioactifs, le confinement des substances radioactives et la limitation de l'exposition aux rayonnements.
Puissance brute, MWe	Puissance électrique émise au niveau de la borne du générateur, en mégawatts.

Terme	Définition
Puissance nette, MWe	Puissance électrique alimentant le réseau électrique externe, en mégawatts.
Champ libre / champ de pesanteur	Situation dans laquelle aucune réflexion ne se produit ; pour un instrument sismique, il s'agit de la surface de la Terre.
Perméabilité de la nappe souterraine	Perméabilité hydraulique de la nappe aquifère.
Puits filtrant horizontal	Point de prélèvement d'eau souterraine dans lequel la nappe souterraine est pompée à partir de plusieurs tubes filtrants horizontaux et acheminée vers la surface via un puits collecteur vertical.
Prise d'eau de refroidissement	Ouvrage destiné à amener l'eau de refroidissement de la rivière à une des stations de pompage.
Passive	Se dit d'une composante qui n'a pas besoin de parties mobiles pour fonctionner, mais qui subit simplement une modification de son état de charge.
Piézomètre	Tube inséré dans un forage afin de mesurer le niveau de la nappe souterraine.
Pliocène	Dernière époque du Tertiaire (de –2 à –5 millions d'années). Période du plissement de la chaîne du Jura.
Porosité	Total des vides d'un aquifère (disponibles pour l'eau souterraine) par rapport au volume global.
Probabilistique	Utilisation d'analyses de sécurité probabilistes pour déterminer la fréquence de dommages au cœur et la fréquence d'émission de substances radioactives.
Puissance de production	Puissance électrique reversée au réseau externe.
Poste de commutation	Installation de débranchement, d'enclenchement et de commutation de barres de courant fort.
Prescriptions en cas d'incident	Les consignes d'exploitation et les consignes en cas d'incident régissent l'exploitation sécurisée de l'installation, notamment lors de l'exploitation normale et en cas d'incident, selon l'art. 8 de l'OENu.
Production d'électricité	Production d'énergie électrique.
Protection contre les rayonnements	Protections des personnes et de l'environnement contre les actions nocives des rayonnements ionisants.
Protection d'urgence	Toutes les mesures visant à maîtriser ou à atténuer les accidents qui se produisent en dépit de la conception.
Puissance thermique MWth	Puissance thermique produite par le réacteur en mégawatts thermiques.
Population non résidente	Personnes ne faisant pas partie des habitants d'une commune mais qui y séjournent pour d'autres raisons (p. ex. lieux de travail, écoles, hôpitaux, hôtels, etc.).

Terme	Définition
Probabilité d'un événement de rester en dessous des seuils de tolérance	Probabilité qu'un événement n'atteigne pas un certain seuil.
Période de retour / Périodicité	Valeur réciproqie de la fréquence annuelle d'un événement d'importance donnée (annualité).
Puits d'urgence	Puits d'eau souterraine sécurisé fournissant de l'eau de refroidissement en cas d'urgence.
Quality plan / Plan d'assurance qualité	Plan spécifique à un projet, déterminant des mesures qui assurent la qualité nécessaire pour répondre à toutes les exigences relatives au produit fini.
Quantiles (ou fractiles)	Points d'une distribution statistique triés en fonction du rang ou de l'importance des valeurs.
Quaternaire	Période géologique actuelle (Cénozoïque), de –2 millions d'années à aujourd'hui.
Vents violents	Vents violents et de courte durée (synonymes : bourrasques, coups de vent, rafales).
Irradiation du sol	Irradiation indirecte des personnes par des substances radioactives absorbées par le sol.
Irradiation directe	Rayonnement ionisant provenant directement de l'installation nucléaire.
Réacteur à eau sous pression	Réacteur à eau légère où le liquide de refroidissement est chauffé dans le réacteur sans bouillir. La vapeur actionnant la turbine est produite dans un générateur de vapeur (échangeur thermique).
Roche	D'un point de vue sismologique : partie du sous-sol ayant des vitesses de propagation des ondes sismiques supérieures à une valeur de référence prédéfinie.
Risque / danger	Le risque / danger dans son acception technique exprime la possibilité qu'une personne rencontre un danger dans l'espace ou dans le temps. Si le risque se concrétise, il conduit à un dommage, p. ex. une blessure, une maladie ou la mort. Conformément à la définition du guide ISO/CEI 51, le risque est une source de préjudice potentiel. Pour l'installation, le risque représente les répercussions d'un événement qui pourraient conduire à un dépassement des limites fixées.
Réfrigérant du réacteur	Réfrigérant (dans un réacteur à eau légère, il s'agit d'eau) qui s'écoule à travers le cœur du réacteur et évacue la chaleur produite par la fission nucléaire.
Rayonnement ionisant	Rayons dont l'énergie suffit pour détacher des électrons de l'enveloppe électronique (ionisation).

Terme	Définition
Refroidissement du cœur du réacteur	Refroidissement des éléments de combustible dans le but d'évacuer la chaleur produite (par la fission nucléaire ou la chaleur résiduelle) de manière à respecter tous les seuils et limites fixés.
Réacteur nucléaire	Un réacteur et toutes les installations qui en font partie pour l'exploitation normale et la maîtrise des incidents d'exploitation et des accidents. Ceci inclut également les dispositifs propres au réacteur destinés à l'entreposage, au conditionnement et à la manipulation des déchets radioactifs.
Réacteur à eau légère	Réacteur nucléaire utilisant l'eau légère comme modérateur et comme réfrigérant.
Roches meubles	Le plus souvent, roches quartenaires non encore complètement solidifiées, qui constituent tout ou partie du sol.
Réacteur	Partie d'un réacteur nucléaire qui comprend la cuve du réacteur, les aménagements, les éléments de combustible, les éléments de commande et l'instrumentation du cœur.
Redondance	Présence de plus d'équipements en état de marche que nécessaire pour remplir la fonction de sécurité prévue.
Rhéologie	Science qui étudie les déformations et la plasticité des matériaux.
Réacteur à eau bouillante	Réacteur à eau légère où le liquide de refroidissement est porté à ébullition dans le réacteur. La vapeur qui alimente la turbine provient directement du réacteur.
Rose des vents	Représentation polaire de la direction des vents.
Surveillance des émissions	Mesure de contrôle au sens de l'art. 81 ORaP permettant de faire le bilan des substances radioactives rejetées dans l'environnement.
Spécifications du risque	Document qui représente la base de conception de l'installation complète et qui est remise lors de la demande d'autorisation de construire (annexe 4 OENu). Ces spécifications transposent les caractéristiques du site de telle manière que les événements déclenchants et leurs impacts puissent être pris en compte pour la conception de l'installation et les analyses des accidents.
Structure de fossé	Structure apparaissant dans un régime d'extension, délimitée par au moins deux failles normales.
Surface de la nappe souterraine	Profondeur à laquelle on rencontre la nappe souterraine lors d'un forage. Surface d'équilibre entre la pression de la nappe souterraine et la pression de l'atmosphère.
Surveillance des immissions	Justificatif métrologique de l'impact de substances radioactives par rayonnement direct sur l'environnement.
Sécurité conventionnelle	Protection des personnes contre les risques non nucléaires.

Terme	Définition
Secteur	Le cercle d'un rayon de 20 km qui entoure le site, y compris des cercles concentriques ayant des rayons de 5, 10 et 15 km, est subdivisé en secteurs de 30°. On détermine la population présente dans chaque secteur.
Secteurs de risque	Secteurs de la zone de risque 2 correspondant chacun à un secteur de cercle de 120°. On définit 6 secteurs, ce qui conduit à un chevauchement des secteurs.
Système d'eau de refroidissement	Système d'extraction de la chaleur. Dans une centrale nucléaire, il existe un grand nombre de systèmes d'eau de refroidissement plus ou moins importants pour la sécurité.
Sécurité nucléaire	Situation dans laquelle tous les objectifs de protection nucléaire sont atteints ou peuvent l'être.
Substances radioactives	Substances contenant des radionucléides dont l'activité dépasse les seuils fixés à l'annexe 3, colonne 9 ORaP.
Sismique réflexion	Méthode de mesure permettant de déterminer, depuis la surface de la Terre, les délimitations des couches dans la croûte terrestre en mesurant les signaux acoustiques réfléchis.
Seiches	Ondes (oscillations rythmiques) stationnaires de l'eau dans les lacs ou les baies. Elles surviennent lorsque les rives renvoient des ondes dont la longueur entre en résonance avec le bassin.
Sismique	Méthode de mesure permettant de déterminer, dans un forage ou depuis la surface de la Terre, les délimitations des couches dans la croûte terrestre en mesurant les signaux acoustiques réfléchis ou réfractés.
Senso lato	au sens large (s.l.)
Senso stricto	au sens strict (s.str.)
Séisme de sécurité	Séisme pour lequel il faut apporter la preuve que toutes les fonctions de sécurité, c'est-à-dire l'intégrité des équipements, sont assurées pendant et après l'événement.
Système de sécurité	Système doté d'équipements mécaniques des classes de sécurité 1 à 4 ou des équipements électriques classés 1E (voir annexe 4 OENu).
Sûreté	Protection des installations nucléaires contre les actes illicites (UEW) de personnes dont l'intention est de causer des accidents ou des dommages ou de subtiliser des matériaux nucléaires.
Soil (sol)	Zone proche de la surface située entre la roche et la surface de la Terre. Elle a la propriété de renforcer les ondes sismiques qui arrivent.
Soil motion (mouvement du sol)	Ampleur des secousses sismiques à la surface de la Terre ; inclut l'effet de site.

Terme	Définition
Site	Zone géographique destinée à la construction d'une installation nucléaire. Le site inclut toutes les constructions et équipements nécessaires à l'exploitation de l'installation nucléaire (en exploitation normale, lors d'incidents d'exploitation et pour la maîtrise des accidents).
Subcrop	Affleurement sous faible couverture de sédiments non parallèles.
Synclinal	Plissement concave (creux) de roches stratifiées, ou pli orienté vers le bas.
Spécification technique	La spécification technique comporte les consignes d'exploitation de l'installation nucléaire et de ses systèmes de sécurité, y compris les critères techniques d'arrêt.
Surveillance des alentours	Surveillance du débit de dose ambiant et de la radioactivité (air, eau, sol, plantes, poissons, etc.) dans les environs d'une centrale nucléaire.
Stockage provisoire	Entreposage de déchets radioactifs conditionnés et emballés de manière adaptée dans des conditions contrôlées jusqu'au moment de leur élimination. Synonymes : stockage intermédiaire, provisoire. « De manière adaptée » signifie que ces déchets doivent être si possible déjà conditionnés de manière conforme pour leur entreposage final.
Transformateur principal	Transformateur qui fait passer la puissance électrique produite de la tension de la borne du générateur à la tension du réseau.
Tour de refroidissement hybride	Tour de refroidissement fonctionnant aussi bien avec un refroidissement par évaporation qu'avec un refroidissement sec. L'air réchauffé par la partie sèche permet de réduire l'humidité relative de l'air rejeté et donc les traînées de vapeur de la tour de refroidissement.
Tectonique des plaques	Théorie globale des mouvements de grande ampleur de la croûte terrestre et de la partie supérieure du manteau, qui sont subdivisées en plaques rigides.
Terme de source	Quantité et évolution dans le temps de l'émission de substances radioactives.
Type de réacteur	Réacteur nucléaire proposé par un fournisseur et ayant une classe de puissance définie (p. ex. AP1000, AP 600, ESBWR, EPR, SWR1000).
Température de bulbe humide	Température la plus basse pouvant être atteinte grâce à la perte de chaleur par évaporation.
Température du point de rosée	Température à laquelle l'eau se condense.
Tornade	Tourbillon d'air de faible surface dans l'atmosphère terrestre qui descend de la limite inférieure des nuages jusqu'au sol.
Trias	Période la plus ancienne du Mésozoïque.

Terme	Définition
Utilisation du sol	Type d'utilisation du sol. Ceci inclut les catégories agriculture (champs, pâturages), forêt et zones bâties.
Uniform hazard spectrum	Spectre de risque uniforme : représentation de l'aléa sismique en fonction de la fréquence pour une probabilité de dépassement annuelle donnée.
Unité, unité de production de centrale nucléaire (tranche)	Bâtiments du réacteur et bâtiment des machines incluant toutes les constructions qui sont structurellement liées.
Valeur directrice de dose liée à la source	Dose effective pour les groupes de personnes les plus concernées résultant des émissions et des rayonnements directs d'exploitation d'un site.
Vérification des accidents radiologiques	Contrôle indiquant que les seuils, objectifs ou limites radiologiques sont respectés ou peuvent l'être.
Zone de protection d'urgence	Deux zones sont définies autour de chaque installation nucléaire dans le cadre de l'autorisation de construire. La zone 1 comprend le voisinage d'une installation nucléaire dans lequel il peut exister, en cas d'accident grave, un risque nécessitant des mesures rapides de protection de la population. La zone 2 fait suite à la zone 1 et s'étend à une superficie ayant un rayon d'environ 20 km. Elle est divisée en secteurs.
Zone source	Région délimitée d'un point de vue sismotectonique pour le calcul du risque sismique, au sein de laquelle les paramètres sismiques sont homogènes.

Glossaire des figures

Fig. 2.2-1

allemand	français
Lage und Erschliessung des Standortes	Situation et aménagement du site
Kraftwerk Klingnau	Centrale de Klingnau
Klingnauer Stausee	Lac de retenue de Klingnau
Gasturbinen Kraftwerk Beznau	Turbines à gaz de la centrale de Beznau
Hydraulisches Kraftwerk Beznau	Centrale hydraulique de Beznau
Refuna Kesselanlage Dieselöltanks	Réseau de chauffage à distance Refuna Citernes de diesel
Beznau-Insel	Île de Beznau
Oberwasserkanal	Canal d'eau supérieur
KKW Beznau	Centrale nucléaire de Beznau
Stauwehr Beznau	Barrage de Beznau
ZWILAG	ZWILAG
PSI Ost	PSI est
PSI West	PSI ouest

Fig. 2.2-4

allemand	français
Anordnung der bestehenden Anlagen auf der Insel Beznau	Disposition des installations actuelles sur l'île de Beznau
1. Sicherheitsgebäude KKB 1	1. Bâtiment de sécurité KKB 1
2. Sicherheitsgebäude KKB 2	2. Bâtiment de sécurité KKB 2
3. Nebengebäude KKB 1	3. Bâtiment annexe KKB 1
4. Nebengebäude KKB 2	4. Bâtiment annexe KKB 2
5. Maschinenhaus KKB 1	5. Bâtiment des machines KKB 1
6. Maschinenhaus KKB 2	6. Bâtiment des machines KKB 2
7. Werkstatt und Magazingebäude	7. Atelier et bâtiment des magasins
8. Bürogebäude	8. Bureaux
9. Kühlwassereinläufe	9. Entrées eau de refroidissement
10. Kühlwasserausläufe	10 Sorties eau de refroidissement
11. Werkhalle heiss	11. Atelier, chaud
12. ZWIBEZ-Gebäude	12. Bâtiment ZWIBEZ
13. Parkhaus	13. Parking couvert
14. Schaltanlage	14. Poste de commutation
15. Wasserkraftwerk	15. Centrale hydraulique
16. Wehranlage	16. Barrage
17. Refuna Rohrbrücke	17. Pont pour canalisations de la Refuna
18. Brücke-Strasse / Schiene	18. Pont routier / ferroviaire
19. Sportanlage	19. Installation sportive

20. Wohnhäuser	20. Bâtiments d'habitation
21. Grundwasserbrunnen	21. Fontaine des eaux souterraines

Fig. 2.2-5

allemand	français
Layout mit Bauflächen	Présentation avec surfaces de construction
Permanente Nutzflächen	Surfaces utiles permanentes
Temporäre Nutzflächen	Surfaces utiles temporaires
Bestehende Gebäude	Bâtiments existants
Nicht benutzte Flächen	Surfaces libres
Besonderer Grundwasserschutz	Protection des eaux particulière
Taubereich	Secteur de retenue
Nicht bearbeitet	Non traité
Vom Wildtierübergang beansprucht	Occupé par le point de passage pour le gibier

Fig. 2.3-1

allemand	français
110 Reaktorgebäude	110 Bâtiment du réacteur
120 Reaktornebengebäude	120 Bâtiment annexe au réacteur
155 Abluftkamin	155 Cheminée d'évacuation
160 Gebäude für die Konditionierung radioaktiver Abfälle	160 Bâtiment de conditionnement des déchets radioactifs
165 Notstromdieselgebäude	165 Bâtiment de diesel de secours
210 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente	210 Stockages destinés aux éléments combustibles usés
215 Lager für radioaktive Abfälle	215 Stockage des déchets radioactifs
310 Maschinenhaus	310 Bâtiment des machines
610 Kühlturm	610 Tour de refroidissement
615 Hauptkühlwasserpumpenhaus	615 Station de pompage de l'eau de refroidissement du réacteur
640 Nebenkühlwasseranlagen	640 Installations d'eau de refroidissement auxiliaire
Industriegebiet Stüdlihau	Zone industrielle de Stüdlihau
420 Unterwerk / Schaltanlage	420 Centrale inférieure / Poste de commutation
Bestehende Gebäude	Bâtiments existants

Fig. 3.2-1

allemand	français
Geografische Lage des Standorts Beznau	Situation géographique du site de Beznau
Deutschland	Allemagne
Schweiz	Suisse
Mit Übersichtskarte	Avec carte synoptique

Fig. 3.2-2

allemand	français
Geografie der näheren Umgebung des Standorts (idem Fig. 2.2-1)	Géographie des environs immédiats du site (idem illustration 2.2-1)

Fig. 3.2-3

allemand	français
Verteilung der Gemeinden um den Standort	Répartition des communes autour du site
Deutschland	Allemagne
Schweiz	Suisse
Gemeinden	Communes

Fig. 3.2-4

allemand	français
Bevölkerungszahlen in den Gefahrensektoren	Chiffres de la population dans les secteurs de danger
Bevölkerungszahlen der Zonen 1 und 2	Chiffres de la population dans les zones 1 et 2
Schweiz und Deutschland	Suisse et Allemagne
Gefahrensektor	Secteur de danger
ca. Anzahl Einwohner	Nombre approximatif d'habitants

Fig. 3.2-5

allemand	français
Notfallschutzzone 1 für die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt	Zone de protection 1 en cas d'urgence pour les centrales nucléaires de Beznau et de Leibstadt
KKW Beznau + Leibstadt	Centrales nucléaires de Beznau et de Leibstadt
Notfallplanung Begrenzung der Zone 1 Gemeindegrenze Zone 1	Plan de protection en cas d'urgence Limite de la zone 1 Frontière communale Zone 1
Erstellungsdatum 15. August 2008	Établi le 15 août 2008
Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo	Reproduit avec l'autorisation de swisstopo

Fig. 3.2-6/7/8

allemand	français
Gefahrensektoren 1 und 4 der Notfallschutzzone 2	Secteurs de danger 1 et 4 de la zone de protection en cas d'urgence 2
KKW Beznau + Leibstadt	Centrales nucléaires de Beznau et de Leibstadt
Notfallplanung Zone 2	Plan de protection en cas d'urgence zone 2
Gefahrensektor	Secteur de danger
Wind aus Richtung	Vent soufflant de
Erstellungsdatum 15. August 2008	Établi le 15 août 2008

Fig. 3.2-9

allemand	français
Bevölkerungszahlen in den Kreissektoren	Chiffres de la population dans les zones concentriques
Bevölkerung pro Kreissektor	Population par zone concentrique
3 km Umkreis	Dans un rayon de 3 km

Fig. 3.2-10

allemand	français
Bevölkerungsentwicklung in Kanton Aargau und in Baden-Württemberg	Évolution de la population dans le canton d'Argovie et dans le Bade-Wurtemberg
Entwicklung der ständigen Wohnbevölkerung, Kanton Aargau, 1991-2050	Évolution de la population résidante permanente, canton d'Argovie, 1991-2050
Nach den 3 Grundszenarien	Selon les 3 scénarios de base
Anzahl Personen	Nombre de personnes
Beobachtungen	Évolutions observées
Mittleres Szenario	Scénario „moyen"
Hohes Szenario	Scénario „haut"
Tiefes Szenario	Scénario „bas"
Quelle: BFS, SCENARIO	Source : OFS, SCENARIO
Künftige Entwicklung der Bevölkerung in Baden-Württemberg bis zum Jahr 2050*)	Future évolution de la population dans le Bade-Wurtemberg jusqu'en 2050*)
in Mill.	En millions
*) Ab 2006 Ergebnisse der Landesvorausrechnung Basis 31. Dezember 2005 (Variante 1: Zuwanderungen mit einem Wanderungssaldo von + 17 000 Personen jährlich ; Variante 2: höhere Zuwanderungen mit Wanderungsgewinne von durchschnittlich + 24 000 Personen pro Jahr).	*) À partir de 2006, résultats du calcul prévisionnel, base au 31 décembre 2005 (variante 1: migrations avec un taux du solde migratoire de + 17 000 personnes par an ; variante 2: migrations plus élevées avec gain migratoire de + 24 000 personnes en moyenne par an).

Fig. 3.2-11

allemand	français
Transiente Bevölkerung in den Kreissektoren	Population transitoire dans les zones concentriques
Transiente Bevölkerung pro Kreissektor	Population transitoire par zone concentrique
3 km Umkreis	Dans un rayon de 3 km

Fig. 3.2-12

allemand	français
Bodennutzung in der näheren Umgebung des Standorts	Utilisation des sols à proximité immédiate du site
Nutzungsplan Kulturland	Plan d'affectation des terres cultivables
Legende	Légende
Bachkataster	Cadastre des cours d'eau
Alle Gewässer ohne Dolungen	Tous les cours d'eau sans les rivières sous voûtes
Wanderwege	Sentiers de randonnée pédestre
Hartbelag	Revêtement dur
Naturbelag	Revêtement naturel
BLN-Gebiete	Zones IKP
Grundwasserschutzzonen	Zones de protection des eaux souterraines
Grundwasserschutzareale	Surfaces de protection des eaux souterraines
Kulturobjekte	Objets culturels
Naturobjekte	Objets naturels
Hochstammostbestände	Vergers à hautes tiges

Geschützter Waldrand	Lisière protégée
Uferschutzstreifen	Bande de protection riveraine
Hecken	Haies
Weiher	Étangs
Landschaftsschutzzone	Zone de protection
Nutzungszonen Kulturland	Zone d'affectation terres cultivables
Landwirtschaftszonen	Zones agricoles
Rebbauzonen	Zones viticoles
SPZ Bodenunabh. Landwirtschaft	Agriculture non tributaire du sol (zones agricoles spéciales)
Naturschutzzone	Zone de protection de la nature
NSZ (Feuchtstandort)	ZPN (marécage)
NSZ im Wald	ZPN (en forêt)
Freizeit, Erholung	Loisirs, détente
Übergangszone	Zone intermédiaire
Abbauzone	Zone d'extraction de matériaux
Militär	Militaire
Spezialzone	Zone spéciale
Übriges Gebiet	Zone restante
Wald	Forêt
Spezielle Überlagerungen	Superpositions spéciales
Siedlungsgebiet	Agglomération

Weitgehend überbaut	Largement bâti
Gemeindegrenzen	Frontières communales
Quelle: AGIS, Kt. AG	Source: AGIS, canton AG

Fig. 3.2-13

allemand	français
Bodenutzung innerhalb der Notfallschutzzone 2 in der Schweiz	Utilisation des sols à l'intérieur de la zone de protection en cas d'urgence 2 en Suisse
Nutzung	Utilisation
Bestockt (Wald)	Surface boisée (forêt)
Landwirtschaft	Agriculture
Unproduktiv (meist Wasser)	Zone non productive (essentiellement: eau)
Überbaut (meist Siedlung)	Bâti (essentiellement: habitat)

Fig. 3.3-1

allemand	français
Übersichtsplan industrielle Gefährdungen	Plan d'ensemble des risques industriels
Chemierisikokataster	Cadastre des risques chimiques
Kantonsgrenze	Frontière cantonale
Aargau	Argovie
Gemeindegrenzen	Frontières communales
Chemierisikokataster	Cadastre des risques chimiques
Gewerbe, Industrie- und Infrastrukturbetriebe	Entreprises artisanales, industrielles et infrastructures
Sportanlagen	Installations sportives

Nationalstrassen: Mobile Risiken	Routes nationales: risques mobiles
Kantonsstrassen: Mobile Risiken	Routes cantonales: risques mobiles
Eisenbahnnetz: Mobile Risiken	Réseau ferroviaire: risques mobiles
Gewässernetz ab LK25 (1982): Hauptflüsse	Réseau hydrologique à partir de LK25 (1982): principaux cours d'eau
Wasserflächen	Plans d'eau
Haupt- und Nebenflüsse Kt. AG	Cours d'eau principaux et secondaires du canton d'Argovie
Ergänzungen suisseplan Ingenieure AG	Compléments suisseplan Ingenieure S.A.
Erdgashochdruckleitung 28"/70 bar	Conduite de gaz naturel à haute pression 28"/70 bar
DRM-Station Remigen	Station de détente et de mesure SDM de Remigen
Schieberstation Unterendingen	Poste de commande des vannes à Unterendingen

Fig. 3.3-2

allemand	français
Überdruck ausserhalb der DRM-Station nach Explosion eines stöchiometrischen Gas-Luft-Gemisches im Gasraum (480 m^3) der Station	Surpression en dehors de la station de détente et de mesure après explosion d'un mélange stœchiométrique gaz-air dans le local de gaz (480 m^3) de la station
Verlauf der Druckwelle	Déroulement de l'onde de choc
Letalitätsradius R10	Rayon de létalité R10
Überdruck [bar]	Surpression [bar]
Abstand [m]	Distance [m]

Fig. 3.3-3

allemand	français
Distanz der unteren Explosionsgrenze in Abhängigkeit von der plötzlich freigesetzten Menge	Distance de la limite inférieure d'explosibilité dépendant de la quantité dégagée spontanément
Zünddistanz [m]	Distance d'embrasement [m]
Menge [t]	Quantité [t]
Spontane Freisetzung	Dégagement spontané
Hohe, windparallele Wand	Mur élevé, parallèle au vent
Ebenes Gelände	Terrain plat

Fig. 3.3-4

allemand	français
Gefährdungen durch Transportwege	Dangers présentés par les voies de transport
Feuerball Personen im Freien infolge Hitzestrahlung (gem. Rahmenbericht 97)	Boule de feu , personnes à l'air libre, suite à un rayonnement de chaleur (selon rapport-cadre 97)
Letalitätsradius	Rayon de létalité
3-facher Feuerballradius bei Freisetzung und Zündung von 20 t Flüssig-Propangas	Triple rayon de la boule de feu lors d'un dégagement et d'un embrasement de 20 t de propane liquide
3-facher Feuerballradius bei Freisetzung und Zündung von 46 t Flüssig-Propangas	Triple rayon de la boule de feu lors d'un dégagement et d'un embrasement de 46 t de propane liquide
Hauptstrasse Böttstein-Villigen	Route principale reliant Böttstein à Villigen
Bahnlinie SBB	Ligne ferroviaire CFF
Kantonsstrasse Nr. 5	Route cantonale n° 5
Erdgashochdruckleitung 28"/70 bar	Conduite de gaz naturel à haute pression 28"/70 bar

Fig. 3.4-1

allemand	français
GEV-Verteilung der Temperatur für Basel 1981-2007, Buchs 1984-2007 und Beznau 1987-2007 basierend auf tiefsten (links) und höchsten (rechts) Stundenmitteln pro Monat der Temperatur [°C]	Répartition GEV des températures pour Bâle, de 1981 à 2007, Buchs, de 1984 à 2007 et Beznau, de 1987 à 2007 basée sur la moyenne horaire mensuelle la plus basse (à gauche) et la plus haute (à droite) de la température [°C]
GEV Min. Temperatur Basel 1981-2007	Température min. GEV pour Bâle 1981-2007
GEV Max. Temperatur Basel 1981-2007	Température max. GEV pour Bâle 1981-2007

Fig. 3.4-2

allemand	français
Normierte Verteilung der Feuchtkugel-Temperatur in der Periode 1987-2007 für Basel (blau) und Buchs (grün)	Répartition normalisée de la température de bulbe humide pendant la période de 1987 à 2007 pour Bâle (en bleu) et Buchs (en vert)
Ganzjahres Verteilung Feuchtkugeltemperatur	Répartition de la température de bulbe humide sur une année entière
Basel	Bâle
Normierte Verteilung	Répartition normalisée
Feuchtkugeltemperatur [°C]	Température de bulbe humide [°C]

Fig. 3.4-3

allemand	français
Normierte Verteilung der relativen Feuchte in der Periode 1987-2007 für Basel und Buchs sowie in der Periode 2002-2006 für Leibstadt	Répartition normalisée de l'humidité relative pendant la période de 1987 à 2007 pour Bâle et Buchs et pendant la période de 2002 à 2006 pour Leibstadt
Ganzjahres Verteilung relative Feuchte	Répartition de l'humidité relative sur une année entière
Normierte Verteilung	Répartition normalisée
Relative Feuchte [%]	Humidité relative [%]

Fig. 3.4-4

allemand	français
Verteilung der Vereisungsgefahr in Funktion der Tageszeit	Répartition du danger de givrage en fonction de l'heure de la journée
Tageszeitabhängigkeit der Vereisungsgefahr	Danger de givrage en fonction de l'heure de la journée
Normierte Häufigkeit	Fréquence normalisée
Tageszeit [h]	Heure [h]

Fig. 3.4-5

allemand	français
Normierte Verteilung des atmosphärischen Drucks in der Periode 1987-2007 für Basel und Buchs	Répartition normalisée de la pression atmosphérique pour Bâle et Buchs dans la période de 1987 à 2007
Ganzjahres Verteilung Druck	Répartition de la pression atmosphérique sur une année entière
Normierte Verteilung	Répartition normalisée
Druck [hPa]	Pression [hPa]

Fig. 3.4-6

allemand	français
GEV-Verteilung der Böenspitzen für Basel 1981-2007 16 m, Buchs 1984-2007 10 m, Leibstadt 1987-2007 10 m und 110 m und PSI 1992-2007 70 m ü.B. [m/s]	Répartition GEV des rafales de vent à Bâle, de 1981 à 2007, à 16 m, à Buchs, de 1984 à 2007, à 10 m, à Leibstadt, de 1987 à 2007, à 10 et 110 m et au PSI, de 1992 à 2007, à 70 m du sol [m/s]
Histogramm	Histogramme
Wind gust [m/s]	Rafale de vent [m/s]

Fig. 3.4-7

allemand	français
GEV-Verteilung des maximalen 10-min. Mittels der Windgeschwindigkeit für Beznau 1987-2007 10 m und 70 m, Leibstadt 1987-2007 10 m und 110 m und PSI 1992-2007 70 m ü.B. [m/s]	Répartition GEV de la moyenne maximale sur 10 min. de la vitesse du vent à Beznau, de 1987 à 2007, à 10 m et 70 m, à Leibstadt, de 1987 à 2007, à 10 et 110 m et au PSI, de 1992 à 2007, à 70 m du sol [m/s]
Wind speed [m/s]	Vitesse du vent [m/s]

Fig. 3.4-8

allemand	français
GEV-Verteilung für das maximale Stundenmittel der Windgeschwindigkeit für Basel 1981-2007 16 m und Buchs 1984-2007 10 m, Beznau 1987-2008 10 m und 70 m, Leibstadt 1987-2007 10 m und 110 m und PSI 1992-2007 70 m ü.B. [m/s]	Répartition GEV de la moyenne horaire maximale de la vitesse du vent à Bâle, de 1981 à 2007, à 16 m, à Buchs, de 1984 à 2007, à 10 m, à Beznau, de 1987 à 2007, à 10 m et 70 m, à Leibstadt, de 1987 à 2007, à 10 et 110 m et au PSI, de 1992 à 2007, à 70 m du sol [m/s]

Fig. 3.4-9

allemand	français
Zeitreihe der monatlichen Böenspitzen PSI 70 m ü.M. ab 01/1992 mit den Niveaus der 50-, 100- und 200-jährigen Ereignisse	Série chronologique des rafales de vent maximales mensuelles au PSI, à 70 d'altitude, à partir du 01/1992 au niveau des événements sur 50, 100 et 200 ans
Monatliche Böenspitze [m/s]	Rafales de vent maximales [m/s]
50-Jahre	50 ans
Monate seit 01/1992	Mois depuis 01/1992

Fig. 3.4-15

allemand	français
Jährliche Windrichtungsverteilung für Basel, Buchs und Beznau 10 und 70 m ü.B. und Leibstadt 10 und 70 m ü.B.	Répartition annuelle de la direction du vent à Bâle, Buchs et Beznau, à 10 et 70 m du sol et Leibstadt, à 10 et 70 m du sol
Windrichtungsverteilung Basel	Répartition de la direction du vent à Bâle
Windrichtung	Direction du vent

Fig. 3.4-17

allemand	français
GEV-Verteilung der stündlichen Niederschlagsmengen [mm] für Basel 1981-2007, Buchs 1984-2007, Beznau 1987-2007 und Leibstadt 1987-2007	Répartition GEV des hauteurs de précipitations horaires [mm] pour Bâle, de 1981 à 2007, Buchs, de 1984 à 2007, Beznau, de 1987 à 2007 et Leibstadt, de 1987 à 2007
GEV stündliche Regenmenge Basel 1981-2007	Hauteur des précipitations horaires GEV à Bâle 1981-2007
Regenmenge pro Stunde [mm]	Quantité de pluie par heure [mm]

Fig. 3.4-18

allemand	français
GEV-Verteilung der täglichen Niederschlagsmengen [mm] für Basel 1865-1980, Basel 1981-2007, Buchs 1984-2007, Beznau 1987-2007 und Leibstadt 1987-2007	Répartition GEV des hauteurs de précipitations journalières [mm] pour Bâle, de 1865 à 1980, Bâle, de 1981 à 2007, Buchs, de 1984 à 2007, Beznau, de 1987 à 2007 et Leibstadt, de 1987 à 2007
GEV tägliche Regenmenge Basel 1865-1980	Hauteur de précipitations journalières GEV pour Bâle 1865-1980
Regenmenge pro Tag [mm]	Quantité de pluie par jour [mm]

Fig. 3.4-19

allemand	français
GEV-Verteilung der 5-tägigen Niederschlagsmengen [mm] für Basel 1865-1980, Basel 1981-2007, Buchs 1984-2007, Beznau 1987-2007 und Leibstadt 1987-2007	Répartition GEV des hauteurs de précipitations journalières à 5 jours [mm] pour Bâle, de 1865 à 1980, Bâle, de 1981 à 2007, Buchs, de 1984 à 2007, Beznau, de 1987 à 2007 et Leibstadt, de 1987 à 2007
GEV 5-tägliche Regenmenge Basel 1865-1980	Hauteur de précipitations journalières GEV à 5 jours pour Bâle 1865-1980
Regenmenge pro 5 Tage [mm]	Quantité de pluie à 5 jours [mm]

Fig. 3.4-20

allemand	français
Höchste vorgekommene Gesamtschneehöhe pro Jahr in Basel 1931–2007 und Buchs 1984–2007.	Hauteur d'enneigement totale maximum par an à Bâle, de 1931 à 2007 et à Buchs, de 1984 à 2007
Schneehöhe [cm]	Hauteur d'enneigement [cm]
Basel	Bâle
Jahr	Année

Fig. 3.4-24

allemand	français
Blitzdichteverteilung	Répartition de la densité de foudroiement
Anzahl Erdblitze pro km^2	Nombre de coups de foudre par km^2

Fig. 3.4-25

allemand	français
Blitzdichteverteilung	Répartition de la densité de foudroiement

Fig. 3.4-26

allemand	français
Blitzdichteverteilung	Répartition de la densité de foudroiement

Fig. 3.4-27

allemand	français
Mittlere Temperatur (Verlängerung)	température moyenne (prolongement de la série statistique)
Berechnet	valeurs calculées
Gleitendes Mittel	Moyenne glissante
Messung	Valeurs mesurées
Jahr	Année
Temperatur [°C]	Température [°C]

Fig. 3.4-28

allemand	français
Mittlere Temperatur 1865-2007	Température moyenne
Jahresmittel	Moyenne annuelle
gleitendes Mittel (15-Jahre)	Moyenne glissante (sur 15 ans)

Fig. 3.4-29

allemand	français
Mittleres jährliches Tagesminimum 1865-2007	Moyenne annuelle des minima journaliers
Mittleres Tagesminimum	Minimum journalier moyen
Gleitendes Mittel (15-Jahre)	Moyenne glissante (sur 15 ans)
Temperatur [°C]	Température [°C]
Jahr	Année
Mittleres jährliches Tagesmaximum 1865-2007	moyenne annuelle des maxima journaliers (1865-2007)
Mittleres Tagesmaximum	Maximum journalier moyen

Fig. 3.4-30

allemand	français
Jährlicher Niederschlag 1865-2007	Précipitations annuelles (1865-2007)
Jahressumme	Cumul annuel
Gleitendes Mittel (15-Jahre)	Moyenne glissante (sur 15 ans)
Niederschlag [mm]	Précipitations [mm]
Jahr	Année

Fig. 3.4-31

allemand	français
T-Scenario (Ts-Tc) CHN	Scénario de températures (Ts-Tc) CHN
DJF	Décembre janvier février
MAM	Mars avril mai
JJA	Juin juillet août
SON	Septembre octobre novembre
Season	Saison

Fig. 3.4-32

allemand	français
Klimaentwicklung 21. Jahrhundert: Temperaturen	Evolution du climat au 21ème siècle : températures
Wintertemperatur (DJF) Zürich 1865-2007	Températures d'hiver (décembre janvier février), Zurich, 1865-2007
Klimaszenario „Schweiz 2050"	Scénario climatique « Suisse 2050 »
Abweichung vom Durchschnitt 1961-1990	Ecart par rapport à la moyenne sur 1961-1990
Erwärmung gegenüber 1990	Réchauffement par rapport à 1990
Abweichung °C	Ecart (°C)
Erwärmung °C	Réchauffement (°C)
Sommertemperatur (JJA) Zürich 1864-2007	Températures d'été (juin juillet août), Zurich, 1864-2007
© MeteoSchweiz	© MétéoSuisse

Fig. 3.4-33

allemand	français
Charakteristischer Staudruck Beznau	Pression dynamique caractéristique à Beznau
q_p [kN/m^2]	q_p [kN/m^2]
Gebäudehöhe [m]	Hauteur de bâtiment [m]

Fig. 3.4-34

allemand	français
Standortvergleich Temperatur R^2=0.99	Comparaison de la température entre sites R^2=0,99
Temperatur Tagesmittel [°C]	Moyenne journalière des températures [°C]
Standortvergleich Wind R^2=0.67	Comparaison du vent entre sites R^2=0,67
Windgeschwindigkeit Tagesmittel [m/s]	Moyenne journalière des vitesses de vent à

Fig. 3.4-35

allemand	français
PDF - Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion	Fonction de densité de probabilité (PDF)
Zufallsvariable X	Variable aléatoire X
CDF – Kumulative Verteilungsfunktion	Fonction de répartition cumulée (CDF)
Zufallsvariable X	Variable aléatoire X

Fig. 3.4-36

allemand	français
GEV wind gust 10m Buchs	Distribution GEV des rafales à 10 m du sol (Buchs)
Histogramm	Histogramme
GEV PDF	Distribution GEV de la fonction de densité de probabilité
wind gust [m/s]	Rafales [m/s]
Probability Density	Densité de probabilité

Fig. 3.4-36

allemand	français
Kumulative Verteilungsfunktion F(X)	Fonction de répartition cumulée F(X)

Fig. 3.5-1

allemand	français
Quellennachweis/Herkunft der Daten: -Bundesamt für Landestopographie: Kartendaten -Kantonale Vermessungsämter: Übersichtspläne -Nordostschweizerische Kraftwerke: Anlagendaten	Référence bibliographique/Origine des données : - Office fédéral de topographie : données cartographiques - Offices cantonaux du cadastre : plans d'ensemble - Société électrique Nordostschweizerische Kraftwerke : données relatives aux centrales
Stauwehr	Barrage régulateur
Oberflächenwasser Stauwehr-Standorte der grösseren ober- und unterliegenden Wasserkraftwerke	Eaux de surface Emplacements des barrages régulateurs des grandes centrales hydrauliques en amont et en aval

Fig. 3.5-3

allemand	français
Grenchen	Granges
Solothurn	Soleure
Biel	Bienne
Aare	Aar
Alte Aare	Ancienne Aar
Bielersee	Lac de Bienne
Hagneckkanal	Canal de Hagneck
Grosses Moos	Grand marais
Austrittsstellen, resp. Überflutungsbereiche	Points de débordement et zones d'inondation
Bern	Berne

Fig. 3.5-4

allemand	français
BRUGG *Steinerne Strassenbrücke über die Aare (untere Seite)*	*BRUGG* *Pont routier en pierre sur l'Aar (côté arrière)*
Hochwasser	Crue

Fig. 3.5-5

allemand	français
Sehr gross	Très importantes
Gross	Importantes
Mittel	Moyennes
Klein	Faibles

Fig. 3.5-6

allemand	français
Jahresmax	Maxima annuels
Rekonstruierte Hochwasser	Crues reconstituées
JGK	CEJ
Jahr	Année
Abfluss [m^3/s]	Débit [m^3/s]

Fig. 3.5-7

allemand	français
Wiederkehrperiode [Jahre]	Période de retour [années]
Aare-Brugg, Hist HW	Aar-Brugg, crues historiques
Reuss-Mellingen, Hist HW	Reuss-Mellingen, crues historiques
Limmat-Baden, Hist HW	Limmat-Baden, crues historiques
Unterschreitungswahrscheinlichkeit [%]	Probabilité de non dépassement [%]
Abfluss [m^3/s]	Débit [m^3/s]

Fig. 3.5-8

allemand	français
Wiederkehrperiode [Jahre]	Période de retour [années]
Aare-Untersiggenthal, Hist HW	Aar-Untersiggenthal, crues historiques
Szenarien	Scénarios
Unterschreitungswahrscheinlichkeit [%]	Probabilité de non dépassement [%]
Abfluss [m^3/s]	Débit [m^3/s]

Fig. 3.5-9/10

allemand	français
Mittlere DK	Courbe moyenne
Tage	Jours
Abfluss [m^3/s]	Débit [m^3/s]

Fig. 3.5-11

allemand	français
Aare - Untersiggenthal	Aar - Untersiggenthal
Abfluss- Monatsmittel	Débit-Moyenne mensuelle
Mittelwert – min, max	Valeur moyenne – min, max
Monat	Mois

Fig. 3.5-12

allemand	français
Jahres-Niedrigwasser	Année de basses eaux
Wiederkehrperiode	Période de retour
Jahre	Années
Jahresabfluss-Minima	Minimum de débit annuel
Überschreitungswahrscheinlichkeit	Probabilité de dépassement

Fig. 3.5-13/14

allemand	français
Anzahl Perioden	Nombre de périodes
Klassen [Tage]	Classes [Jours]
Abfluss	Débit
Datum	Date

Fig. 3.5-15

allemand	français
HW Ganglinien	Régime hydrographique crue
Abfluss [m^3/s]	Débit [m^3/s]
Synthetische Ganglinie	Régime hydrographique synthétique
Anstiegszeit 6 h mit 150 m3/h	Durée de montée des eaux 6 h avec 150 m3/h
Dauer peak 8 h	Durée du pic de crue 8 h
Absteigender steiler Ast (20 m3/s) bis zu 75 % von Qmax	Branche descendante raide (20 m3/s) jusqu'à 75 % de Qmax
Absteigender flacher Ast (10 m3/s) bis zum Basisabfluss	Branche descendante plate (10 m3/s) jusqu'au débit de base

Fig. 3.5-16

allemand	français
Mit Rückstau Wehrbrücke	Avec la retenue du barrage-pont
1 Wehröffnung geschlossen	1 pertuis fermé
Maximale Wassertiefe	Hauteur d'eau maximale
Legende	Légende

Fig. 3.5-17

allemand	français
Abfluss	Débit
Stunden	Heures

Fig. 3.5-18

allemand	français
Neue Anlagen	Nouvelles installations
Bruch KW Wettingen	Rupture KW Wettingen
Maximale Wassertiefe	Hauteur d'eau maximale

Fig. 3.5-19

allemand	français
Neue Anlagen	Nouvelles installations
Sequentieller Bruch KRA und KWWB	Rupture séquentielle KRA et KWWB
Maximale Wassertiefe	Hauteur d'eau maximale

Fig. 3.5-20

allemand	français
Neue Anlagen	Nouvelles installations
Kombinierter Bruch KRA, KWWB, KWW	Rupture combinée KRA, KWWB, KWW
Maximale Wassertiefe	Hauteur d'eau maximale

Fig. 3.5-21

allemand	français
HW Ganglinien	Régime hydrographique crue
Abfluss	Débit
Überlastfall	Cas de surcharge
Tag	Jour

Fig. 3.5-22

allemand	français
PMF (Schätzung)	PMF (estimation)
Mit Rückstau Wehrbrücke	Avec la retenue du barrage-pont
1 Wehröffnung geschlossen	1 pertuis fermé
Maximale Wassertiefe	Hauteur d'eau maximale

Fig. 3.5-23

allemand	français
DK Mittel	Courbe moyenne
Tag	Jour
Temperatur [°C]	Température [°C]

Fig. 3.5-24

allemand	français
Temperatur- Jahresmittel	Températures moyennes annuelles
Jahr	Année

Fig. 3.5-26

allemand	français
Anzahl Jahre mit gefrorenen grossen Seen oder Flüssen in der Schweiz und Angaben zu sehr kalten Wintern (9.-21. Jahrhundert) sowie Seegfrörni Zürich- und Bodensee	Nombre d'années avec gel sur les grands lacs et les cours d'eau en Suisse et données sur les hivers très froids (du IXe au XXIe siècle), ainsi que sur les gels complets des lacs de Zurich et de Constance
Anzahl Jahre mit gefrorenen grossen Seen und Flüssen	Nombre d'années avec grands lacs et cours d'eau gelés
Sehr kalte Winter nach Maurer, Direktor SMA	Hivers très froids d'après Maurer, directeur SMA
Volle Seegfrörni Zürichsee	Gels complets du lac de Zurich
Volle Seegfrörni Bodensee	Gels complets du lac de Constance
Anzahl	Nombre
Jahrhundert	Siècle

Fig. 3.5-27

allemand	français
Gefrieren von Schweizer Mittellandseen im Vergleich zur Aare im Bereich des Wasserschlosses	Gel des lacs du Plateau suisse en comparaison avec l'Aar dans la région du Wasserschloss
Gefrieren CH-Seen	Gel des lacs suisses
Aaregfrörni	Gel de l'Aar
Sempachersee	Lac de Sempach
Sarnersee	Lac de Sarnen
Baldeggersee	Lac de Baldegg
Hallwilersee	Lac de Hallwil
Greifensee	Lac de Greifensee

Bielersee	Lac de Bienne
Murtensee	Lac de Morat
Oberer Zürichsee	Haut-lac de Zurich
Untersee	Lac inférieur
Gefroren	Gel
Jahr	Année

Fig. 3.5-28

allemand	français
Mittelwerte der Winterabflüsse der Messstation Aare-Untersiggenthal	Débits hivernaux moyens à la station de mesure Aar-Untersiggen
Abfluss Aare-Untersiggenthal, Mittelwerte Winterhalbjahr	Débit Aar-Untersiggenthal, valeurs moyennes du semestre d'hiver
Aaregfrörni	Gel de l'Aar
Q Aare-U'Siggenthal, Wintermittel (1.12. Vorj. – 28.2. laufendes Jahr)	Moyennes hivernales Aar-U'Siggenthal (du 1.12. ann. préc. au 28.2 ann. en cours)
3-Monatsmittel	Moyennes trimestrielles
Q Aare-U'Siggenthal, Wintermittel (1.10. Vorj. – 31.3. laufendes Jahr)	Moyennes hivernales Aar-U'Siggenthal (du 1.10. ann. préc. au 31.3 ann. en cours)
Wintermittel	Moyennes hivernales
Q mittel	Moyenne
Jahr	Année

Fig. 3.5-29

allemand	français
Anzahl Frosttage der Stationen Bern und Basel im Winterhalbjahr (01.10. Vorjahr bis 31.03.)	Nombre de jours avec gel dans les stations de Berne et Bâle pendant le semestre d'hiver (du 1er octobre de l'année précédente au 31 mars)
Anzahl Frosttage im Winterhalbjahr	Nombre de jours de gel au semestre d'hiver
Basel	Bâle
Bern	Berne
Aaregfrörni	Gel de l'Aar
Linear	Linéaire
Tage	Jours
Jahr	Année

Fig. 3.5-30

allemand	français
Anzahl Tage mit Mitteltemperaturen < -10 °C der Stationen Bern und Basel im Winterhalbjahr (01.10. Vorjahr bis 31.03.)	Nombre de jours avec une température moyenne < -10 °C aux stations de Berne et Bâle pendant le semestre d'hiver (du 1er octobre de l'année précédente au 31 mars)
Anzahl Tage mit T < = -10°C im Winterhalbjahr	Nombre de jours avec T<= -10°C au semestre d'hiver
Basel	Bâle
Bern	Berne
Aaregfrörni	Gel de l'Aar
Linear	Linéaire
Tage	Jours
Jahr	Année

Fig. 3.5-31

allemand	français
Summe der negativen Tagesmittelwerte mit Trend und 3-Monats-Mittel des Abflusses	Somme des températures moyennes journalières négatives avec tendance et moyennes trimestrielles du débit
Negative Degree Days (NDD) im Winterhalbjahr	Negative degree days (NDD) au semestre d'hiver
Basel	Bâle
Bern	Berne
Aaregfrörni	Gel de l'Aar
Q Aare-U'Siggenthal, Wintermittel (1.12. Vorj. – 28.2. laufendes Jahr)	Moyennes hivernales Aar-U'Siggenthal (du 1.12. ann. préc. au 28.2 ann. en cours)
Linear	Linéaire
NDD [°C Tage]	Degrés-jours NDD [°C]
Jahr	Année
Q mittel (Dez. – Feb.)	Moyenne (déc.-févr.)

Fig. 3.5-32

allemand	français
Frostgradtage mit Trend, gleitendem Durchschnitt und Winterminimaltemperatur	Degrés-jours de gel avec tendance, moyenne mobile et température hivernale minimale
Frostgradtage	Degrés-jours de gel
Basel	Bâle
Bern	Berne
Aaregfrörni	Gel de l'Aar
Linear	Linéaire
10 Per. Gleitender Durschnitt	Moyenne mobile 10 pér.
Temp. Summe [°C]	Somme températures [°C]
Min. Wintertemperatur [°C]	Température hivernale min. [°C]
Jahr	Année

Fig. 3.5-33

allemand	français
Dauer minimale Frostgradtage mit Trend, gleitendem Durchschnitt und Winterminimaltemperatur	Durée des degrés-jours de gel minimaux avec tendance, moyenne mobile et températures hivernales minimales
Dauer minimale Frostgradtageperiode	Durée des degrés-jours de gel minimaux
Basel	Bâle
Bern	Berne
Aaregfrörni	Gel de l'Aar
Dauer Frostgradtagperiode [Tage]	Durée de la période des degrés-jours de gel (jours)
Min. Wintertemperatur [°C]	Température hivernale min. [°C]

Basel (Minimum)	Bâle (minimum)
Bern (Minimum)	Berne (minimum)
Linear (Bern)	Linéaire (Berne)
Linear (Basel)	Linéaire (Bâle)
10 Per. Gleitender Durschnitt (Bern)	Moyenne mobile 10 pér. (Berne)
10 Per. Gleitender Durschnitt (Basel)	Moyenne mobile 10 pér. (Bâle)

Fig. 3.6-1

allemand	français
Isohypsen der Felsoberfläche, Raum Beznau	Isohypses de la surface supérieure du socle rocheux, région de Beznau
Spur der Mandacher Überschiebung	Tracé du chevauchement de Mandach
1:5000 KILOMETER	1:5000 KILOMETRES
Legende Bohrung (schwarz) mit Angabe Topfels in müM (braun)	Légende Forage (noir) avec indication de top-rock en m (brun)
Reaktorgebäude	Bâtiments du réacteur
Oberkante Fels müM	Bord supérieur de la roche en m. s. m.
Quelle: Interoil E & P Switzerland AG	Source: Interoil E & P Switzerland AG

Fig. 3.6-2

allemand	français
Situation1:5000, Isohypsen des Grundwasserspiegels Juli 2008	Carte au 1:5000, isopièzes du niveau des eaux souterraines, juillet 2008
Projekt EKKB, Insel Beznau	Projet EKKB, île de Beznau
Gemeinde Döttingen / AG	Commune de Döttingen / AG

Hydrogeologische Verhältnisse	Hydrogéologie
Situation 1: 5000	Carte au 1:5000
Isohypsen des Grundwasserspiegels	Isopièzes du niveau des eaux souterraines
Juli 2008	Juillet 2008
Kernbohrung	Forage carotté
Grundwasserfassung	Captage des eaux souterraines
Grundwasserspiegel am 11.07.2008	Niveau des eaux souterraines le 11 juillet 2008
Isohypsen des Grundwasserspiegels am 11.07.2008	Isopièzes du niveau des eaux souterraines le 11 juillet 2008
Kote Flusswasserspiegel	Cote du niveau des eaux souterraines
Aare wirkt als Infiltrant	L'Aar agit comme infiltrant
Aare wirkt als Vorfluter	L'Aar agit comme récepteur
Quellennachweis/Herkunft der Daten	Sources
Bundesamt für Landestopographie: Kartendaten	Office fédéral de topographie: données cartographiques
Bundesamt für Statistik: GEOSTAT-Produkte	Office fédéral de la statistique: produits GEOSTAT
Kantonale Vermessungsämter: Übersichtspläne	Bureaux cantonaux de mesure: cartes synoptiques
Nordostschweizerische Kraftwerke: Anlagedaten	Forces Motrices du Nord-Est de la Suisse: données sur les installations

Fig. 3.6-3

allemand	français
Infiltrations- / Vorflutverhältnisse	Infiltrations / régime du milieu récepteur
Stausee Klingnau	Lac de retenue de Klingnau
Grenze des Grundwasserstromes	Limite de l'écoulement des eaux souterraines
Aare	Aar
Insel Beznau	Ile de Beznau
Wasserkraftwerk Beznau	Centrale hydraulique de Beznau
Kanal	Canal
Stauwehr	Barrage de retenue
Uferstreck	Secteur de la rive
Infiltration der Aare ins Grundwasser	Infiltration de l'Aar dans les eaux souterraines
Vorflutwirkung der Aare	Réception par l'Aar

Fig. 3.6-4

allemand	français
Ganglinien des Grundwasserspiegels in ausgewählten Pumpwerken, 1975-2007	Courbes de la surface des eaux souterraines dans des stations de pompages sélectionnées, 1975-2007
M ü.M	Mètres au-dessus du niveau de la mer
PW AM Hängelweg	SP (=station de pompage) Am Hängelweg
Nano Brunnen	Puits Nano
GWF 11.22	Captage 11.22

Fig. 3.6-5

allemand	français
Situation mit Lage der Grundwasserfassungen im Unteren Aaretal (Stand Juni 2008)	Carte des captages d'eau souterraine dans la vallée inférieure de l'Aar (état juin 2008)
Legende	Légende
Trinkwasser	Eau potable
Brauchwasser	Eaux industrielles
Wärme / Kühlung	Chaleur / Refroidissement
Landwirtschaft	Exploitation agricole
Notfassung / Zivilschutz	Captage de secours / Protection civile
Konz.-Nr./konz. Entnahme	N° concess./prélèvement concess.

Fig. 3.6-6

allemand	français
Situation mit Lage der Temperaturmessstellen und Chemie-Messstellen im Umfeld des KKB	Emplacement des points de mesure des températures et des paramètres chimiques dans les environs de la centrale nucléaire de Beznau
Legende	Légende
Temperatur-Messstelle	Point de mesure température
Temp./Chemie-Messstelle	Point de mesure température/chimie
Chemie-Messstelle	Point de mesure chimie
BAFU-Messstelle Untersiggenthal	Point de mesure OFEV Untersiggenthal
Quellennachweis/Herkunft der Daten	Sources
Bundesamt für Landestopographie:	Office fédéral de topographie: données

Kartendaten	cartographiques
Bundesamt für Statistik: GEOSTAT-Produkte	Office fédéral de la statistique: produits GEOSTAT
Kantonale Vermessungsämter: Übersichtspläne	Bureaux cantonaux de mesure: cartes synoptiques
Nordostschweizerische Kraftwerke: Anlagedaten	Forces Motrices du Nord-Est de la Suisse: données sur les installations
Gewässerüberwachung KKB	Surveillance des eaux KKB
Lage der Temperaturmesstellen und Messtellen für chemische Probenahme	Situation des points de mesure de température et des points de mesure pour la prise d'échantillons chimiques
NOK Nordostschweizerische Kraftwerke	NOK Forces motrices du Nord-Est de la Suisse

Fig. 3.6-7

allemand	français
Chemische Beschaffenheit des Aarewassers bei Felsenau, Teil 1	Caractéristiques chimiques des eaux de l'Aar près de Felsenau, partie 1
Kernkraftwerk Beznau NOK	Centrale nucléaire de Beznau NOK
Werk/Anlage: KKB / Grundwasser-Überw.	Centrale/Installation: KKB / surv. eaux souterraines
Messart: Chemische Wasseruntersuchungen	Type de mesure: analyses chimiques de l'eau
Messstelle:Aare Felsenau (I)	Point de mesure: Aar Felsenau (I)
Auswertung: Ganglinie	Présentation: courbes
Periode: 01.01.1976 – 17.03.2008	Période: 01.01.1976 – 17.03.2008
Wassertemperatur	Température de l'eau
pH-Wert	Valeur pH
Temperatur [°C]	Température [°C]

El. Leitfähigkeit	Conductivité él.
Leitf. [yS/cm]	Conductiv. [yS/cm]
Kaliumpermanganat-Verbrauch	Consommation en permanganate de potassium
Ammoniak/Ammonium	Ammoniac/Ammonium
Nitrit	Nitrites

Fig. 3.6-8

allemand	français
Chemische Beschaffenheit des Aarewassers bei Felsenau, Teil 2	Caractéristiques chimiques des eaux de l'Aar près de Felsenau, partie 2
Kernkraftwerk Beznau NOK	Centrale nucléaire de Beznau NOK
Werk/Anlage: KKB / Grundwasser-Überw	Centrale/Installation: KKB / surv. eaux souterraines
Messart: Chemische Wasseruntersuchungen	Type de mesure: analyses chimiques de l'eau
Messstelle: Aare Felsenau (II)	Point de mesure: Aar Felsenau (II)
Auswertung: Ganglinie	Présentation: courbes
Periode: 01.01.1976 – 17.03.2008	Période: 01.01.1976 – 17.03.2008
Phosphat	Phosphates
Karbonathärte	Dureté carbonatée
Gesamthärte	Dureté totale
Phosph. [mg/l P]	Phosph. [mg/l P]
Härte [fr. H°]	Dureté [fr.H]
Chlorid	Chlorures
Sulfat	Sulfates

Eisen	Fer
Mangan	Manganèse
Sauerstoff	Oxygène
Sauerstoffsättigung	Saturation en oxygène
O2-Sätt. [%]	Sat. O2 [%]

Fig. 3.6-9

allemand	français
Chemische Provinzen, Karbonathärte und Sauerstoffgehalt	Zones chimiques, dureté carbonatée et teneur en oxygène
Chemische Grundwasserprovinzen	Zones chimiques des eaux souterraines
O2 > 5 mg/l, Karbonathärte > 26°	O2 > 5 mg/l, dureté carbonatée > 26°
Fe-haltig	ferrugineuse
H2S nachgewiesen	mise en évidence de H2S
Sauerstoff in mg/l O2	Oxygène en mg/l O2

Fig. 3.6-10

allemand	français
Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im Pumpwerk Beznau, Teil 1	Caractéristiques des eaux souterraines à la station de pompage de Beznau, partie 1
Kernkraftwerk Beznau NOK	Centrale nucléaire de Beznau NOK
Werk/Anlage: KKB / Grundwasser-Überw	Centrale/Installation: KKB / surv. eaux souterraines
Messart: Chemische Wasseruntersuchungen	Type de mesure: analyses chimiques de l'eau
Messstelle: 11.22 (I)	Point de mesure: 11.22 (I)
Auswertung: Ganglinie	Présentation: courbes
Periode: 01.01.1976 – 17.03.2008	Période: 01.01.1976 – 17.03.2008
Wassertemperatur	Température de l'eau
pH-Wert	Valeur pH
Temperatur [°C]	Température [°C]
El. Leitfähigkeit	Conductivité él.
Leitf. [yS/cm]	Conductiv. [yS/cm]
Kaliumpermanganat-Verbrauch	Consommation en permanganate de potassium
Ammoniak/Ammonium	Ammoniac/Ammonium
Nitrit	Nitrites
Eisen	Fer
Mangan	Manganèse
Sauerstoff	Oxygène
Sauerstoffsättigung	Saturation en oxygène

Fig. 3.6-11

allemand	français
Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im Pumpwerk Beznau, Teil 2	Caractéristiques chimiques des eaux souterraines à la station de pompage de Beznau, partie 2
Kernkraftwerk Beznau NOK	Centrale nucléaire de Beznau NOK
Werk/Anlage: KKB / Grundwasser-Überw	Centrale/Installation: KKB / surv. eaux souterraines
Messart: Chemische Wasseruntersuchungen	Type de mesure: analyses chimiques de l'eau
Messstelle:	Point de mesure:
Auswertung: Ganglinie	Présentation: courbes
Periode: 01.01.1976 – 17.03.2008	Période: 01.01.1976 – 17.03.2008
Karbonathärte	Dureté carbonatée
Gesamthärte	Dureté totale
Phosph. [mg/l P]	Phosph. [mg/l P]
Härte [fr. H°]	Dureté [fr. H°]
Chlorid	Chlorures
Sulfat	Sulfates
Eisen	Fer
Mangan	Manganèse
Sauerstoff	Oxygène
Sauerstoffsättigung	Saturation en oxygène
O2-Sätt. [%]	Sat. O2 [%]

Fig. 3.6-12

allemand	français
Ganglinien der Temperatur in den Aaremessstellen T 22 und Untersiggenthal, 1984-2007	Courbes de température aux points de mesure de l'Aar T 22 et Untersiggenthal, 1984-2007
Trendlinie Aare T22	Tendance Aar T22

Fig. 3.6-13

allemand	français
Situation mit Lage der Temperaturmessstellen im Umfeld des KKB	Emplacement des points de mesure des températures dans les environs de la centrale nucléaire de Beznau
Legende	Légende
Temperatur-Messstelle	Point de mesure des températures
Temp./Chemie-Messstelle	Point de mesure température/chimie
Chemie-Messstelle	Point de mesure des paramètres chimiques
BAFU-Messstelle	Point de mesure OFEV
Quellennachweis/Herkunft der Daten	Sources
Bundesamt für Landestopographie: Kartendaten	Office fédéral de topographie: données cartographiques
Bundesamt für Statistik: GEOSTAT-Produkte	Office fédéral de la statistique: produits GEOSTAT
Kantonale Vermessungsämter: Übersichtspläne	Bureaux cantonaux de mesure: cartes synoptiques
Nordostschweizerische Kraftwerke: Anlagedaten	Forces Motrices du Nord-Est de la Suisse: données sur les installations
Gewässerüberwachung KKB	Surveillance des eaux KKB
Lage der Temperaturmesstellen und Messtellen für chemische Probenahme	Situation des points de mesure de température et des points de mesure pour la prise d'échantillons chimiques

Objekt-Nr.	Objet n°

Fig. 3.6-14

allemand	français
Angaben zu den Temperaturamplituden und zur Temperaturverzögerung	Indications sur les amplitudes et le décalage de température
Temperaturamplituden 1975 in °C	Amplitudes de température 1975 en °C
Temperaturverzögerung	Décalage de température
Jahresamplitude der Grundwassertemperatur	Amplitude annuelle de la température des eaux souterraines
Verzögerung der Grundwassertemperatur gegenüber der Aare	Décalage de la température des eaux souterraines par rapport à l'Aar
< 2 Monate	< 2 mois

Fig. 3.6-15

allemand	français
Ganglinien der Fluss- und Grundwassertemperatur in ausgewählten Messstellen 1968-2007	Courbes de température de la rivière et des eaux souterraines sur des points de mesure sélectionnés 1968-2007
Inbetriebnahme KKB, 1969/71	Mise en service KKB 1969/1971

Fig. 3.6-16

allemand	français
Querprofil bestehender Gebäude	Profil transversal des bâtiments existants
Projekt EKKB, Insel Beznau	Projet EKKB, île de Beznau
Gemeinde Döttingen / AG	Commune de Döttingen / AG
Hydrogeologische Verhältnisse	Données hydrogéologiques
Querprofil Süd 1:5000/500	Profil transversal sud 1:5000/500

Bereich best. KKB, hydrogeologisch bearbeitet	Région de la KKB existante, traitée du point de vue hydrogéologique
Oberflächenschichten	Couches de surface
Niederterassenschotter	Alluvions des terrasses basses
Hochterassenschotter	Alluvions des terrasses hautes
Stauer (Fels, Moräne)	Obstacle (roche, moraine)
Grundwasserspiegel bei Mittelwasser	Niveau de la nappe souterraine par moyennes eaux
Bestehendes KKB	KKB existante
Hauptstrasse	Route principale
Aare	Aar
Best. KKW Beznau	KKW Beznau existante
Aarekanal	Canal de l'Aar
VS 20 (projiziert)	VS 20 (projeté)
SBB	CFF
Gebäude 2UM	Bâtiment 2UM
Reaktor Block 1	Réacteur bloc 1
Quellennachweis/Herkunft der Daten	Sources
Bundesamt für Landestopographie: Kartendaten	Office fédéral de topographie: données cartographiques
Bundesamt für Statistik: GEOSTAT-Produkte	Office fédéral de la statistique: produits GEOSTAT
Kantonale Vermessungsämter: Übersichtspläne	Bureaux cantonaux de mesure: cartes synoptiques
Nordostschweizerische Kraftwerke: Anlagedaten	Forces Motrices du Nord-Est de la Suisse: données sur les installations

Fig. 3.6-17

allemand	français
Querprofil EKKB	Profil transversal EKKB
Projekt EKKB, Insel Beznau	Projet EKKB, île de Beznau
Gemeinde Döttingen / AG	Commune de Döttingen / AG
Hydrogeologische Verhältnisse	Données hydrogéologiques
Querprofil Nord 1:5000/500	Profil transversal nord 1:5000/500
Bereich KKB, hydrogeologisch bearbeitet	Région de la KKB, traitée du point de vue hydrogéologique
Oberflächenschichten	Couches de surface
Niederterassenschotter	Alluvions des terrasses basses
Hochterassenschotter	Alluvions des terrasses hautes
Stauer (Fels, Moräne)	Obstacle (rocher, moraine)
Grundwasserspiegel bei Mittelwasser	Niveau de la nappe souterraine par moyennes eaux
EKKB (Gebäude auf Profillinie liegend)	EKKB (bâtiment situé sur la ligne du profil)
EKKB (ca. 130 m nach S projiziert)	EKKB (projeté env. 130 m vers le sud)
Aare	Aar
Aarekanal	Canal de l'Aar
VS 20 (projiziert)	VS 20 (projeté)
SBB	CFF
Quellennachweis/Herkunft der Daten	Sources
Bundesamt für Landestopographie: Kartendaten	Office fédéral de topographie: données cartographiques

Bundesamt für Statistik: GEOSTAT-Produkte	Office fédéral de la statistique: produits GEOSTAT
Kantonale Vermessungsämter: Übersichtspläne	Bureaux cantonaux de mesure: cartes synoptiques
Nordostschweizerische Kraftwerke: Anlagedaten	Forces Motrices du Nord-Est de la Suisse: données sur les installations

Fig. 3.6-18

allemand	français
Ausschnitt aus der Grundwasserkarte des Kantons Aargau	Extrait de la carte des eaux souterraines du canton d'Argovie
Projekt EKKB, Insel Beznau	Projet EKKB, île de Beznau
Gemeinde Döttingen / AG	Commune de Döttingen / AG
Hydrogeologische Verhältnisse	Données hydrogéologiques
Ausschnitt aus der Grundwasserkarte des Kantons Aargau, 1:35 000	Extrait de la carte des eaux souterraines du canton d'Argovie, 1:35 000
Blatt Zurzach	Feuille de Zurzach
Schotter-Grundwasserleiter in Tälern	Aquifères des zones alluvionnaires dans les vallées
Gebiet geringer Grundwassermächtigkeit (meist weniger als 2 m) oder geringer Durchlässigkeit. Randgebiet mit unterirdischer Entwässerung zum Grundwassernutzungsgebiet.	Zone de faible épaisseur de la nappe souterraine (souvent moins de 2 m) ou de faible perméabilité. Zone périphérique avec drainage souterrain vers une zone d'exploitation des eaux souterraines.
Für vertikale Fassungen nur selten geeignet.	Rarement appropriée à des captages verticaux.
Nachgewiesen	Prouvé
Vermutet	Supposé
Gebiet mittlerer Grundwassermächtigkeit (2 bis 10 m) für kleine bis mittelgrosse vertikale Fassungen geeignet.	Zone de moyenne épaisseur de la nappe souterraine (2 à 10 m), appropriée à des captages verticaux petits à moyens

Gebiet grosser Grundwassermächtigkeit (10 bis 20 m) für grosse vertikale Fassungen geeignet	Zone de grande épaisseur de la nappe souterraine (10 à 20 m), appropriée à de grands captages verticaux.
Gebiet sehr grosser Grundwassermächtigkeit (mehr als 20 m)	Zone de très grande épaisseur de la nappe souterraine (plus de 20 m)
Bedeckung von Grundwasserleitern	Couverture des aquifères
Schlecht durchlässige Deckschichten von meist mehr als 5 m Mächtigkeit (Moränen, Seebodenlehme, Schwemmlehme)	Couches peu perméables atteignant souvent plus de 5 m d'épaisseur (moraines, argiles lacustres ou alluvionnaires)
Schotter-Grundwasserleiter über den Tälern	Aquifères des zones alluvionnaires au-dessus des vallées
Gebiet geringer Grundwassermächtigkeit (meist weniger als 2 m) oder geringer Durchlässigkeit. Quellbildner an Talhängen oder auf Hochplateaux. Für Quellfassungen meist geeignet. Randgebiet mit unterirdischer Entwässerung zum Grundwassernutzungsgebiet.	Zone de faible épaisseur de la nappe souterraine (souvent moins de 2 m) ou de faible perméabilité. Formation de sources sur le flanc des vallées ou sur des hauts plateaux. Souvent appropriée aux captages de sources. Zone périphérique avec drainage souterrain vers une zone d'exploitation des eaux souterraines.
Gebiet mittlerer Grundwassermächtigkeit (2 bis 10 m) für kleine bis mittelgrosse vertikale Fassungen geeignet.	Zone de moyenne épaisseur de la nappe souterraine (2 à 10 m), appropriée à des captages verticaux petits à moyens.
Hydrogeologische Angaben	Données hydrogéologiques
Isohypsen des Grundwasserspiegels bei Hochwasserstand	Isopièzes du niveau de la nappe souterraine par hautes eaux
Quelle, ungefasst / gefasst	Source captée / non captée
Grundwasserfassung	Captage d'eau souterraine
Detailplan 1:20 000	Carte détaillée 1:20 000
Quellennachweis/Herkunft der Daten	Sources
Bundesamt für Landestopographie: Kartendaten	Office fédéral de topographie: données cartographiques
Bundesamt für Statistik: GEOSTAT-Produkte	Office fédéral de la statistique: produits GEOSTAT

Kantonale Vermessungsämter: Übersichtspläne	Bureaux cantonaux de mesure: cartes synoptiques
Nordostschweizerische Kraftwerke: Anlagedaten	Forces Motrices du Nord-Est de la Suisse: données sur les installations

Fig. 3.6-19

allemand	français
Isohypsen der Felsoberfläche / Untergrenze Schotter	Isohypses de la surface rocheuse / de la limite inférieure des alluvions
Legende	Légende
Schotter-Untergrenze im Fliessmodell (m. ü. M.)	Limite inférieure des alluvions dans le modèle d'écoulement (en m)

Fig. 3.6-20

allemand	français
Verteilung der Durchlässigkeitswerte im Modell	Distribution des valeurs de la perméabilité dans le modèle

Fig. 3.6-21

allemand	français
Hydraulische Ergebnisse der Modellanalyse	Résultats de l'analyse du modèle hydraulique
Projekt EKKB, Insel Beznau	Projet EKKB, île de Beznau
Gemeinde Döttingen / AG	Commune de Döttingen / AG
Grundwassermodellierung	Modélisation de la nappe souterraine
Situation: 1:10 000	Carte 1:10 000
Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Mittelwasser MW	Isopièzes de la surface des eaux souterraines par moyennes eaux ME
Flusskraftwerk	Centrale au fil de l'eau
Notstand-Brunnen KKB 1+2	Puits de secours KKB 1+2
Wehr	Barrage

Fig. 3.6-24

allemand	français
Situation 1:5000 mit Lage des Nano-Brunnens (HB), des Notbrunnens (NB), der Versuchsbrunnen VB1 und VB2 sowie von Beobachtungsstellen	Carte au 1:5000 avec emplacements du puits Nano (HB), du puits de secours (NB), des puits d'essai VB1 et VB2, ainsi que des points d'observation
Stauwehr	Barrage de retenue
Uferweg	Berge

Fig. 3.6-25

allemand	français
10-tägiger Pumpversuch im Notstandsbrunnen Februar 1988 (Q = 240 l/s), Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Ganglinien der Grundwasserspiegel	Essai de pompage de dix jours dans le puits de secours en février 1988 (Q = 240 l/s), comparaison entre les courbes mesurées et calculées du niveau de la nappe souterraine
m ü. M	m
Januar	Janvier
Februat	Février
Gemessen	Mesuré
Simuliert	Simulé
Notstandbrunnen (sog. Nano)	Puits de secours (appelé Nano)

Fig. 3.6-26

allemand	français
Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Niederwasser	Isopièzes de la surface de la nappe souterraine par basses eaux
Projekt EKKB, Insel Beznau	Projet EKKB, île de Beznau
Gemeinde Döttingen / AG	Commune de Döttingen / AG
Grundwassermodellierung	Modélisation de la nappe souterraine
Situation: 1:10 000	Situation: 1:10 000
Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Niederwasser NW	Isopièzes de la surface des eaux souterraines par basses eaux BE
Flusskraftwerk	Centrale au fil de l'eau
Notstand-Brunnen KKB 1+2	Puits de secours KKB 1+2
Wehr	Barrage

Fig. 3.6-27

allemand	français
Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Mittelwasser und Notstandsbetrieb nach 30 Tagen (500 l/s)	Isopièzes de la surface de la nappe souterraine par moyennes eaux et fonctionnement de secours après 30 jours (500 l/s)
Projekt EKKB, Insel Beznau	Projet EKKB, île de Beznau
Gemeinde Döttingen / AG	Commune de Döttingen / AG
Grundwassermodellierung	Modélisation de la nappe souterraine
Situation: 1:10 000	Situation: 1:10 000
Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Niederwasser NW	Isopièzes de la surface de la nappe souterraine par basses eaux BE
Pumpbetrieb im bestehenden und im neuen Notstand-Brunnen	Pompage dans les puits de secours existant et nouveau

Pumpmenge gesamt 500 l/s (Zustand nach 30 Tagen)	Quantité totale: 500 l/s (état après 30 jours)
Notstand-Brunnen EKKB	Puits de secours EKKB
Notstand-Brunnen KKB 1+2	Puits de secours KKB 1+2
Flusskraftwerk	Centrale au fil de l'eau
Wehr	Barrage

Fig. 3.6-28

allemand	français
Ganglinien der Grundwasserspiegel in den Notstandsbrunnen (Projekt-Zustand MW)	Courbes de la nappe souterraine dans les puits de secours (état du projet ME)
Grundwasserstand (m ü. M.)	Niveau de la nappe souterraine (m)
Zeit [Tage]	Temps (jours)

Fig. 3.6-29

allemand	français
Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Niederwasser und Notstandsbetrieb nach 30 Tagen (500 l/s)	Isopièzes de la surface de la nappe souterraine par basses eaux et fonctionnement de secours après 30 jours (500 l/s)
Projekt EKKB, Insel Beznau	Projet EKKB, île de Beznau
Gemeinde Döttingen / AG	Commune de Döttingen / AG
Grundwassermodellierung	Modélisation de la nappe souterraine
Situation: 1:10 000	Situation: 1:10 000
Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Mittelwasser MW	Isopièzes de la surface de la nappe souterraine par moyennes eaux ME
Pumpbetrieb im bestehenden und im neuen Notstand-Brunnen	Pompage dans les puits de secours existant et nouveau

Pumpmenge gesamt 500 l/s (Zustand nach 30 Tagen)	Quantité totale: 500 l/s (état après 30 jours)
Notstand-Brunnen EKKB	Puits de secours EKKB
Notstand-Brunnen KKB 1+2	Puits de secours KKB 1+2
Flusskraftwerk	Centrale au fil de l'eau
Wehr	Barrage

Fig. 3.6-31

allemand	français
Isohypsen der Grundwasseroberfläche bei Mittelwasser und Wegfallen der Stauhaltung ; Pumpbetrieb im bestehenden und im neuen Notstandsbrunnen: gesamt 500 l/s (Zustand nach 30 Tagen)	Isopièzes de la surface de la nappe souterraine par moyennes eaux, en cas de perte de la retenue ; pompage dans les puits de secours existant et nouveau: 500 l/s au total (état après 30 jours)
Notstand-Brunnen	Puits de secours

Fig. 3.6-32/34/36

allemand	français
Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im PW Unterwald, Döttingen, Teil 1	Propriétés chimiques des eaux souterraines à la SP Unterwald, Döttingen, partie 1
Kernkraftwerk Beznau NOK	Centrale nucléaire de Beznau NOK
Werk/Anlage: KKB / Grundwasser-Überw.	Centrale/Installation: KKB / surv. eaux souterraines
Messart: Chemische Wasseruntersuchungen	Type de mesure: analyses chimiques de l'eau
Messstelle: 11.16 (I)	Point de mesure: 11.16 (I)
Auswertung: Ganglinie	Présentation: courbes
Periode: 01.01.1976 – 17.03.2008	Période: 01.01.1976 – 17.03.2008
Wassertemperatur	Température de l'eau
pH-Wert	Valeur pH
Temperatur [°C]	Température [°C]
el. Leitfähigkeit	Conductivité él.
Leitf. [yS/cm]	Conductiv. [yS/cm]
Kaliumpermanganat-Verbrauch	Consommation en permanganate de potassium
Ammoniak/Ammonium	Ammoniac/Ammonium
Nitrit	Nitrites
Nitrat	Nitrates

Fig. 3.6-33/35/37

allemand	français
Chemische Beschaffenheit des Grundwassers im PW Unterwald, Döttingen, Teil 2	Propriétés chimiques des eaux souterraines à la SP Unterwald, Döttingen, partie 2
Kernkraftwerk Beznau NOK	Centrale nucléaire de Beznau NOK
Werk/Anlage: KKB / Grundwasser-Überw.	Centrale/Installation: KKB / surv. eaux souterraines
Messart: Chemische Wasseruntersuchungen	Type de mesure: analyses chimiques de l'eau
Messstelle: 11.16 (II)	Point de mesure: 11.16 (II)
Auswertung: Ganglinie	Présentation: courbes
Periode: 01.01.1976 – 17.03.2008	Période: 01.01.1976 – 17.03.2008
Phosphat	Phosphates
Karbonathärte	Dureté carbonatée
Gesamthärte	Dureté totale
Härte [fr. H°]	Dureté [fr. H°]
Chlorid	Chlorures
Sulfat	Sulfates
Eisen	Fer
Mangan	Manganèse
Sauerstoff	Oxygène
Sauerstoffsättigung	Saturation en oxygène

Fig. 3.6-38

allemand	français

Ganglinien der Temperatur in der Aare, Messstelle T22, Oberwasserkanal, 1968-2007	Courbes de température de l'Aar, point de mesure T22, canal supérieur, 1968-2007
Temperatur (°C)	Température (°C)
Lage	Situation
Oberwasserkanal bei hydraulischem KW	Canal supérieur près de la centrale hydraulique
Bemerkungen	Remarques
T ca. 10-12° C, unbeeinflusst durch Betrieb KKB	T env. 10-12° C, non influencée par l'exploitation de la KKB

Fig. 3.6-39

allemand	français
Ganglinien der Temperatur in der Aare, Messstelle T4, unterhalb des KKB, 1976-2007	Courbes de température de l'Aar, point de mesure T4, au-dessous de la KKB, 1976-2007
Temperatur (°C)	Température (°C)
Lage	Situation
Aare rechtes Ufer unterhalb Kühlwassereinläufen KKB	Rive droite de l'Aar au-dessous des arrivées d'eaux de refroidissement de la KKB
Bemerkungen	Remarques
T ca. 17-20°C, deutlich beeinflusst durch Betrieb KKB	T env. 17-20° C, nettement influencée par l'exploitation de la KKB

Fig. 3.6-40

allemand	français
Ganglinien der Temperatur im Beobachtungsrohr 518, 1968-2007	Courbes de température dans le tube d'observation 518, 1968-2007
Temperatur (°C)	Température (°C)
Lage	Situation
Beznau-Insel, zwischen den Kühlwasserausläufen	Ile de Beznau, entre les écoulements des eaux de refroidissement
Bemerkungen	Remarques
Deutliche Aufwärmung nach Betriebsaufnahme KKB	Net réchauffement après la mise en service de la KKB

Fig. 3.6-41

allemand	français
Ganglinien der Temperatur im PW Unterwald, Döttingen (11.16), 1976-2007	Courbes de température à la station de pompage Unterwald, Döttingen (11.16), 1976-2007
Temperatur (°C)	Température (°C)
Lage	Situation
Gebiet Unterwald, Zuströmbereich KKB	Région de l'Unterwald, en amont de la KKB
Bemerkungen:	Remarques:
Homoterm, tendenzieller Anstieg seit Mitte der 90-er Jahre, Klimaeffekt	Homotherme, tendance à la hausse depuis le milieu des années 1990, effet du climat

Fig. 3.6-42

allemand	français
Ganglinien der Temperatur im Beobachtungsrohr 553T, 1968-2007	Courbes de température dans le tube d'observation 553T, 1968-2007
Temperatur (°C)	Température (°C)
Lage	Situation
Linkes Aareufer Nahbereich, tiefer Teil Grundwassersäule	Zone proche de la rive gauche de l'Aar, partie inférieure de la colonne d'eau souterraine
Bemerkungen	Remarques
Homoterm, tendenzieller Anstieg seit 80-er Jahren	Homotherme, tendance à la hausse depuis les années 1980

Fig. 3.6-43

allemand	français
Ganglinien der Temperatur im Beobachtungsrohr 555H, 1968-2007	Courbes de température à la station de pompage Unterwald, Döttingen (11.16), 1976-2007
Temperatur (°C)	Température (°C)
Lage	Situation
Linkes Aareufer entfernter Bereich, oberer Teil Grundwassersäule	zone éloignée de la rive gauche de l'Aar, partie supérieure de la colonne d'eau souterraine
Bemerkungen	Remarques
Deutliche Schwankungen, tendenzieller Anstieg seit 80-er Jahren	Nettes variations, tendance à la hausse depuis les années 1980

Fig. 3.6-44

allemand	français
Ganglinien der Temperatur im Beobachtungsrohr 558, 1968-2007	Courbes de température dans le tube d'observation 558, 1968-2007
Temperatur (°C)	Température (°C)

Fig. 3.6-45

allemand	français
Ganglinien der Temperatur im Brunnen 1001, Kleindöttingen, 1968-2007	Courbes de température dans le puits 1001, Kleindöttingen, 1968-2007
Temperatur (°C)	Température (°C)
Lage	Situation
Dorfgebiet Kleindöttingen, Nahbereich links der Aare	Région du village de Kleindöttingen, zone proche sur la rive gauche de l'Aar
Bemerkungen	Remarques
Mässige Schwankungen, tendenzieller Anstieg in den 80-er und 90-er Jahren	Variations modérées, tendance à la hausse dans les années 1980 et 1990

Fig. 3.6-46

allemand	français
Ganglinien der Temperatur im PW beim Schulhaus, Kleindöttingen (11.08), 1968-2007	Courbes de température à la SP Beim Schulhaus, Kleindöttingen (11.08), 1968-2007
Temperatur (°C)	Température (°C)
Lage	Situation
Dorfgebiet Kleindöttingen, entfernter Bereich links der Aare	région du village de Kleindöttingen, zone éloignée sur la rive gauche de l'Aar
Bemerkungen	Remarques
Geringe Schwankungen, tendenzieller Anstieg seit den 80-er Jahren	Variations minimes, tendance à la hausse depuis les années 1980
Geomorphologie des unteren Aaretals	géomorphologie de la vallée inférieure de l'Aar
Talweg der tiefsten quartären Felsrinnen	Talweg des sillons les plus profonds du Quaternaire

Fig. 3.7-2

allemand	français
Bohrprofil der Bohrung Beznau (vereinfachte Version [53])	Profil du forage de Beznau (version simplifiée de [53])
Bohrort und Ø	Lieu du forage et diamètre
Höhen mü.M.	Altitude
Geologische Identifikation	Identification géologique
Tiefen ab OK Terrain	Profondeurs à partir du bord supérieur du terrain
Beschreibung des Bohrgutes	Description des carottes de forage
Kote OK Terrain	Cote bord supérieur du terrain
Rot KB Ø 145-206mm	Forage carotté par rotation Ø 145-206mm
Quartär	Quaternaire
Würm	Würmien
Niederterrasenschotter, siltig-sandiger Kies mit Blocken	Graviers silto-sableux à blocs des terrasses alluvionnaires inférieures
Rotationskernbohrung mit Doppelkernrohr Ø 101 mm	Forage carotté par rotation avec double tube Ø 101 mm
Grundmoräne: lehmiger, siltig-sandiger Kies mit Blocken, hartgelagert	Moraine de fond sablo-gravelo-silteuse à blocs
Unterer	Inférieur
Opalinus Ton: dunkle, feingeschichtete, mergelige Tone und tonige Mergel, meist leicht siltig, fest	Argiles à Opalinus: argiles marneuses et marnes argileuses consolidées légèrement silteuses et finement délitées
Jura	Jurassique
Jurensis-Mergel: dunkle, merkelige Kalke mit Kalkknaur	Marnes à Jurensis: calcaires argileux sombres à concrétions

Mittlerer und oberer	Moyen et supérieur
Posidonienschiefer: dunkle, tonige Mergel, teils bituminös	Schistes à Posidonia: marnes argileuses sombres légèrement bitumineuses
Unterer	Inférieur
Amaltheensch. und Numismalis-Schichten: vorwiegend mergelige Kalke	Schistes à Amaltheus et Numismalis: calcaires marneux
Obtusus-Tone: dunkle kalk- und Tonmergel, teils siltig, fest	Argiles à Obtusus: calcaires sombres et marnes argileuse et silteuses consolidées
Anetenkalk: helle, harte Kalke	Calcaires d'Anet: calcaires clairs, durs
Insektenmergel: dunkle, siltige Mergel und Tone	Marnes à débris d'insectes: marnes et argiles sombres, silteuses
Rotations- Seilkernbohrung mit Doppelkernrohr HQ, Ø 96 mm	Forage carotté par rotation avec double tube HQ, Ø 96 mm
Obere bunte Mergel: va grau grüne, dolomit Mergel	Marnes bigarées supérieures: marnes dolomitiques grises et verdâtres
Gansinger-Dolomit: helle s harte Dolomite, porös-drüsig	Dolomie de Gansingen: dolomie claire, dure, poreuse à cavités
Untere bunte Mergel: grüne, braune und rote Tonmergel	Marnes bigarées inférieures: marnes argileuses brunes et rougeâtres
Rotations- Seilkernbohrung mit Doppelkernrohr NQ, Ø 76 mm	Forage carotté par rotation avec double tube NQ, Ø 76 mm
Schilfsandstein: bunte, siltige Mergel, Silt- und Sandsteine	Grès à roseaux: marnes bigarrées silteuses, silts et grès
Vorw. dunkle Tone	Argiles sombres
Vorw. Ton und Anhydrid, untergeordnetet Gips als Kluftfüllung	Argiles et anhydrites avec gypse en remplissage de fissures
Vorw. Anhydrid, untergeordnetet Ton, sehr wenig Gips als Kluftfüllung	Surtout anhydrites avec peu d'argiles et très peu de gypse en remplissage de fissures
Vorw. dunkelgraue und rotbraune brockelige Tone, untergeordnet Anhydrid und Gips (meist lachsroter Fasergips als Kluftfüllung)	Surtout argiles friables gris foncé et bruns-rougeâtres avec peu d'anhydrite et de gypse (le plus souvent gypse fibreux suamon en remplissage de fissures)

Vorw. Anhydrid und Ton, sehr wenig Gips als Kluftfüllung	Surtout anhydrites et argiles avec très peu de gypse en rmplissage de fissures
Vorw. Anhydrid, wenig Ton, sehr wenig Gips	Anhydrites avec peu d'argile et très peu de gypse
Lettenkohle: vorw. Dolomit und Mergel, unten wenig Ton	Lettenkohle: dolomie et marnes peu argileuses
Trigodonus-Dolomit: beige und graue Dolomite, z.T.stark porös und drüsig und wasserführend	Dolomies à Trigonodus: dolomies grises et beiges, très poreuses, fissurées et aquifères
Oberer	Supérieur
Plattenkalk: gebankte Kalke und Dolomite	Plattenkalk: calcaires et dolomies en plaquettes
Trochitenkalk: oben kalkige Dolomite und dichte Kalke unten stark poröse und teils kavernöse	Trochitenkalk: calcaires dolomitiques et calcaires en bancs épais très poreux et partiellement caverneux
Mittlerer	Moyen
Mergelige Kalke, 287 – 290 m wasserführend	Calcaires marneux aquifères entre 287 et 290 m
Dolomit der «Anhydritgruppe»: vorw. Dolomit, porös bis kavernös, wasserführend	Dolomies de l'Anhydritgruppe: dolomies poreuses à caverneuses aquifères
Obere Sulfatschichten der «Anhydritgruppe»	Schistes supérieurs de l'Anhydritgruppe:
Mergelschichten	Mergelschichten
Anhydritschichten	Anhydritschichten

Fig. 3.7-3

allemand	français
Die Mandacher Überschiebung westlich des Aaretals (aus [96], ergänzt)	Le chevauchement de Mandach à l'ouest de la vallée de l'Aar (tiré de [96], complété)
Nach Diebhold et al. 2006: Tafel I, Profil 9	D'après Diebold et al. 2006: tableau I, profil 9
Rhein	Rhin

Mettau-Überschiebung	Chevauchement de Mettau
Mandach-Überschiebung	Chevauchement de Mandach
Vorfaltenzone	Zone des contreforts du Jura plissé
Deckgebirge	Terrain de couverture
Kristallin	Cristallin
Permokarbontrog	Fossé permo-carbonifère
Sockel	Socle
Tafeljura s. str.	Jura tabulaire au sens strict

Fig. 3.7-4

allemand	français
Übersicht über vorhandene Bohrungen und die im Rahmen des OPAL-Projekts durchgeführten Feldarbeiten	Vue d'ensemble des forages existants et des travaux de terrain effectués dans le cadre du projet OPAL
Legende	Légende
Neue seismische Linien	Nouvelles lignes sismiques
Sondierbohrung 100 m	Forage de reconnaissance 100 m
Regionale Nagra Linien	Lignes régionales Nagra
Sondierbohrung 177 m	Forage de reconnaissance 177 m
Profil in Abb. 3.7-15	Profil de la figure 3.7-15
Kernbohrung ca. 50 m	Forage carotté env. 50 m
Ältere Bohrungen	Anciens forages
Beznau Bohrung 1984	Forage de Beznau 1984

Fig. 3.7-5

allemand	français
Neuinterpretation der Felsisohypsen im Gebiet Beznau, aus vorhandenen Daten und Ergebnissen des OPAL-Standortuntersuchungsprogramms. Die beiden roten Punkte markieren die Lage der Reaktorgebäude von KKB 1 und 2 [108]	Nouvelle interprétation des isohypses du fond rocheux dans la région de Beznau, à partir des données existantes et des résultats du programme d'investigations sur le site OPAL. Les deux points rouges indiquent l'emplacement des bâtiments du réacteur de la KKB 1 et 2 [108]
Spur der Mandacher Überschiebung	Tracé du chevauchement de Mandach
Top Lias Subcrop	Top Lias Subcrop
Legende	Légende
Bohrung (schwarz) mit Angabe Topfels in müM (braun) B	Forages (noir) avec indication roches de surface en m (brun)
Reaktorgebäude	Bâtiments du réacteur
Oberkante Fels	Bord supérieur de la roche en m

Fig. 3.7-6

allemand	français
Felsisohypsen-Karte Beznau aus dem Jahr 1984 [44]	Carte de 1984 des isohypses du socle rocheux de Beznau [44]
Opalinuston	Argiles à Opalinus

Fig. 3.7-7

allemand	français
Isohypsenkarte Top Lias mit dem Verlauf der Mandacher Überschiebung südlich der Insel Beznau aus vorhandenen Daten und Ergebnissen des OPAL-Standortuntersuchungsprogramms. Die beiden roten Punkte markieren die Lage der Reaktorgebäude von KKB 1 und 2 [108]	Carte des isohypses du sommet du Lias avec le tracé du chevauchement de Mandach au sud de l'île de Beznau à partir des données disponibles et des résultats du programme de recherches sur le site OPAL. Les deux points rouges marquent l'emplacement des bâtiments du réacteur de la KKB 1 et 2 [108]
Legende	Légende
Bohrung (schwarz) mit Angabe Top Lias (braun) in müM	Forage (noir) avec indication du sommet du Lias (brun) en m
Reaktorgebäude	Bâtiments du réacteur
Oberkante Top Lias müM	Bord supérieur du Lias en m

Fig. 3.7-8

allemand	français
Ausschnitt aus der Grundwasserkarte des Kantons Aargau	Extrait de la carte des eaux souterraines du canton d'Argovie
Ausgabe 1995	Edition 1995
Schotter-Grundwasserleiter in Tälern	Aquifères des zones alluvionnaires dans les vallées
Gebiet geringer Grundwassermächtigkeit (meist weniger als 2 m) oder geringer Durchlässigkeit. Randgebiet mit unterirdischer Entwässerung zum Grundwassernutzungsgebiet.	Zone de faible épaisseur de la nappe souterraine (souvent moins de 2 m) ou de faible perméabilité. Zone périphérique avec drainage souterrain vers une zone d'exploitation des eaux souterraines.
Für vertikale Fassungen nur selten geeignet.	Rarement appropriée à des captages verticaux.
Nachgewiesen	Prouvé
Vermutet	Supposé
Gebiet mittlerer Grundwassermächtigkeit (2 bis 10 m) für kleine bis mittelgrosse vertikale Fassungen geeignet.	Zone de moyenne épaisseur de la nappe souterraine (2 à 10 m), appropriée à des captages verticaux petits à moyens.
Gebiet grosser Grundwassermächtigkeit (10 bis 20 m) für grosse vertikale Fassungen geeignet.	Zone de grande épaisseur de la nappe souterraine (10 à 20 m), appropriée à de grands captages verticaux.
Gebiet sehr grosser Grundwassermächtigkeit (mehr als 20 m)	Zone de très grande épaisseur de la nappe souterraine (plus de 20 m)
Bedeckung von Grundwasserleitern	Couverture des aquifères
Schlecht durchlässige Deckschichten von meist mehr als 5 m Mächtigkeit. (Moränen, Seebodenlehme, Schwemmlehme)	Couches de couverture peu perméables atteignant souvent plus de 5 m d'épaisseur (moraines, argiles lacustres ou alluvionnaires)
Schotter-Grundwasserleiter über den Tälern	Aquifères des zones alluvionnaires sur les plateaux
Gebiet geringer Grundwassermächtigkeit (meist weniger als 2 m) oder geringer Durchlässigkeit. Quellbildner an Talhängen	Zone de faible épaisseur de la nappe souterraine (souvent moins de 2 m) ou de faible perméabilité. Formation de sources sur le flanc

oder auf Hochplateaux. Für Quellfassungen meist geeignet. Randgebiet mit unterirdischer Entwässerung zum Grundwassernutzungsgebiet.	des vallées ou sur des hauts plateaux. Souvent appropriée aux captages de sources. Zone périphérique avec drainage souterrain vers une zone d'exploitation des eaux souterraines
Hydrogeologische Angaben	Données hydrogéologiques
Isohypsen des Grundwasserspiegels bei Hochwasserstand	Isopièzes du niveau de la nappe souterraine par hautes eaux
Quelle, ungefasst / gefasst	Source captée / non captée
Grundwasserfassung	Captage d'eau souterraine

Fig. 3.7-9

allemand	français
Tektonische Übersichtskarte (aus [96], ergänzt)	Carte tectonique synoptique (tiré de [96], complété)

Fig. 3.7-10

allemand	français
Sockelstrukturen (aus Nagra NTB 08-04 [96])	Structures du socle (tiré de Nagra NTB 08-04 [96])
Wichtige Störungen	Failles importantes
BIH Lineament de Baden-Irchel-Herdern	BIH Linéament de Baden-Irchel-Herdern
Störung	Faille
Geologie der Sockeloberfläche	Géologie de la surface du socle
Nordschweizer Permokarbontrog	Fossé permo-carbonifère du nord de la Suisse
Weitere PK-Tröge vermutet (Leu 2008)	Autres fossés PC présumés (Leu 2008)
Schaffhausen-Trog (Marchant et al. 2005)	Fossé de Schaffhouse (Marchant et al. 2005)
Perm direkt auf Kristallin	Permien directement sur le cristallin

Sockel im Allgemeinen, Permokarbon möglich	Socle en général, permo-carbonifère possible
Bohrungen mit	Forages avec
Kristallin-Hoch	Toit du cristallin
Kristallin-Aufschluss	Affleurement de cristallin
Perm	Permien
Wichtige Störungszonen im Sockel	Zones de failles importantes dans le socle
Geologische Profile (Beil. 5.2-7 bis 5.2-26)	Profils géologiques (annexes 5.2-7 à 5.2-26)
Perm + Karbon	Permien + Carbonifère

Fig. 3.7-11

allemand	français
Digitales Geländemodell des Gebietes Unterwald	Modélisation numérique du terrain de la région de l'Unterwald
Vorwald-Störung	Faille de Vorwald
Flexur von Unterendingen	Flexure d'Unterendingen
Austernnagelfluh	Pouddingue à huîtres
Endingen-Flexur	Flexure d'Endingen
Mandacher Überschiebung	Chevauchement de Mandach

Fig. 3.7-12

allemand	français
Rezente vertikale Krustenbewegungen (aus [52])	Mouvements verticaux récents de la croûte (tiré de [52])
Vergleichmassstab Höhenänderungen	Echelle comparative des changements de hauteurs
Hebungsgeschwindigkeit = 0,25 mm/a	Vitesse de soulèvement = 0,25 mm/an

Senkungsgeschwindigkeit = 0,25 mm/a	Vitesse d'affaissement = 0, 25 mm/an
Standardabweichung 0,1 mm/a	Ecart standard = 0,1 mm/an
Konfidenzinterval	Intervalle de confiance
Referenzpunkt	Point de référence
Koordinatendifferenzen und Fehlerellipsen	Différences de coordonnées et ellipses d'erreurs
Massstab 1 :1	Echelle 1 :1

Fig. 3.7-13

allemand	français
Orientierung des rezenten Spannungsfeldes (aus [96])	Orientation des contraintes récentes (tiré de [96])
Ermittelte S_H-Richtung aufgrund von Bohrdaten	Direction des S_H établie sur la base de données de forage
Grundgebirge	Soubassement rocheux
Sondierbohrungen	Forages de reconnaissance
Permokarbontrog	Fossé permo-carbonifère
Deckgebirge	Roches de couverture
Orientierung des Spannungsfelds aufgrund der Analyse von Herdflächenlösungen	Orientation des contraintes sur la base de l'analyse des mécanismes au foyer des séismes
S_H / S_h: Maximale / minimale horizontale Hauptspannung	S_H / S_h: contrainte principale horizontale maximale / minimale

Fig. 3.7-14

allemand	français
Seismizität und Herdtiefenverteilung (aus [96])	Sismicité et répartition de la profondeur des foyers (tiré de [96])
Erdbebenkatalog ECOS	Catalogue des séismes ECOS

Makroseismisch	Macrosismique
Instrumentell	Avec instruments
Magnitude M_w	Magnitude M_w
Tektonische Einheiten	Unités tectoniques
Vogesen- und Schwarzwald-Massiv	Massifs des Vosges et de la Forêt-Noire
Mittelländische Molasse, Tertiär des Oberrheingrabens und des Po-Becken	Molasse du Plateau, Tertiaire du graben du Haut-Rhin (ORG) et du bassin du Pô
Subalpine Molasse	Molasse subalpine
Tafeljura	Jura tabulaire
Faltenjura	Jura plissé
Helvetische Sedimentdecken	Couverture sédimentaire helvétique
Externmassive	Massifs externes
Penninische Sedimentdecken (inkl. Sesia-Zone)	Couverture sédimentaire pennique (zone Sesia incluse)
Penninische Kristallindecken	Nappes cristallines penniques
Ostalpine Sedimentdecken	Couverture sédimentaire des Alpes orientales
Ostalpine Kristallindecken	Nappes cristallines des Alpes orientales
Südalpin, Kristallin	Sudalpin, cristallin
Südalpin, Sedimente	Sudalpin, sédiments
Tertiäre Intrusiva (Bergell und Adamello)	Intrusions du Tertiaire (Bregaglia et Adamello)
Tertiäre Ergussgesteine (Hegau)	Roches éruptives du Tertiaire (Hegau)
Hypozentrum-Daten vorhanden	Données existantes sur l'hypocentre
Schwarzwald	Forêt-Noire

Helvetikum	Helvétique
Externmassive	Massifs externes
Penninikum	Pennique
Südalpin	Sudalpin
Rhein	Rhin
Europäische Oberkruste	Croûte européenne supérieure
Aar-Massiv	Massif de l'Aar
Adriatische Oberkruste	Croûte adriatique supérieure
Adr. Unterkruste	Croûte adriatique inférieure
Europäischer Mantel	Manteau européen
Europäische Unterkruste	Croûte européenne inférieure
Adriatischer Mantel	Manteau adriatique
Erdbeben 1975 – 2007	Séismes 1975 – 2007
Molasse, Tertiär des Oberrheingrabens	Molasse, Tertiaire du graben du Haut-Rhin
Autochthones Mesozoikum	Mésozoïque autochtone
Permokarbontröge	Fossés permo-carbonifères
Helvetische Sedimentdecken	Couverture sédimentaire helvétique
Externmassive (Aar & Gotthard)	Massifs externes (Aar & Gothard)
Spät- / post-variskische Granite	Granites varisques tardifs et post-varisques
Penninische Sedimentdecken	Couverture sédimentaire pennique
Penninische Kristallindecken	Nappes cristallines penniques
Ostalpine Decken (Sesia-Zone)	Couverture des Alpes orientales (zone Sesia)

Südalpines Tertiär	Tertiaire du sudalpin
Südalpines Mesozoikum	Mésozoïque sudalpin
Fig. 2.7-7: Seismizität in der Schweiz (detaillierte Erläuterungen s. gegenüberliegende Seite).	Figure 2.7-7: Sismicité en Suisse (explications détaillées: voir page ci-contre)

Fig. 3.7-15

allemand	français
Geologisches Profil durch das Bauareal mit dem Verlauf der Lockergesteins-schichten und der Lage der Felsoberfläche	Profil géologique de la zone de construction avec le modelé des couches de roches meubles et l'emplacement de la surface du socle rocheux
Auffüllung (D)	Remplissage (D)
Deckschicht (E)	Couche de couverture (E)
sandiger Schotter (A)	Alluvions sablonneuses (A)
Siltiger Schotter (A')	Alluvions silteuses (A')
Moräne (B)	Moraine (B)
Fels verwittert (C')	Roche altérée (C')
Fels (Opalinuston) (C)	Roche (argiles à Opalinus) (C)

Fig. 3.7-16

allemand	français
Schematischer Aufbau des Baugrundes mit Schichtmächtigkeiten	Structure schématique du sol de fondation avec épaisseurs des couches
Auffüllung (Schicht D)	Remplissage (couche D)
Deckschicht (Schicht E)	Couche de couverture (couche E)
sandiger Schotter	Alluvions sablonneuses (couche A)
siltiger Schotter (Schicht A')	Alluvions silteuses (couche A')
Verwitterter Fels (Schicht C')	Roche altérée (couche C')
Fels, Opalinuston (Schicht C)	Roche, argiles à Opalinus (couche C)
Moräne (Schicht B)	Moraine (couche B)

Fig. 3.7-19

allemand	français
Grundwassermessstellen und Isohypsen Grundwasserspiegel (11.07.2008)	Points de mesure des eaux souterraines et isopièzes du niveau de la nappe (11.07.2008)
Kernbohrung	Forage carotté
Grundwasserfassung	Captage d'eau souterraine
Grundwasserspiegel am 11.7.2008	Niveau de la nappe souterraine le 11 juillet 2008
Isohypsen des Grundwasserspiegels am 11.7.2008	Isopièzes du niveau de la nappe le 11 juillet 2008
Kote Flusswasserspiegel	Cote du niveau des eaux fluviales

Fig. 3.7-20

allemand	français
Seismische Gefährdungskarte des Schweizerischen Erdbebendienstes [107]. Dargestellt sind die erwarteten Horizontalbeschleunigungen (in m/s^2) für eine Frequenz von 5 Hz und eine Wiederkehrperiode von 10'000 Jahren.	Carte de l'aléa sismique du Service Sismologique Suisse [107]. Sont représentées les accélérations horizontales attendues (en m/s^2) pour une fréquence de 5 Hz et un temps de retour de 10'000 ans.

Fig. 3.7-21

allemand	français
Gefährdungskurve für Beznau, Horizontalkomponente für Fels, Oberfläche, PGA. Die Unsicherheits-verteilung wird durch die Mittelwert-, die Median- und die 5%-, 16%-, 84%- und 95% Fraktilkurven dargestellt.	Courbe d'aléa pour Beznau, composantes horizontales pour la roche, la surface, la PGA. La distribution des incertitudes est représentée par des courbes de valeurs moyennes, médianes et fractiles de 5%, 16%, 84% et 95%.

Fig. 3.7-22

allemand	français
Gefährdungsspektrum ('Uniform Hazard Spectrum') für Beznau, Horizontalkomponente, Fels für eine jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-4} und 5% (der kritischen) Dämpfung.	Spectre d'aléa ('Uniform Hazard Spectrum') pour Beznau, composantes horizontales, roche pour une probabilité annuelle de dépassement de 10^{-4} et 5 % d'atténuation (critique).

Fig. 3.7-23

allemand	français
PGA-Mittelwerte für harten Fels (3000 m/s) bei einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-4} im zentralen und östlichen Teil der USA (berechnet auf der Basis einer USGS-Gefährdungskarte). Die PEGASOS-Gefährdungsresultate entsprechen der gelben Farbkodierung.	Valeurs moyennes de la PGA pour des roches dures (3000 m/s) avec une probabilité annuelle de dépassement de 10^{-4} dans la partie centrale et orientale des Etats-Unis (calculées sur la base d'une carte d'aléa USGS). Les résultats d'aléa de PEGASOS correspondent à la codification jaune.

Fig. 3.7-24

allemand	français
Ausschnitt aus der PEGASOS Quellencharakterisierung-Datenbasis in der Umgebung von Beznau ('Seismotektonisches Modell').	Extrait de la base de données PEGASOS de caractérisation des sources aux environs de Beznau («modèle sismo-tectonique»)
25 km Radius um Beznau	Rayon 25 km de Beznau
Historische Erdbeben (M_W)	Séismes historiques (M_W)
Instrumentelle Erdbeben (M_W)	Séismes instrumentaux (M_W)
Herdflächenlösungen	Mécanismes au foyer
Inversion der Herdflächenlösungen	Inversion des mécanismes au foyer
Störungen	Failles
Beobachtete Über- / Aufschiebung	Faille inverse observée
Vermutete Über- / Aufschiebung	Faille inverse supposée
Blattverschiebung	Décrochement
Beobachtete Abschiebung	Faille normale observée
Vermutete Abschiebung	Faille normale supposée
Beobachtete Störung	Faille observée
Vermutete Störung	Faille supposée
In situ Spannungsmessungen	Mesures de contraintes in situ

Fig. 3.7-25

allemand	français
Architektur des Untergrundes im Bereich der Insel Beznau auf einem Ausschnitt der reflexionsseismischen Sektion 82NX40 (N: links). Deutlich erkennbar ist die mesozoische Schichtabfolge (über dem blau markierten Reflektor), die Mandacher Überschiebung (gelb) und das Grundgebirge mit den angedeuteten Randbrüchen des Permokarbontroges (rot). Der Trog mit steil nach Süden einfallenden Sedimentreflexionen ist auf der rechten Seite zu erkennen.	Architecture du sous-sol de la région de l'île de Beznau sur un détail de la section de sismique réflexion 82NX40 (nord: à gauche). On distingue nettement la séquence mésozoïque (au-dessus du réflecteur signalé en bleu), le chevauchement de Mandach (en jaune) et le soubassement, où l'on entrevoit les failles bordières du fossé permo-carbonifère (en rouge). Le fossé, bordé par des réflexions sédimentaires plongeant en pente abrupte en direction du sud, est reconnaissable dans la partie droite.

Fig. 3.7-26

allemand	français
Herdtiefenverteilungen für Magnitude 5 in der Nordschweiz. Entwickelt von den vier SP1 (Quellencharakterisierungs-) Expertengruppen	Distributions des profondeurs de foyer pour la magnitude 5 dans le nord de la Suisse. Développées par les quatre groupes d'experts du SP1 (caractérisation des sources).

Fig. 3.7-27

allemand	français
Die 10 wichtigsten Beiträge von Einzelquellen zum Mittelwert der Gefährdung in Beznau gemäss dem Quellenmodell der Expertengruppe EG1a. (Horizontalkomponente, Oberfläche, Fels, PGA). Zu beachten sind insbesondere die Gefährdungsbeiträge der alternativ modelierten 'host zones' E3A und E3B (vgl. Fig. 3.7-29 und Fig. 3.7-30).	Contributions des dix principales sources à l'aléa moyen calculé pour Beznau selon le modèle de sources du groupe d'experts EG1a. (composante horizontale, surface, rocher, PGA). Noter en particulier les contributions à l'aléa représentées par les zones hôtes modélisées à titre de variantes, E3A et E3B (cf. Figures 3.7-29 et 3.7-30).

Fig. 3.7-28

allemand	français
Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Maximalmagnituden für Quellenzonen in der Nordschweiz. Entwickelt von den 4 SP1 (Quellencharakterisierungs-) Expertengruppen.	Distributions de probabilité de la magnitude maximale pour les zones sources du nord de la Suisse. Développées par les quatre groupes d'experts du SP1 (caractérisation des sources)

Fig. 3.7-29

allemand	français
Beispiel eines Quellenzonierungsmodells der Expertengruppe EG1a. Bei dieser Modellvariante ist der Bereich des Permokarbontrogs als separate Flächenquelle (E3b) ausgeschieden ('PC Active': Yes, Gewichtung 0.3, vgl. Fig. 3.7-30). Der Gefährdungseffekt dieser Variante im Vergleich zum Modell ohne Permokarbontrog kann aus Fig. 3.7-27 abgelesen werden.	Exemple d'un modèle de zonage du groupe d'experts EG1a. Dans cette variante, la zone du fossé permo-carbonifère est délimitée en tant que zone source distincte (E3b) (PC Active: Yes, pondération 0,3, cf.Figure 3.7-30). L'effet de cette variante sur l'aléa obtenu, en comparaison du modèle sans fossé permo-carbonifère, se déduit de la figure 3.7-27

Fig. 3.7-30

allemand	français
Quellenzonierungsmodelle der Expertengruppe EG1a dargestellt als gewichtete Äste eines 'Logic Trees'. Eine erste Alternative (ganz links) sind Modelle die eine inverse Reaktivierung der Randbrüche des Permokarbontroges beinhalten ('PC Active: Yes') und andere, die das nicht tun ('PC Active: No')	Modèle de zonage des sources du groupe d'experts EG1a présenté sous formes de branches pondérées d'un arbre logique. Un premier embranchement (tout à gauche) sépare les modèles qui comprennent une réactivation inverse des failles bordières du fossé permo-carbonifère («PC Active: Yes») et les autres («PC Active: No»).

Fig. 3.7-31

allemand	français
Scherwellen-Geschwindigkeitsmodelle 1-3 am Standort KKB nach Einschätzung der vier PEGASOS SP3 (Standorteffekt-) Experten in schwarz [105]. Modell 1 sowie das blau gestrichelte Profil dienten für KKB bzw. für EKKB als Eingabe zu den provisorischen Amplifikationsberechnungen von Résonance (vgl. Fig. 3.7-32). Das zu diesem Zweck hergeleitete, provisorische EKKB-Profil berücksichtigt nur die anderen Mächtigkeiten am neuen Standort.	Modèles 1-3 des vitesses des ondes de cisaillement au site de la KKB selon l'estimation des quatre experts du SP3 (effet de site) de PEGASOS, en noir (105). Le modèle 1 et le profil traitillé en bleu ont servi d'input pour la KKB et l'EKKB respectivement en vue des calculs provisoires d'amplification de résonance (cf. Figure 3.7-32). Le profil EKKB provisoire calculé à cet effet considère seulement les épaisseurs des autres couches du nouveau site.
Scherwellengeschwindigkeit [m/s]	Vitesse des ondes de cisaillement [m/s]
PEGASOS Modell 1– KKB Input für Amplifikationsberechnungen	Modèle PEGASOS 1 – Input KKB pour les calculs d'amplification
EKKB Input für Amplifikationsberechnungen	Input EKKB pour les calculs d'amplification
Tiefe [m]	Profondeur [m]

Fig. 3.7-32

allemand	français
Provisorischer Vergleich der für den KKB- (rote Kurve) und den EKKB-Standort (blaue Kurve) berechneten mittleren Amplifikationsfunktionen.	Comparaison provisoire des fonctions d'amplification (moyennes) pour les sites KKB (courbe rouge) et EKKB (courbe bleue).
Beznau – Amplification function	Beznau - Fonction d'amplification
Période (s)	Période (s)

Fig. 3.7-33

allemand	français
Beiträge zur seismischen Gefährdung am Standort Beznau (Fels) nach Magnitude, Distanz und ϵ für eine Horizontalbeschleunigungsamplitude von 0.05g und eine Frequenz von 0.5 Hz	Contributions à l'aléa sismique pour le site de Beznau (roche) en fonction de la magnitude, de la distance et de ϵ pour une amplitude d'accélération horizontale de 0,05 g et une fréquence de 0,5 Hz

Fig. 3.7-34

allemand	français
Beiträge zur seismischen Gefährdung am Standort Beznau (Fels) nach Magnitude, Distanz und ϵ für eine Horizontalbeschleunigungsamplitude von 0.7g und eine Frequenz von 100 Hz (PGA)	Contributions à l'aléa sismique pour le site de Beznau (roche) en fonction de la magnitude, de la distance et de ϵ pour une amplitude d'accélération horizontale de 0,7 g et une fréquence de 100 Hz (PGA).

Fig. 3.7-35

allemand	français
Zur Reaktivierung von Störungen im Grundgebirge: Seismische Linie 83-NF-55 im Bereich CMP 700 aus dem NTB 08-04	Réactivation de failles dans le socle rocheux:ligne sismique 83-NF-55 dans la zone CMP 700 (NTB 08-04).

Fig. 3.7-36

allemand	français
Nagra Linie 82NX40, uninterpretiert und interpretiert. Rot im Kasten eingetragen ist der Verlauf der auf Basis Quartär projizierten Mandacher Störung	La ligne Nagra 82NX40, non interprétée et interprétée. En rouge, dans l'encadré, le tracé de la faille de Mandach projeté sur la base du Quaternaire.

Fig. 3.7-37

allemand	français
Nagra-Linie 82NF50, uninterpretiert (oben) und interpretiert (unten)	La ligne Nagra 82NF50, non interprétée (en haut) et interprétée (en bas)

Fig. 3.7-38

allemand	français
Im numerischen Modell berücksichtigte geologische Formationen mit ihren Materialkennwerten. Anhydritgruppe und Gipskeuper (vgl. Kapitel 3.7.1, Fig. 3.7-2) werden als duktil deformierbare Einheiten modelliert; alle anderen Lithologien sind spröd deformierbar.	Formations géologiques considérées dans le modèle numérique avec leurs paramètres matériels. L'Anhydritgruppe et le Gipskeuper (cf. Chapitre 3.7.1, Figure 3.7-2) ont été modélisés comme des unités déformables de manière ductile, toutes les autres lithologies comme déformables de manière cassante
Reibung [°]	Frottement [°]
Kohäsion [MPa]	Cohésion [MPa]
Dichte [kg/m^3]	Densité [kg/m^3]
Schilfsandstein	Grès à roseaux
Opalinuston	Argiles à Opalinus
Malmkalke	Calcaires du Malm
Quartär	Quaternaire
Hauptrogenstein	Hauptrogenstein
Malmkalke	Calcaires du Malm
Opalinuston	Argiles à Opalinus
Quartär	Quaternaire
Schilfsandstein	Grès à roseaux

Fig. 3.7-39

allemand	français
Netzstruktur der deformierbaren Elemente (Ausschnitt)	Structure réticulée des éléments déformables (détail)

Fig. 3.7-40

allemand	français
Verschiebungsvektoren in der Umgebung der Überschiebungsfläche zur Zeit des Versagens der Überschiebungsfläche (oben) und weit im Post-Failure-Bereich (unten) für den Rechenfall mit 10° Reibungswinkel.	Vecteurs de mouvement au voisinage de la surface de chevauchement au moment de la rupture de celle-ci (en haut) et sensiblement plus tard (en bas) pour un angle de frottement de 10°.

Fig. 3.7-41

allemand	français
Verlauf der integralen gemittelten Scherspannung auf der Überschiebungsfläche als Funktion der Modellverkürzung für den Rechenfall mit 10° Reibungswinkel (links) und 15° Reibungswinkel (rechts).	Variation de la contrainte de cisaillement moyenne intégrée sur la surface de chevauchement, en fonction du raccourcissement calculé par le modèle dans le cas d'un angle de frottement de 10° (à gauche) ou de 15° (à droite).
Reibungswinkel auf der Überschiebungsfläche: 10°	Angle de frottement sur la surface de chevauchement: 10°
Reibungswinkel auf der Überschiebungsfläche: 15°	Angle de frottement sur la surface de chevauchement: 15°
Integrierte mittlere Scherspannung [MPa]	Contrainte de cisaillement moyenne intégrée [MPa]
Verkürzung [m]	Raccourcissement [m]

Fig. 3.7-42

allemand	français
Beschleunigungsantwortspektren der am Standort Beznau (Felsinstrumentierung) seit 1969 registrierten Erdbeben. Horizontalkomponente, 5% kritische Dämpfung	Spectres de réponse en accélération des séismes enregistrés à Beznau (instrumentation sur rocher) depuis 1969. Composante horizontale, amortissement critique 5%
KKB, Seismische Anlageinstrumentierung Erdbebenaufzeichnungen, F2 (Fels) Hor. Y-Komponente (Nord), Beschleunigungsantwortspektren für 5% Dämpfung	KKB, enregistrements sismiques par l'instrumentation de l'installation, composante Y (Nord) horiz. F2 (rocher), spectres de réponse en accélération pour un amortissement de 5%.
Stand 5. Mai 2009	Etat au 5 mai 2009
Beschleunigung in	Accélération en cm/s^2
Frequenz in Hz	Fréquence en Hz

Fig. 3.8-1

allemand	français
Legende	Légende
Freileitung	Ligne aérienne
Kabelleitung	Câble
Freileitung	Ligne aérienne
Kabelleitung	Câble
Schaltanlage AEW	Poste de couplage AEW
Freileitung AEW	Ligne aérienne
Kabelleitung AEW	Câble AEW
POLYCOM Basisstation	Station de base POLYCOM
Betriebs-Funk	Antenne exploitation

Feuerwehr-Funk	Antenne alerte feu
Aeral "Insel"	Zone «île»
Aeral "Stüdlihau"	Zone «Stüdlihau»
BLN-Objekte	Objets IFP
Quellennachweis/Herkunft der Daten	Sources
Bundesamt für Landestopographie: Kartendaten	Office fédéral de topographie: données cartographiques
Bundesamt für Statistik: GEOSTAT-Produkte	Office fédéral de la statistique: produits GEOSTAT
Kantonale Vermessungsämter: Übersichtspläne	Bureaux cantonaux de mesure: cartes synoptiques
Nordostschweizerische Kraftwerke: Anlagedaten	Forces Motrices du Nord-Est de la Suisse: données sur les installations
Übersichtsplan	Carte synoptique
Alle Urheberrechte verbleiben unserer Firma. Die Vervielfältigung und Weitergabe ist nur mit unserer Zustimmung gestattet.	Notre entreprise détient les droits d'auteur. Toute reproduction et transmission ne sont autorisées qu'avec notre accord.
Hochspannungsleitungen und Antennen	Lignes à haute tension et antennes
Ist-Zustand	Etat actuel
Objekt-Nr.	Objet n°
Nichtverfügbarkeitsstatistik	Statistique d'indisponibilité

Fig. 3.8-2

allemand	français
Auswertung der Nichtverfügbarkeitsstatistik für den Standort Beznau zwischen dem 01.01.1998 und dem 10.01.2008	Evaluation de la statistique d'indisponibilité pour le site de Beznau entre le 01.01.1998 et le 10.01.2008
Ursachen 380 kV	Causes 380 kV

Netzbetrieb	Exploitation du réseau
Gewitter	Orage
Sturm	Tempête
Ursachen	Causes
Baum	Arbre
Gewitter	Orage
Schnee-, Eislast	Poids neige ou glace
Unbekannte Ursache	Cause inconnue
Netzbetrieb	Exploitation du réseau
Landwirtschafts- und Forstarbeiten	Travaux agric. ou forestiers
Alterung des Materials	Age du matériel
Vogel	Oiseau
Netzschutz	Protection du réseau

Fig. 5.3-1

allemand	français
Die Funktion "Bewilligungsmanagement" und ihre Schnittstellen für die Projektphase Rahmenbewilligung	La fonction «gestion des procédures d'autorisation» et ses interfaces pour la phase «autorisation générale» du projet
Gesetzliche Anforderungen	Exigences légales
KEG-732.1 / KEV 732.11 / StSG / StSV	LENu 732.1 / OENu 732.11 / LRaP / ORaP
Sichereits- und Sicherungsbericht	Rapports de sécurité et de sûreté
Nukleare Sicherheit	(Sécurité nucléaire)
Standorteigenschaften	Caractéristiques du site

Zweck und Grundzüge des Projektes	But et grandes lignes du projet
Voraussichtliche Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage	Exposition aux radiations prévisible aux alentours
Wichtige personelle und organisatorische Angaben	Données personnelles et organisationnelles importantes
Sicherheitsbericht	Rapport de sécurité
Sicherungsbericht	Rapport de sûreté
Umweltverträglichkeitsbericht	Rapport d'impact sur l'environnement
Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung	Rapport relatif à la concordance avec l'aménagement du territoire
Konzept für Stillegung	Concept de désaffectation
Nachweis für die Entsorgung der anfallenden radioaktiven Abfälle	Justificatif de l'évacuation des déchets radioactifs produits par l'installation
Sicherheitskontrollierte technische und organisationsbezogene Projektierung	Etude sécurité, technique et organisation
Gesamtanlage	Installation
Bautechnik	Bâtiments
Maschinentechnik	Machines
Strahlenschutz	Radioprotection
Reaktortechnik	Réacteurs
Systemtechnik	Systèmes
Elektro- und Leittechnik	Electrotechn. et commande
Sicherung	Sûreté
Projekt- und Betriebsorganisation	Organisation projet + exploitation
Weitere	Autres

Sicherheitskontrollierte Nachweise für ein Baubewilligungsgesuch	Justificatifs contrôlés sécurité pour la demande d'autorisation de construire
Externe Einflüsse auf das Rahmenbewilligungsgesuch (Feedbackverfahren)	Influences extérieures sur la demande d'autorisation générale (processus de feed-back)
Behördliche Anforderungen	Exigences des autorités
Externe Einflüsse	Influences extérieures
Design Basis Dokumentation (DBD)	Concept de la base de la documentation
Bewilligungsmanagement	Gestion des procédures d'autorisation
Rahmenbewilligungsgesuch	Demande d'autorisation générale
HSK-Gutachten	Expertise DSN
Bundesrätliche Rahmenbewilligung	Autorisation générale par le Conseil fédéral

Resun AG, société de planification commune aux Axpo-Konzerngesellschaften Nordostschweizerische Kraftwerke AG et Centralschweizerische Kraftwerke AG ainsi qu'à BKW FMB Energie AG.

1 Rapport de sécurité
2 Rapport de sûreté
3 Rapport d'impact sur l'environnement
4 Rapport relatif à la concordance avec l'aménagement du territoire
5 Concept de désaffectation
6 Justificatif de l'évacuation des déchets radioactifs