



Demande d'autorisation générale pour une nouvelle centrale nucléaire dans le Niederamt

Rapport de sécurité

Rapport CNN AG: Ber-08-002

Ce document, traduction de la version originale en langue allemande, n'a valeur que d'un instrument de travail. En cas de doute, la version originale allemande fait foi.

Titre du document:

Demande d'autorisation générale pour une nouvelle centrale nucléaire dans le Niederamt
Rapport de sécurité

Document n° Ber-08-002

Version n° V002

Date de révision 01.10.2009

Titre abrégé:

Rapport de sécurité pour la CNN

Nombre de pages 347

Nombre d'annexes -

Remplace le doc. n°V001 du 09.06.2008

CNN_Rapport de sécurité_Ber_08_002_V002_20091001

	Date	Nom	Visa
Rédacteur	01.10.2009	A. Scheidegger	
Vérificateur	01.10.2009	P. Hirt	
Emetteur	01.10.2009	H. Niklaus	
Qualité assurée selon CNN Reg-002 V002			

Révisions

N°	Date	Rédacteur	Vérificateur	Emetteur	Commentaires
001	09.06.08	A. Scheidegger	P. Hirt	H. Niklaus	Émission initiale
002	01.10.09	A. Scheidegger	P. Hirt	H. Niklaus	Adaptation à l'état de la planification et prise en compte des remarques suite un premier examen des instances de contrôle

Sommaire

	Sommaire	3
	Préambule	6
1	Introduction	7
2	But et présentation générale du projet	8
2.1	But du projet	8
2.2	Présentation générale du projet	9
2.2.1	Site et proximité	9
2.2.2	Installation	12
2.2.3	Système de refroidissement principal	17
2.2.4	Système de refroidissement auxiliaire	18
2.2.5	Raccordement au réseau électrique	19
2.3	Bases de conception	20
2.3.1	Conditions générales de conception	20
2.3.2	Principes de sécurité pour la conception, la construction et l'exploitation de la CNN	21
3	Caractéristiques du site et événements externes	25
3.1	Événements externes et combinaisons d'événements pris en compte	25
3.1.1	Événements externes isolés	26
3.1.2	Combinaisons d'événements	27
3.2	Géographie et répartition de la population	32
3.2.1	Description du site et de ses alentours	32
3.2.2	Topographie	33
3.2.3	Distribution de l'habitat et des infrastructures	35
3.2.4	Occupation des sols	46
3.2.5	Évaluation des données	54
3.2.6	Perspective	55
3.2.7	Faisabilité des mesures de protection d'urgence aux alentours de la CNN	57
3.3	Voies de communication, entreprises, réseaux de canalisation, forêts	62
3.3.1	Description des voies de communication, des entreprises, des réseaux de canalisation et des forêts	62
3.3.2	Impacts sur la CNN en cas de défaillance dans le voisinage	71
3.3.3	Évaluation récapitulative	92
3.4	Météorologie	95
3.4.1	Mesures météorologiques	95
3.4.2	Description de la station	96
3.4.3	Base de données	96
3.4.4	Vent	98
3.4.5	Catégories de diffusion	104
3.4.6	Statistiques de propagation à deux paramètres	110
3.4.7	Précipitations	113
3.4.8	Température de l'air	118
3.4.9	Impacts météorologiques exceptionnels et extrêmes	119
3.4.10	Perspectives concernant les modifications prévisibles des données météorologiques au futur	129
3.5	Hydrologie	135
3.5.1	Généralités et hypothèses de base sur les risque	135
3.5.2	Eaux de surface	135
3.5.3	Eaux souterraines	179

3.5.4	Alimentation en eau d'extinction	200
3.5.5	Évaluation des conditions hydrologiques sur le site de la CNN	201
3.6	Géologie, sismologie et terrain-	202
3.6.1	Caractérisation récapitulative du secteur du site	202
3.6.2	Considérations géologiques régionales et modèle sismotectonique.....	205
3.6.3	Evaluations précédentes de l'aléa sismique.....	225
3.6.4	Évaluation de l'aléa sismique sur le site de la CNN	236
3.6.5	Considérations géologiques régionales et évaluation	240
3.6.6	Conditions du terrain sur le site.....	246
3.6.7	Évaluation de l'aire du projet de la CNN.....	261
3.6.8	Dimensionnement sismique	264
3.6.9	Évènements externes d'origine géologique et sismique	270
3.6.10	Perspective	272
3.7	Raccordement de la CNN au réseau électrique	273
3.7.1	Puissance électrique fournis dans le réseau existant sur site.....	273
3.7.2	Assurer l'alimentation pour les besoins propres de la CNN par des réseaux externes.....	275
3.7.3	Assurance de l'alimentation pour les besoins propres de la CNN en cas de perte totale des réseaux externes	279
3.7.4	Régime d'alimentation de secours/exploitation à long terme de la CNN	280
3.7.5	Aperçu des scénarios de recours possibles	281
3.8	Évaluation récapitulative des caractéristiques du site, y compris les combinaisons d'évènements	283
3.8.1	Géographie et répartition de la population	283
3.8.2	Voies de communication, entreprises, installations de canalisation, forêts.....	284
3.8.3	Météorologie	285
3.8.4	Hydrologie	285
3.8.5	Géologie	286
3.8.6	Raccordement de la CNN au réseau électrique	288
3.8.7	Combinaisons d'évènements	290
3.9	Évaluation finale	295
4	Principes de conception de la radioprotection	296
4.1	Exigences relatives à la conception de l'installation du point de vue de la radioprotection.....	296
4.2	Principes de la radioprotection.....	297
4.2.1	Justification de l'exposition aux rayonnements	297
4.2.2	Limitation de l'exposition aux rayonnements.....	297
4.2.3	Optimisation de la radioprotection.....	299
4.3	Proposition motivée pour la valeur directrice de dose liée à la source pour la CNN ..	301
4.4	Observation et surveillance des valeurs limites d'immission	301
4.5	Situation radiologique actuelle sur le site de la CNN	302
4.6	Concept de radioprotection.....	302
5	Indications importantes relatives au personnel et à l'organisation	303
5.1	Calendrier	303
5.2	Gestion de la qualité	305
5.2.1	Assurance de la qualité dans l'élaboration des documents pour la demande d'autorisation générale.....	305
5.2.2	Expérience et compétence professionnelle.....	308
5.2.3	Système de gestion de la qualité pour les phases ultérieures de planification, de construction et d'exploitation.....	309
5.2.4	Aspects humains, techniques et organisationnels (HTO)	310

5.3	Organisation	311
5.3.1	Définition des bases	311
5.3.2	Organisation dans la phase de la demande d'autorisation générale	311
5.3.3	Organisation dans la phase de l'appel d'offres et de la demande d'autorisation de construire.....	314
5.3.4	Organisation dans les phases de demande d'autorisation d'exploiter et d'exploitation.....	315
5.3.5	Coopération avec les exploitants d'installations.....	315
5.3.6	Interfaces/interactions avec organisations externes.....	315
5.3.7	Organisation apprenante	316
5.4	Bases de la formation	317
5.4.1	Système de gestion de formation.....	317
5.4.2	Formation du personnel de la centrale nucléaire.....	318
5.4.3	Formation pendant la phase de construction	318
5.4.4	Formation pendant la phase de mise en service	319
5.4.5	Formation après la mise en exploitation.....	319
5.4.6	Culture de la sécurité, Human and Organisational Factors (HOF)	319
5.5	Bases légales	321
6	Références	323
7	Listes	339
7.1	Liste des figures.....	339
7.2	Liste des tableaux.....	345

Préambule

La demande d'autorisation générale (DAG) de la société requérante Kernkraftwerk Niederamt AG (CNN AG) pour la création d'une centrale nucléaire dans le Niederamt (CNN) comporte les documents suivants conformément à l'art. 23 de l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire (OENu 2004):

- Rapport de sécurité
- Rapport de sûreté
- Concept de mise hors service
- Justificatif de l'évacuation des déchets radioactifs produits
- Rapport relatif à la concordance avec l'aménagement du territoire
- Rapport d'impact sur l'environnement (RIE)

Le présent document constitue le rapport de sécurité.

Pour l'élaboration de ce rapport, l'expérience et l'expertise des sociétés AF-Colenco SA, BSB+Partner, Ingenieure und Planer et Gähler und Partner SA a été mise à contribution.

Pour assurer un système de référencement cohérent dans ce rapport, les abréviations des lois et ordonnances référencées sont indiquées, par dérogation à la pratique juridique, en mentionnant l'année de leur adoption. Les bases juridiques respectives ont été utilisées dans leur état actuel et en vigueur.

1 Introduction

Le présent rapport de sécurité traite des aspects suivants (art. 23 OENu 2004):

- But et présentation générale du projet; taille approximative et implantation des principales constructions, système du réacteur nucléaire y compris, classe de puissance et système de refroidissement principal (art. 14 al. 1 LENu 2003)
- Caractéristiques du site
- Exposition prévisionnelle au rayonnement ionisant aux alentours de l'installation
- données personnelles et organisationnelles importantes

Par rapport aux prescriptions de l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire (OENu 2004), le présent rapport de sécurité pour la demande d'autorisation générale a été étendu aux chapitres "Bases de conception" et "Principes de conception de la radioprotection".

2 But et présentation générale du projet

2.1 But du projet

Le but du projet est l'utilisation de l'énergie nucléaire pour la production d'électricité dans le respect d'une manutention adaptée des matières nucléaires et des déchets radioactifs. Un autre but optionnel du projet est la fourniture de la chaleur industrielle et du chauffage à distance.

La manutention des matières nucléaires comprend essentiellement la réception d'arrivages de combustibles, leur entreposage et leur acheminement interne, ainsi que l'entreposage des éléments de combustibles usés, jusqu'à ce qu'ils soient acheminés dans une installation de retraitement, sur un site d'entreposage (à l'état humide et/ou sec) ou sur un site de stockage définitif.

La gestion des déchets radioactifs comprend essentiellement le conditionnement et l'entreposage des déchets radioactifs produits par la centrale nucléaire à l'étude (CNN) ; le conditionnement sur place par des entreprises tierces à l'aide d'équipements mobiles (comme p. ex. des presses à balles) fait également partie de la gestion des déchets radioactifs. Les déchets hautement radioactifs vitrifiés (conteneur) résultant du retraitement des éléments de combustibles usés peuvent également être réceptionnés et entreposés, jusqu'à ce qu'ils soient réacheminés vers un site de stockage définitif. De plus, les sources radioactives de démarrage, de contrôle et de calibrage seront requises pour l'exploitation et en partie avant la mise en service de la CNN. Ceci comprend éventuellement la manutention des déchets radioactifs de la centrale nucléaire de Gösgen dans la commune de Däniken (KKG).

L'emballage pour le transport des déchets d'exploitation et la reprise des déchets issus d'installations externes de conditionnement et d'incinération ainsi que l'entreposage des déchets conditionnés sont parties intégrantes du but du projet.

Si, contrairement aux hypothèses actuelles, le conditionnement des éléments combustibles n'était pas réalisé sur le site de stockage en couche géologique profonde, différentes opérations de base de préparation pour le stockage définitif (mise en adéquation des déchets pour leur admissibilité dans un stockage définitif profond) seront considérées en option, sur le site de la CNN.

2.2 Présentation générale du projet

2.2.1 Site et proximité

L'aire de projet d'implantation de centrale nucléaire dans le Niederramt (aire du projet CNN) est située au nord-est du canton de Soleure, dans les districts d'Olten et de Gösigen, dans la zone des communes de Däniken, de Gretzenbach et de Niedergösigen. L'aire du projet CNN couvre une surface totale d'environ 49 ha et se compose d'une aire principale et de deux aires partielles sur les rives gauche et droite de l'Ancienne Aar (figure 2.2-1). L'aire partielle Nord comprend les parcelles 1801, 1802, 1803, 1804, 1902, 1937 (en partie), 2336, 2348 et 90089 (en partie) dans la commune de Niedergösigen. L'aire principale et l'aire partielle Sud s'étendent sur les parcelles 41 (en partie), 883 et 1221 dans la commune de Däniken ainsi que les parcelles 917 (en partie), 1178 et 1253 dans la commune de Gretzenbach. Des parties de la parcelle 90000.1 (Gretzenbach) ainsi que des parcelles 90000 et 1806 (Niedergösigen) entre l'aire principale et l'aire partielle Nord sont également incluses dans l'aire du projet.

Dans l'état actuel de planification, il est vraisemblable que la totalité de l'aire du projet soit requise pour la construction et l'exploitation de l'installation.

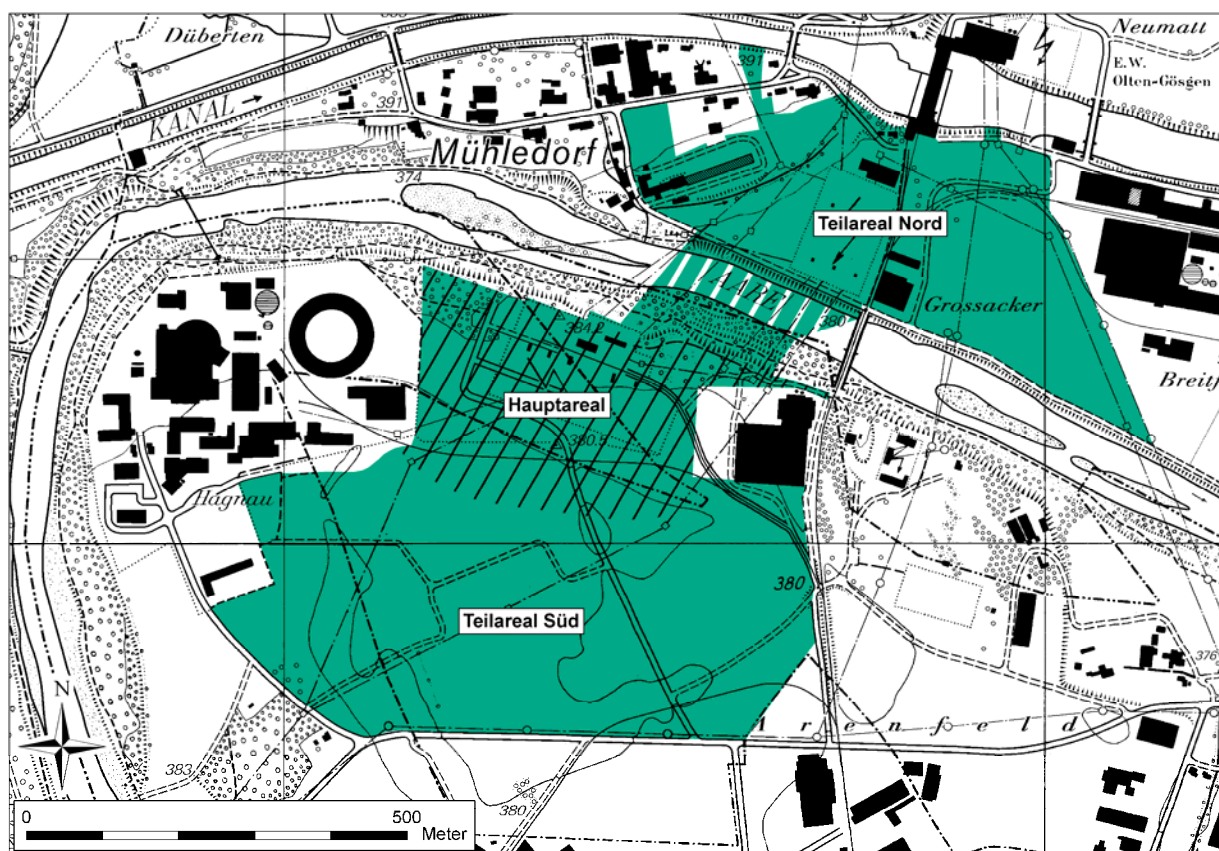


Figure 2.2-1 Carte à grande échelle du Niederramt avec indication de l'aire du projet

Sur l'aire principale (surface hachurée en noir sur la figure 2.2-1, environ 10 ha) sur la rive droite de l'Ancienne Aar seront implantés les bâtiments de production d'électricité et de gestion des matières nucléaires et des déchets radioactifs (bâtiment du réacteur, bâtiment des installations annexes du réacteur, bâtiment de sécurité, piscine de stockage des combustibles, bâtiment de traitement et d'entreposage des déchets, salle de machines avec des installations de turbines et de générateurs et bâtiment des installations électriques. Du point de vue de la sécurité nucléaire, l'adéquation de l'aire principale est importante.

Outre l'aire principale, l'aire du projet comprend également une aire partielle au nord, sur la rive gauche de l'Ancienne Aar (aire partielle Nord, environ 14 ha) et une aire partielle qui est la continuation de l'aire principale vers le sud (aire partielle Sud, env. 22 ha). Une partie des rives ainsi qu'une partie de l'Ancienne Aar (env. 3 ha) entre l'aire principale et l'aire partielle Nord sont utilisées pour le franchissement et la traversée sous-fluviale de l'Ancienne Aar.

Au stade actuel d'élaboration du projet, deux variantes sont envisagées:

- Pour la **variante de projet 1** (figure 2.2-2), les bâtiments de production d'électricité et de manutention des matières nucléaires et des déchets radioactifs ainsi que d'autres bâtiments de l'installation se trouvent sur l'aire principale au sud de l'Ancienne Aar. L'aire partielle Nord comprend les ouvrages pour le système de refroidissement principal (tour de réfrigération hybride, installation de traitement des eaux, station de pompage) ainsi que des installations externes telles que le bâtiment administratif et le pavillon d'information. Pour cette variante, l'entrée principale avec sa loge de concierge se trouvera probablement sur l'aire partielle Nord. Les surfaces d'installation (environ 22 ha) se trouveront essentiellement sur l'aire partielle Sud. Pour la variante de projet 1, un nouveau pont propre à la centrale sera construit sur l'Aar entre l'aire principale et l'aire partielle Nord. Il servira aux acheminements internes à la centrale nucléaire. Pour le système de refroidissement principal et celui auxiliaire, une traversée sous-fluviale est prévue sous l'Ancienne Aar, entre l'aire principale et l'aire partielle Nord.
- Pour la **variante de projet 2** (figure 2.2-3), les bâtiments de production d'électricité et de manutention des matières nucléaires et des déchets radioactifs ainsi que d'autres bâtiments de l'installation se trouvent, comme dans la variante de projet 1, sur l'aire principale. Les ouvrages du système de refroidissement principal (tour de réfrigération hybride, installation de traitement des eaux, station de pompage) ainsi que des installations externes telles que le bâtiment administratif et le pavillon d'information sont disposés sur l'aire partielle Sud. L'entrée principale avec la loge de concierge se trouve sur l'aire partielle Sud ou sur l'aire principale. Les surfaces d'installation sont réparties sur les aires partielles Sud et Nord. Pour le système de refroidissement auxiliaire, une traversée sous-fluviale de l'Aar est prévue entre l'aire principale et l'aire partielle Nord.
- Dans les deux variantes du projet, le pont public existant sur l'Aar sera soit rénové pour les transports ferroviaires et routiers de poids lourds, soit il sera remplacé.
- Dans les deux variantes du projet, des ouvrages d'amenée et d'évacuation d'eau sont prévus sur l'aire partielle Nord comme options pour les captages d'eau de refroidissement auxiliaire sur le canal d'amenée (y. c. l'eau d'appoint pour la tour aéroréfrigérante hybride) et sur le canal de fuite de la centrale hydro-électrique de Gösgen.

- Dans les deux variantes du projet, le raccordement au réseau électrique est effectué sur l'aire partielle Nord sur les installations électriques de 380 kV et 220 kV établies et protégées dans un bâtiment dans le cadre de la rénovation du réseau à très haute tension. Ces nouvelles installations électriques avec les adaptations nécessaires des lignes ne font pas partie du projet CNN, mais seront utilisées plus tard pour le raccordement de l'installation au réseau.

La requérante mentionne qu'une solution comprenant des éléments des variantes de projet 1 et 2 est si nécessaire envisageable au cours des phases ultérieures planification. La disposition définitive des surfaces d'installation et des bâtiments sur l'aire principale ainsi que sur les aires partielles Sud et Nord ne sera fixée que lors de procédure d'autorisation de construction. Elle dépend de la taille et de la puissance du type de réacteur. D'autres critères décisionnels importants pour une disposition optimisée de l'installation concernent entre autres les aspects de la sûreté, de l'interaction avec la centrale KKG, de l'impact sur l'environnement, du paysage, du déroulement de la construction, du raccordement aux voies de communication et des processus internes.

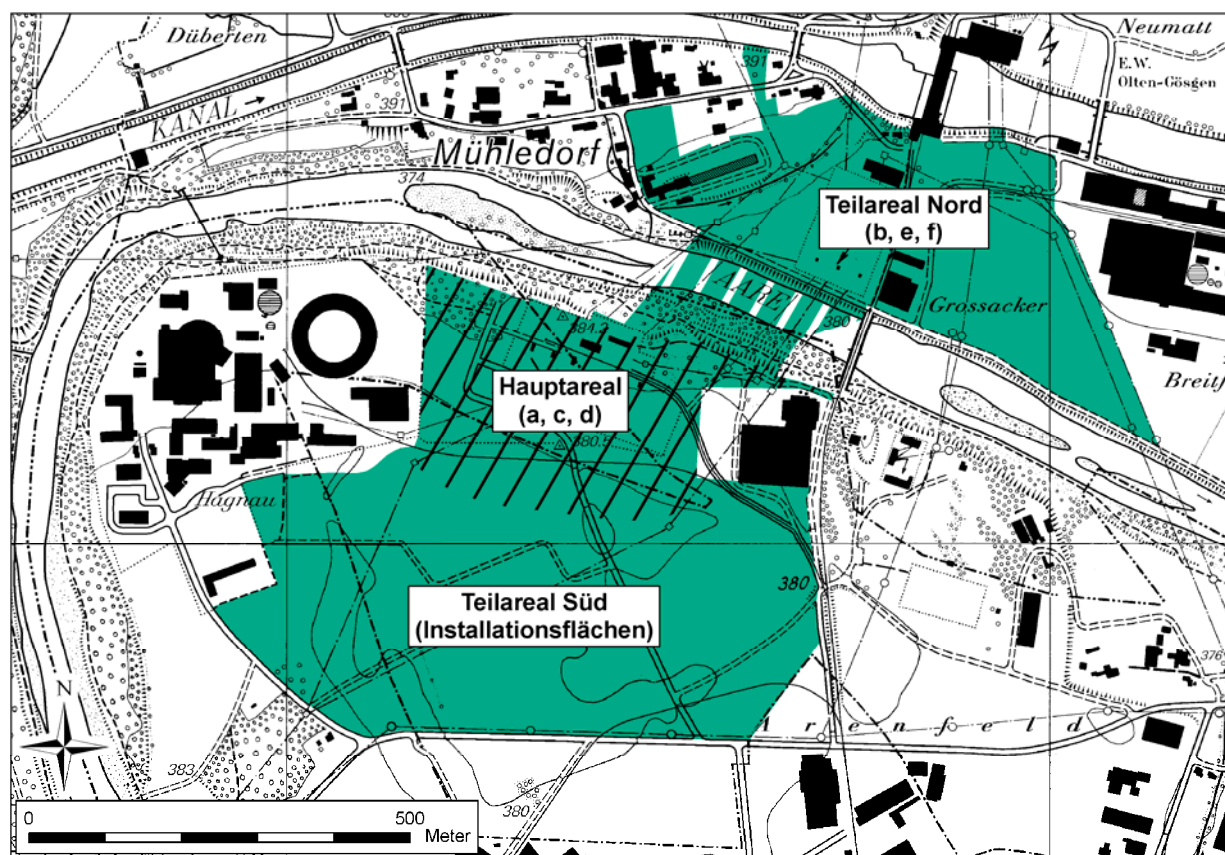


Figure 2.2-2 Carte à grande échelle du Niederamt avec l'aire du projet - Variante 1 (y compris la disposition des groupes fonctionnels a - f sur les aires partielles conformément au chapitre 2.2.2)

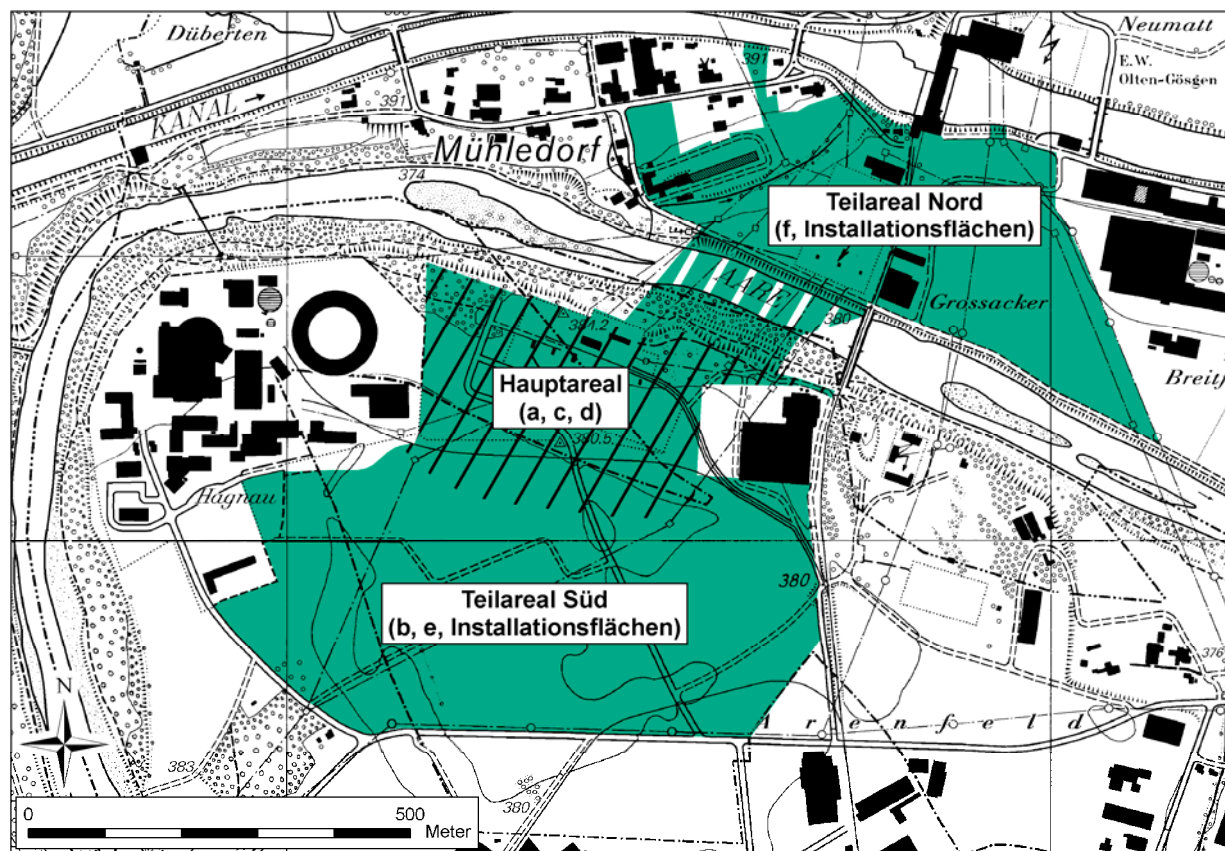


Figure 2.2-3 Carte à grande échelle du Niederamt avec l'aire du projet - Variante 2
(y compris la disposition des groupes fonctionnels a - f sur les aires partielles conformément au chapitre 2.2.2)

2.2.2 Installation

Le but de l'installation est la production d'électricité. Il est prévu à cet effet la mise en place et l'exploitation d'un réacteur à eau légère de 3^{ème} génération. Les centrales nucléaires de 3^{ème} génération correspondent à l'état actuel de la technique. Les réacteurs de 3^{ème} génération présentent de très faibles probabilités d'endommagement du cœur dû à des défaillances et assurent la maîtrise d'une fusion du cœur hypothétique sans effets radiologiques notables sur le voisinage.

Pour des raisons techniques et commerciales, les choix du réacteur et du fournisseur seront effectués ultérieurement. Par conséquent, les aspects spécifiques à l'installation ne pourront être abordés que dans la demande d'autorisation de construction. Pour le présent rapport de sécurité, comme pour les autres documents de la demande d'autorisation générale, nous nous baserons sur un modèle de réacteur générique qui couvre les réacteurs à eau légère (REL) de 3^{ème} génération entrant en ligne de compte du point de vue de la puissance et de la taille.

En ce qui concerne la puissance électrique nette aux conditions nominales, deux classes de puissance sont à la base de la demande d'autorisation générale:

Classe de puissance 1: 1.1 GWel $\pm$ 20 %

Classe de puissance 2: 1.6 GWel $\pm$ 20 %

Pour les considérations liées à la sûreté dans la DAG, la valeur supérieure de 1.9 GWel est retenue. La puissance thermique nominale correspondante dépend du taux de rendement de l'installation elle-même et de la conception définitive du système de refroidissement principal. La performance thermique est décisive pour assurer la sécurité de la centrale nucléaire. Comme estimation supérieure couvrant les deux classes de puissance, on peut tabler sur une valeur de 5.8 GWth, ce qui constitue la base légale pour la présente demande.

Ces valeurs élevées de puissance thermique et électrique doivent prendre en compte les futurs développements technologiques dans tous les secteurs de la technologie nucléaire et de la construction mécanique, pour ne pas restreindre le cadre de performance du réacteur à eau légère et de la partie non-nucléaire de l'installation aux standards technologiques actuels. Le cadre de performance effectif de l'installation dépend du type de réacteur, du rendement de l'installation elle-même et de la conception définitive du système de refroidissement. La puissance prévisionnelle du réacteur sera fixée dans le cadre de la procédure de demande d'autorisation de construction (art. 17 LENu 2003). La puissance admise du réacteur sera fixée dans le cadre de la procédure de demande d'autorisation à exploiter (art. 21 LENu 2003).

L'installation projetée se composera typiquement des groupes fonctionnels suivants:

- a. Installations de production d'électricité et de manutention de matières nucléaires et de déchets radioactifs (figure 2.2-4):
 - RA: réacteur avec bâtiment du réacteur (R), bâtiment des installations annexes du réacteur, bâtiment de sécurité, bâtiment de stockage des combustibles, bâtiment de traitement et de stockage des déchets
 - M: salles de machines avec les installations de turbines et de générateurs
 - Bâtiment des installations électriques, installations de transformateurs et groupes électrogènes de secours (pas représentés sur la figure 2.2-4):
- b.)Ouvrages pour le système de refroidissement principal:
 - Tour aéroréfrigérante hybride (figure 2.2-5) avec la station de pompage et les ouvrages de traitement de l'eau d'appoint

c. Alimentation en eau de refroidissement auxiliaire à partir des cellules de réfrigération ou avec de l'eau fraîche provenant de l'Aar resp. à partir de l'eau souterraine ou par une combinaison de ces possibilités:

- Cellules de réfrigération
- Station de pompage d'eau de refroidissement auxiliaire
- Station de prélèvement d'eau souterraine (pour l'alimentation en eau de secours pour les cas d'urgence)

d. Autres constructions:

- Bâtiment des pompiers interne, ateliers et laboratoires, bâtiments de stockage, etc.

e. Installations externes:

- Zone d'entrée et de surveillance avec loge de concierge, bâtiment administratif, restaurant du personnel, bâtiment de formation et de simulation, pavillon d'information, parking à étages et/ou aires de stationnement

f. Ouvrages de captage et de restitution d'eau pour les systèmes d'eau de refroidissement auxiliaire et les systèmes d'eau appoint:

- Station de captage d'eau de refroidissement auxiliaire et d'eau d'appoint avec nettoyage et station de restitution de l'eau de purge (canal d'amenée)
- Ouvrage de captage d'eau de refroidissement auxiliaire (canal de fuite)

Les groupes fonctionnels et leur éventuelle assignation aux aires partielles sur l'aire du projet CNN sont représentés sur la figure 2.2-2 pour la variante de projet 1 et sur la figure 2.2-3 pour la variante de projet 2.

Un possible tracé schématique des bâtiments principaux (RA et M) de l'installation générique est présenté à une échelle approximative sur la figure 2.2-4.

La figure 2.2-5 présente une vue latérale schématique d'une tour de réfrigération hybride à une échelle approximative.

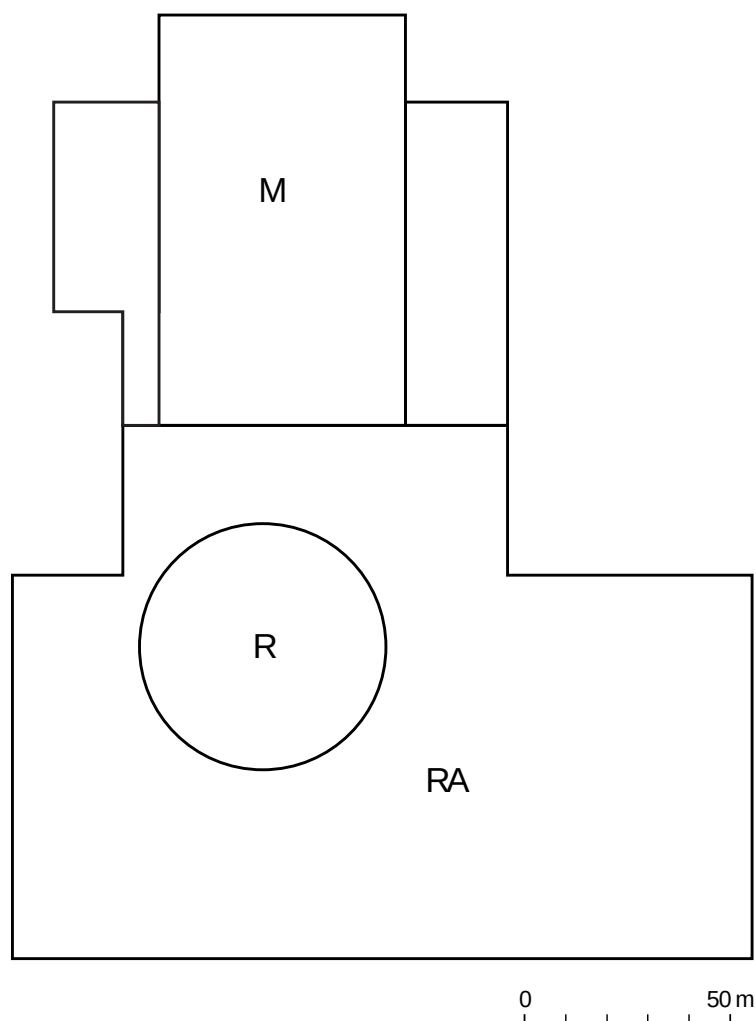


Figure 2.2-4 Plan de masse des bâtiments centraux de production d'électricité dans une centrale nucléaire (représentation schématique à une échelle approximative)
RA: réacteur, R: bâtiment du réacteur, M: salle de machines

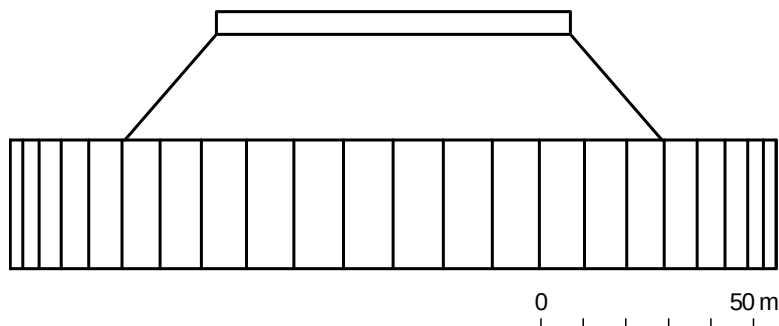


Figure 2.2-5 Vue latérale schématique d'une tour de réfrigération hybride à une échelle approximative.

Les dimensions approximatives des complexes de bâtiments représentés sur la figure 2.2-4 et la figure 2.2-5 (dimensions au sol, hauteur, profondeur des fondations) sont récapitulées dans le tableau 2.2-1.

Tableau 2.2-1 Dimensions approximatives des bâtiments les plus importants

Déscription	Partie de bâtiment	Diamètre [m]	Longueur [m]	Largeur [m]	Hauteur sur terrain [m]	Profondeur [m]
RA	Réacteur		130	180	50(*)	(**)
R	Bâtiment du réacteur	60			75	(**)
M	Salle des machines		100	60	50	-5
	Tour aéroréfrigérante hybride	180			60	-5

(*): Sans bâtiment de réacteur

(**): Les profondeurs des fondations de RA et R dépendent de la réalisation de la construction du point de vue des exigences sismiques et seront fixées dans le cadre de la procédure de demande d'autorisation de construction.

Les données de cubature et la surface au sol requise pour une installation générique, sur lesquelles le présent rapport de sécurité se base actuellement, sont indiquées dans le tableau 2.2-2. Le tableau présente également une estimation de la durée de construction et d'exploitation. Il s'agit ici d'indications résultant de valeurs empiriques et de planification, qui prennent également en compte le développement technique futur sur la base de l'état actuel des connaissances.

Tableau 2.2-2 Données relatives à la construction et à l'exploitation de l'installation générique

Cubatures / Tonnages pendant la phase de construction (approx.)	
Déblai (terre et roches)	750'000 m ³
Béton	530'000 m ³
Acier à béton armé	65'000 t
Surface au sol requise (approx.)	
Phase d'exploitation	env. 20 - 25 ha
Phase de construction	en plus env. 20 - 25 ha
Durées	
Durée de construction	env. 5 - 8 ans
Durée d'exploitation	env. 60 ans

2.2.3 Système de refroidissement principal

Le système de refroidissement principal du projet de centrale est conçu comme système de réfrigération retour. La chaleur de condensation de la vapeur du condenseur placé en-dessous de la turbine à basse pression de l'installation de turbines à vapeur est reprise par l'eau de refroidissement. Cette dernière est acheminée vers la tour aéroréfrigérante, où elle est refroidie par dissipation de la chaleur dans l'atmosphère. L'eau de refroidissement refroidie est ensuite pompée à nouveau dans le condenseur.

L'élément central du système de refroidissement principal est la tour aéroréfrigérante hybride, à travers laquelle la chaleur est dissipée dans l'atmosphère. Ceci se produit essentiellement par évaporation de l'eau de refroidissement et en partie également par réchauffement de l'air ambiant conduit à la tour aéroréfrigérante.

Pour empêcher une concentration excessive des matières en suspension et des sels minéraux dans le circuit de refroidissement, une purge minimale de l'eau refroidie dans le système de refroidissement doit être assurée.

Les pertes d'eau résultant de l'évaporation et de la purge dans le circuit de refroidissement sont remplacées par l'alimentation en eau d'appoint décarbonisée, qui est prélevée dans le canal d'amenée, est nettoyée par voie mécanique dans l'ouvrage de captage et décarbonisée dans l'installation de traitement des eaux.

L'eau de purge est introduite via une station de restitution dans le canal d'amenée en aval du captage d'eau brute. Durant les mois d'été, s'il n'est pas possible - pour des raisons physiques - de maintenir l'eau de refroidissement à une température $\leq 30^{\circ}\text{C}$, le respect de la température limite maximale admissible doit être garanti par appoint dans l'eau de purge d'eau fraîche provenant du canal d'amenée.

Le système de refroidissement principal est un système d'exploitation. En cas de panne du système de refroidissement principal, l'installation est mise hors circuit.

En cas d'indisponibilité prévisible du système de refroidissement principal, l'installation est arrêtée suivant des règles d'exploitation définies. En cas de panne inattendue du système de refroidissement principal, l'installation est mise hors circuit automatiquement par le système de protection du réacteur (système d'arrêt d'urgence des turbines (SAUT), système d'arrêt d'urgence du réacteur (SAUR) et placé dans un état sécurisé.

La dissipation de la chaleur résiduelle du réacteur ainsi que la dissipation de la chaleur produite par les systèmes et groupes encore requis après l'arrêt de l'installation sont assurées par le système de refroidissement auxiliaire.

2.2.4 Système de refroidissement auxiliaire

Le système de refroidissement auxiliaire peut être subdivisé en deux sous-systèmes, conformément aux différentes fonctions et exigences:

- Système de refroidissement auxiliaire pour les consommateurs conventionnels (système de refroidissement auxiliaire conventionnel)
- Système de refroidissement auxiliaire pour les consommateurs nucléaires, qui est important pour la sécurité (système de refroidissement auxiliaire nucléaire)

La quantité totale de chaleur à dissiper s'élève en exploitation normale à environ 50 - 100 MW.

Le système de refroidissement auxiliaire conventionnel ne remplit aucune fonction de sécurité. Au stade actuel de la planification, les options suivantes sont disponibles pour ce système:

- Eau de rivière provenant du canal d'amenée de la centrale hydro-électrique de Gösgen (comme pour la CNG)
- Cellules de réfrigération sur l'aire de la CNN

Pour des raisons de sécurité, la dissipation de la chaleur par le système de refroidissement auxiliaire nucléaire est réalisée de manière redondante et/ou diversitaire. Au stade actuel de la planification, les options suivantes sont disponibles pour ce système:

- Eau de rivière provenant du canal d'amenée et/ou de fuite de la centrale hydro-électrique de Gösgen (comme pour la CNG)
- Cellules de réfrigération sur l'aire de la CNN
- Puits de captage d'eau souterraine pour l'alimentation en eau de secours en cas d'urgence (comme pour la CNG)

Le choix des options pour le système de refroidissement auxiliaire et/ou la combinaison des options mentionnées ci-dessus seront effectués dans le cadre de la procédure de demande d'autorisation de construction, lorsque l'installation concrète et ses besoins seront connus.

Entre les échangeurs de chaleur des systèmes qui mettent en œuvre des substances radioactives ou conventionnelles constituant un danger pour les eaux et les systèmes conventionnels et nucléaires d'eau de refroidissement auxiliaire, un circuit intermédiaire de refroidissement fermé est respectivement prévu. Cette mesure et l'échelonnement des pressions permettront d'éviter que ces substances ne parviennent dans l'eau de refroidissement auxiliaire en cas de fuite dans les échangeurs mentionnés.

Pour les systèmes de refroidissement qui sont prévus exclusivement pour des cas d'urgence, on peut renoncer à un circuit de refroidissement intermédiaire.

Dans le cas de l'option de refroidissement auxiliaire à l'eau de rivière, il faut compter avec un débit de captage d'environ $5 \text{ m}^3/\text{s}$, environ $0.7 \text{ m}^3/\text{s}$ à $2.3 \text{ m}^3/\text{s}$ de l'eau de rivière réchauffée provenant du système de refroidissement auxiliaire pouvant alors être utilisés comme eau brute pour l'installation de traitement des eaux. Le besoin global en eau de refroidissement et la dissipation de la chaleur dans le cours d'eau récepteur diminuent en conséquence.

Considérant un débit moyen de l'Aar de $300 \text{ m}^3/\text{s}$, le réchauffement de l'eau de la rivière d'environ 0.06 K .

Dans le cas de l'option de puits de captage d'eau souterraine pour les cas d'urgence, il faut compter avec un débit de captage d'eau d'environ $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ à l'instar du puits de captage d'eau souterraine d'urgence de la CNG et de la centrale nucléaire de Leibstadt (CNL). Le captage des eaux souterraines sera probablement effectué sur l'aire principale. L'emplacement précis sera fixé dans le cadre de la procédure de demande d'autorisation de construction.

2.2.5 Raccordement au réseau électrique

L'acheminement de l'énergie électrique produite dans la CNN sur le niveau de tension de 380 kV ainsi que l'alimentation pour les besoins internes de la CNN à partir des niveaux de tension de 220 kV ou de 380 kV seront effectués via les réseaux externes existants. Indépendamment du projet CNN - et pour des raisons d'âge, d'état et de disponibilité des installations existantes, la construction de nouvelles installations électriques compactes de 220 kV et 330 kV sur l'aire partielle Nord est actuellement en cours de planification. Au stade de planification actuel du renouvellement du réseau à très haute tension au poste de Gösgen, la CNN peut être raccordée à des postes électriques à isolation gazeuse de 220 kV et 380 kV .

Toutes les connexions électriques entre la CNN et les bornes de raccordement des postes électriques du réseau à très haute tension ainsi que les adaptations locales nécessaires du réseau à très haute tension, et liées au projet de création de la centrale CNN, font partie intégrante du projet CNN.

2.3 Bases de conception

2.3.1 Conditions générales de conception

La société CNN AG prendra en compte toutes les exigences de la réglementation suisse, c.-à-d. les lois, les ordonnances ainsi que les directives de l'Inspection Fédérale de la Sécurité Nucléaire (IFSN). Elle observera les principes applicables à l'utilisation de l'énergie nucléaire et d'assurance de la sécurité nucléaire.

Un principe important pour l'utilisation de l'énergie nucléaire (art. 4 LENu 2003) est la protection de l'homme et de l'environnement, les rejets radioactifs n'étant tolérables qu'en quantités ne présentant pas de danger. Par conséquent, la CNN prendra les mesures nécessaires pour prévenir de rejets radioactifs inadmissibles et également de la protection radiologique des personnes, tant en phase d'exploitation normale qu'en cas de défaillance. En outre, toutes les mesures qui s'imposent en vertu de l'expérience et de l'état de la science et de la technique seront prises, pour autant qu'elles soient appropriées, pour contribuer à diminuer d'avantage le niveau de dangerosité.

Les recommandations d'instances internationales comme l'IAEA (International Atomic Energy Agency) et l'ICRP (International Commission on Radiological Protection) pour la protection de l'homme et de l'environnement contre des risques par les rayonnements ionisants sont déjà en grande partie intégrées dans la réglementation suisse. Il est prévu d'intégrer dans les années à venir, les dernières nouveautés des instances précitées (ICRP 2006a, ICRP 2006b, ICRP 2007) dans la réglementation suisse. Ces modifications n'ont pas d'impact sur la procédure d'autorisation générale.

Étant donné que ni le type de réacteur ni le fournisseur ne sont connus au moment de la demande d'autorisation générale, les prescriptions concernant les bases de conception de la CNN en matière de sécurité se limitent aux principes suivants:

- La nouvelle centrale nucléaire sera conçue selon les standards élaborés par les entreprises européennes de fourniture d'énergie pour les réacteurs à eau légère de la 3^{ème} génération. A cet égard, des évaluations des types de centrales nucléaires potentiels connus aujourd'hui sont déjà en cours
- Les bases de conception s'inspireront - pour autant qu'aucune réglementation propre à la Suisse n'existe - de la réglementation du pays d'origine du fournisseur
- La CNN sera conçue en grande partie comme installation standard et s'appuiera sur une longue expérience dans la construction, l'exploitation et l'expertise des réacteurs à eau légère. Elle se composera de systèmes, composants d'installation, éléments et appareils éprouvés

- En ce qui concerne le potentiel de risque réciproque de la CNG et de la CNN (p. ex. "turbine missile"), la conception de l'installation sera effectuée conformément à l'article 24 al. 2 et à l'annexe 4 (OENu 2004), et comprendra une présentation détaillée de la conception de l'installation dans le cadre de la procédure de demande d'autorisation de construction.

Au cours des prochaines procédures d'autorisation, la requérante élaborera des spécifications de conception détaillées pour la nouvelle centrale nucléaire et les soumettra à l'examen des Autorités dans le cadre de la procédure d'autorisation de construction.

2.3.2 Principes de sécurité pour la conception, la construction et l'exploitation de la CNN

Lors de la conception de la sécurité, de la construction et de l'exploitation de la CNN, des mesures de protection obéissant aux principes reconnus sur le plan international seront prises. Les mesures de protection 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 spécialisé ainsi que la promotion d'un standard élevé en matière de culture sécurité (art. 5 LENu 2003).

2.3.2.1 Garantie de sécurité nucléaire

Pour garantir la sécurité nucléaire, la requérante prendra notamment en considération les exigences légales suivantes pour le dimensionnement de la sécurité, la construction, la mise en service et l'exploitation de la CNN (art. 7 et 10 OENu 2004, ordonnance du DETEC 2009, directives HSK-R-101 (HSK 1987), HSK-R-103 (HSK 1989) ainsi que les documents parus ultérieurement):

- La CNN utilisera des procédés, des matériaux, des techniques et des types d'organisation ayant donné satisfaction ou dont la haute qualité a été démontrée ; ceci vaut en particulier pour l'ensemble des domaines suivants: planification, fabrication, vérification, exploitation de la centrale, surveillance, maintenance, assurance de la qualité, les retours d'expérience, ergonomie, formation initiale et continue.
- Les fonctions de sécurité sont conçues de manière réagir même s'il se produit une erreur isolée quelconque, indépendamment de l'évènement déclencheur, et même si l'un des composants n'est pas disponible pour des raisons de maintenance.
- Les fonctions de sécurité sont conçues de manière à répondre, autant que possible, aux principes de la redondance et de la diversité.

- Les circuits redondants destinés à remplir une fonction de sécurité seront, autant que possible, séparés les uns des autres dans l'espace. Ils pourront être vérifiés autant que possible de manière intégrale ou, à défaut, par segments aussi grands que possible, tant par déclenchement manuel qu'au moyen de l'incitation automatique simulée.
- Les fonctions de sécurité seront automatisées de sorte qu'en cas de défaillance, le personnel ne soit pas obligé d'intervenir pour assurer la sécurité dans les 30 minutes qui suivent l'événement déclencheur.
- Des marges de sécurité suffisantes doivent être prévues lors du dimensionnement des systèmes et des composants.
- Dans la mesure du possible, le comportement du système sera axé sur la sécurité en cas de dysfonctionnement des équipements.
- Les capacités humaines et leurs limites doivent être prises en compte lors de la conception des postes de travail et du déroulement des opérations de commande et de maintenance de l'installation.

2.3.2.2 Protection contre les défaillances

Pour la protection contre les défaillances, la CNN s'oriente sur les principes de protection suivants (art. 5 LENu 2003, art. 7, 8 et 10 OENu 2004):

- Si le fonctionnement s'écarte de la norme, l'installation réagira par un comportement autant que possible autorégulateur et peu sensible à l'erreur ; il est prévu à cet effet un comportement de l'installation se caractérisant autant que possible par une sécurité inhérente ; par sécurité inhérente ou intrinsèque, on entend un état dans lequel un système technique fonctionne de manière sûre et fiable de lui-même, c'est-à-dire sans avoir besoin de systèmes auxiliaires.
- A gain égal en termes de sécurité, les mesures propres à empêcher les défaillances seront préférées à celles qui seraient de nature à en atténuer les conséquences.
- La CNN prendra des mesures contre les défaillances dont l'origine se trouve à l'intérieur ou à l'extérieur de l'installation.
- Sont réputées défaillances ayant leur origine à l'intérieur de l'installation en particulier la défaillance de réactivité, la perte de liquide de refroidissement, la perte du puits de chaleur, l'incendie, l'inondation, les effets mécaniques de la défaillance d'un composant, la détérioration d'une gaine lors de la manipulation d'un élément combustible, la panne d'un système d'exploitation, la réaction inopportune d'un système de sécurité ou son fonctionnement incorrect ainsi que les erreurs commises par le personnel.

- Sont réputées défaillances ayant leur origine à l'extérieur de l'installation en particulier les défaillances causées par un tremblement de terre, par une inondation, par la chute accidentelle d'un aéronef civil ou militaire sur l'installation, par une rafale de vent, par la foudre, par une onde de choc, par l'incendie, par la perte de l'alimentation externe en électricité et par l'entrave ou une coupure de l'alimentation externe en eau de refroidissement.
- Pour pouvoir maîtriser les défaillances, la CNN sera conçue de manière à éviter incidence radiologique inadmissible aux alentours de l'installation ; des systèmes de sécurité passifs et actifs sont prévus à cet effet.
- En prévision des défaillances pouvant libérer des substances radioactives en quantités dangereuses, la CNN prendra en outre des mesures préventives et des mesures d'atténuation des effets néfastes dans les domaines technique, organisationnel et administratif.

L'installation de la CNN sera spécifiée et conçue de manière à ce que, en cas de défaillance, les valeurs limites pour les personnes non exposés aux radiations dans l'exercice de leur fonction selon l'article 94 (ORaP 1994) soient respectées. Les mesures nécessaires seront prises en particulier pour que, lors de défaillances de la catégorie 3 selon l'ordonnance du DETEC 2009, la dose générée reste nettement inférieure à la valeur limite de 100 mSv pour les personnes non exposées aux radiations dans l'exercice de leur fonction, selon l'article 94 al. 5 ORaP 1994, comme dans les installations suisses existantes.

L'ordonnance du DETEC 2009 définit les hypothèses spécifiques de risque et l'évaluation de la protection contre les défaillances dans les installations nucléaires. Dans la demande d'autorisation générale pour la CNN, les documents de la demande se focalisent sur les hypothèses de risque pertinentes pour les défaillances d'origine externe à l'installation. Les hypothèses de risque potentiellement indépendantes du site sont traitées au chapitre 3 "Caractéristiques du site et événements externes" du présent rapport de sécurité. L'ordonnance du DETEC 2009 spécifie que les risques dont la fréquence d'occurrence est supérieure ou égale à 10^{-4} par an doivent être pris en compte et évalués, pour démontrer que la protection contre les défaillances dues à des causes naturelles est suffisante. Il sera répondu à cette exigence au chapitre 3.

Les exigences pour l'analyse déterministe des défaillances sont spécifiées dans la directive IFSN-A01 (IFSN 2009b).

2.3.2.3 Principes de la radioprotection

Les principes de conception de la radioprotection pour le fonctionnement de l'installation CNN sont traités au chapitre 4. Les principes de conception de la radioprotection en cas de défaillance sont abordés au chapitre 2.3.2.2.

2.3.2.4 Exigences en matière de sûreté

Pour assurer la sûreté de la CNN, la requérante observera les principes de protection suivants (art. 5 LENu 2003, art. 9, OENu 2004):

- Des mesures en matière de sûreté doivent être prises pour empêcher des tiers d'attenter à la sécurité des installations nucléaires ou que des matières nucléaires ne puissent être dérobées. Ces mesures seront autant que possible classifiées.
- La protection des installations et des matières nucléaires contre les actes de sabotage, les actes de violence ou le vol doit reposer sur un système de défense échelonné en profondeur comprenant des mesures de nature architecturale, technique, organisationnelle, personnelle et administrative.

Les principes pour les hypothèses de risque et les exigences relatives aux mesures en matière de sûreté pour les installations nucléaires sont spécifiés dans l'ordonnance du DETEC 2008.

Les exigences de base pour les mesures en matière de sûreté sont présentées dans un document distinct de la demande (Rapport de sûreté) (CNN 2008a).

3 Caractéristiques du site et évènements externes

Le présent chapitre décrit les caractéristiques du site et présente leur évaluation du point de vue de la qualification du site pour la construction d'une centrale nucléaire de 3^{ème} génération. L'évolution future des paramètres du site, entre autres en raison du changement climatique, est présentée de manière qualitative avec, dans la mesure du possible, une estimation quantitative.

Les évènements externes dépendants du site et présentant des conséquences potentielles sur l'installation et/ou la conception de l'installation sont analysés et évalués isolément, et en combinaison avec les autres évènements externes.

3.1 Évènements externes et combinaisons d'évènements pris en compte

Bien que la procédure d'autorisation générale n'exige pas qu'une analyse probabiliste de la sécurité (PSA) soit effectuée, la directive IFSN-A05 (IFSN 2009a) a été mise à contribution pour la détermination des évènements et combinaisons d'évènements externes devant être pris en considération dans le présent rapport de sécurité pour la CNN.

3.1.1 Évènements externes isolés

Les évènements externes selon la directive IFSN-A05 (IFSN 2009a) sont présentés dans le tableau 3.1-1 avec l'indication des chapitres du rapport de sécurité, dans lesquels ils sont traités.

Tableau 3.1-1 Évènements externes selon la directive IFSN-A05 avec indication des chapitres dans lesquels ils sont traités dans le rapport de sécurité

Évènement externe	Chapitre
Tremblement de terre: oscillations du terrain, affaissements de terrain, glissement de terrain	3.6 Géologie, séismologie et terrain à bâtir
Vents extrêmes	3.4 Météorologie
Tornades y compris les débris et autres objets transportés par le vent	3.4 Météorologie
Inondation externe/ crue	3.5 Hydrologie
Chute d'avion: charges de chocs sur les bâtiments, ébranlements induits, incendies de carburants, y compris le développement de fumée, les explosions et les impacts liés aux débris	3.3 Voies de communication, entreprises, réseaux de canalisation, forêts
Sécheresse	Température élevée de l'eau de rivière: 3.5 Hydrologie impact sur la température des eaux souterraines: 3.5 Hydrologie Température élevée de l'air: 3.4 Météorologie
Érosion	3.5 Hydrologie
Incendie de forêt	3.3 Voies de communication, entreprises, réseaux de canalisation, forêts
Hautes températures estivales	3.4 Météorologie
Gel	4 Météorologie (air) 3.5 Hydrologie (eau)
Accidents dans les installations industrielles ou militaires	3.3 Voies de communication, entreprises, réseaux de canalisation, forêts
Glissement de terrain/Éboulement	Glissement de terrain: 3.6 Géologie, séismologie et terrain à bâtir Éboulement: pas applicable pour l'aire de projet de la CNN
Foudre	3.4 Météorologie
Basses eaux	3.5 Hydrologie
Faibles températures hivernales	Cf. Gel
Incident de pipeline	Canalisations de gaz: 3.3 Voies de communication, entreprises, réseaux de canalisation, forêts
Rejet de substances chimiques sur l'aire de l'installation	3.3 Voies de communication, entreprises, réseaux de canalisation, forêts
Détournement de cours d'eau	3.1.2 Combinaison d'évènements (imaginable uniquement pour une magnitude de séisme extrêmement peu probable)
Obstruction des grilles d'entrée et des filtres d'admission par des objets transportés par la rivière (comme par exemples des troncs d'arbre, des branches, des feuilles, des coquillages, des algues etc.)	3.5 Hydrologie
Neige (congères)	3.4 Météorologie
Stabilisation du sol (rétraction/gonflement)	3.6 Géologie, séismologie et terrain à bâtir
Accidents de circulation/de transport	3.3 Voies de communication, entreprises, réseaux de canalisation, forêts

3.1.2 Combinaisons d'évènements

3.1.2.1 Combinaisons d'évènement selon la directive IFSN-A05

Dans la directive IFSN-A05 (IFSN 2009a), deux combinaisons d'évènement sont spécifiées:

- Des conditions hivernales extrêmement rudes, avec de la neige (congères), des températures basses et du gel
- Des conditions estivales particulières dures, avec des températures élevées, la sécheresse, des incendies de forêts et étiages des cours d'eau.

3.1.2.2 Autres combinaisons possibles d'évènements

Les combinaisons d'évènements ayant ou pouvant avoir entre eux un rapport de causalité seront pris en considération. Les combinaisons d'évènements indépendants les uns des autres et qui, par pur hasard, se produisent simultanément ou successivement de manière à provoquer des conséquences plus importantes que s'ils se manifestaient isolément seront, si nécessaire, traités dans l'analyse PSA.

Les combinaisons d'évènements isolés présentés au chapitre 3.1.1 sont énumérées ci-après, dans un premier temps de manière purement formelle, sans évaluation de leurs conséquences sur la conception de l'installation. En partant de chaque évènement externe considéré comme évènement déclencheur, les évènements consécutifs ou simultanés potentiels sont indiqués.

Les évènements externes suivants sont considérés en combinaison avec des évènements potentiellement liés de manière causale:

Séisme

- Inondation externe (rupture d'une digue / d'un barrage)
- Glissement de terrain
- Etiages des cours d'eau ou perte du canal d'amenée
- Détournement de cours d'eau
- Obstruction des grilles d'entrée et des filtres d'admission
- Incendie
- Accidents sur des voies de communication voisines, dans des entreprises et des réseaux de canalisation

Vents extrêmes/tornades y compris débris et autres objets transportés par le vent

- Chute d'avion
- Foudre

Inondation externe

- Érosion des berges
- Glissement de terrain
- Obstruction des grilles d'entrée et des filtres d'admission

D'autres évènements externes déclencheurs soit ne constituent pas une menace pour l'aire de projet de la CNN (tableau 3.1-2) ou ne provoquent pas d'autres évènements consécutifs par causalité directe (tableau 3.1-3) ou encore sont combinés avec d'autres évènements conformément à la directive IFSN-A05 (tableau 3.1-4).

Rapport de sécurité pour la CNN

-3.1 Évènements externes et combinaisons d'évènements pris en compte-

Tableau 3.1-2 *Évènements externes qui ne constituent pas une menace pour l'aire du projet de la CNN*

Évènement déclencheur	Commentaires
Érosion	Pas de danger pour l'aire du projet CNN, cf. chapitre 3.5 Hydrologie
Glissement de terrain	Pas de menace pour l'aire du projet de la CNN, cf. chapitre 3.6 Géologie, séismologie et terrain à bâtir
Stabilisation du sol (rétraction/gonflement)	Pas applicable pour l'aire du projet de la CNN, cf. chapitre 3.6 Géologie, séismologie et terrain à bâtir

Tableau 3.1-3 *Évènements externes sans évènements externes consécutifs*

Évènement déclencheur	Commentaires
Chute d'avion: charges de chocs sur les bâtiments, ébranlements induits, incendies de carburants, y compris le développement de fumée, les explosions et les impacts liés aux débris	Pas d'autres évènements externes consécutifs
Incendie de forêt y compris le rayonnement thermique et le développement de fumée	Pas d'autres évènements externes consécutifs
Gel avec perte des captages d'eau dans la rivière	Pas d'autres évènements externes consécutifs
Accidents dans les installations industrielles ou militaires, y compris les ondes de choc, le rayonnement thermique et les gaz toxiques	Pas d'autres évènements externes consécutifs
Foudre	Pas d'évènements externes consécutifs
Etiages des cours d'eau	Pas d'évènements externes consécutifs
Incident de pipeline (canalisations de gaz): ondes de chocs, rayonnement thermique, pénétration de gaz dans le bâtiment de la CNN	Pas d'autres évènements externes consécutifs
Détournement de cours d'eau (en raison d'un tremblement de terre)	Pas d'autres évènements externes consécutifs.
Obstruction des grilles d'entrée et des filtres d'admission	Pas d'évènements externes consécutifs
Neige (congères)	Pas d'évènements externes consécutifs
Accidents de circulation/de transport y compris les ondes de chocs, le rayonnement thermique, la pénétration du gaz dans le bâtiment de la CNN	Pas d'autres évènements externes consécutifs

Tableau 3.1-4 *Évènements externes combinés selon la directive IFSN-A05*

Évènement déclencheur	Commentaires
Sécheresse	Cf. combinaison d'évènements conformément à la directive IFSN-A05 au chapitre 3.1.2.3
Hautes températures estivales	Cf. combinaison d'évènements conformément à la directive IFSN-A05 au chapitre 3.1.2.3
Faibles températures hivernales	Cf. combinaison d'évènements conformément à la directive IFSN-A05 au chapitre 3.1.2.3

3.1.2.3 Autres combinaisons d'évènements à prendre en considération

Après la précédente procédure de sélection et d'exclusion, les combinaisons d'évènement suivantes restent à prendre en considération:

Séisme

- Inondation externe (rupture d'une digue / d'un barrage)
- Glissement de terrain (uniquement des glissements de berge, cf. chapitre 3.6)
- Etiages ou perte du canal d'amenée
- Détournement de cours d'eau
- Obstruction des grilles d'entrée et des filtres d'admission
- Incendie
- Accidents sur des voies de communication voisines, dans des entreprises et des réseaux de canalisation

Vents extrêmes/tornades y compris débris et autres objets transportés par le vent

- Chute d'avion

Ici, on peut tout au plus considérer des avions privés de faible taille. Les pilotes des avions de plus grande taille reconnaissent les orages sur leur radar et sont tenus d'éviter ces perturbations météorologiques.

- Foudre

Inondation externe

- Érosion des berges
- Glissement de terrain
- Obstruction des grilles d'entrée et des filtres d'admission

Chapitre 3.1.2.1 et IFSN-A05:

- Des conditions d'hiver extrêmement rudes, avec de faibles températures de l'eau et de l'air et du gel

En l'absence de gel, les deux premiers évènements consécutifs à des conditions hivernales extrêmement rudes (faibles températures de l'eau et de l'air) n'ont aucune influence négative potentielle sur la conception de la centrale: plus l'air et l'eau de la rivière sont froids, plus le refroidissement des composants de l'installation (importants pour la sécurité) est meilleur. C'est la raison pour laquelle cette combinaison d'évènement est comprise dans l'évènement isolé "gel"(cf. chapitres 3.4 "Météorologie"et 3.5 "Hydrologie").

- Des conditions estivales particulières dures, avec des températures de l'eau et de l'air élevées, de la sécheresse et des étiages des cours d'eau et des faibles niveaux des nappes d'eau souterraine

Les combinaisons d'évènements externes à suivre sont traitées plus en détail et évaluées au chapitre 3.8.7 "Combinaisons d'évènements", en tenant compte des évaluations des différents évènements aux chapitres 3.3 à 3.7.

3.2 Géographie et répartition de la population

3.2.1 Description du site et de ses alentours

Le site de la centrale nucléaire prévue dans le Niederamt (CNN) se trouve au nord-est du canton de Soleure, dans les districts d'Olten et de Gösgen sur le territoire des communes de Däniken, Gretzenbach et de Niedergösgen, cf. la figure 3.2-1. L'aire de projet de la CNN (environ 49 ha) comprend non seulement l'aire principale avec l'installation du réacteur (env. 10 ha), mais aussi une aire partielle Nord (env. 14 ha), qui représente la continuation de l'aire principale vers le nord et une aire partielle Sud (environ 22 ha), qui est la continuation de l'aire principale vers le sud. Une partie des berges ainsi qu'une partie de l'Ancienne Aar (environ 3 ha) entre l'aire principale et l'aire partielle Nord sont utilisées pour les franchissements et les traversées sous-fluviales de l'Ancienne Aar.

L'aire principale et l'aire partielle Sud sont limitées au nord par le cours de l'Aar qui méandre sur trois de ses côtés autour du champ dit "Aarfeld". Le champ dit "Aarfeld" forme un champ plat de graviers d'une surface d'environ 1 km². L'aire partielle Nord se trouve entre l'Ancienne Aar et le canal d'amenée de la centrale hydro-électrique de Gösgen (île). Dans la partie orientale de l'île se trouve le champ également plat de graviers dit "Grossacker".

Tandis que la partie sud de la berge ainsi que la partie orientale de l'île s'inclinent sur le cours de la rivière par un talus, le versant nord s'élève à pic au droit de l'adossement du canal d'amenée comme zone de bordure du méandre de la rivière.

Suivant les plans d'affectation des communes concernées, l'aire de projet de la CNN se trouve essentiellement dans la zone industrielle A (Däniken), dans la zone d'activité 1, dans la zone de réserve et la forêt, dans la zone de protection du littoral cantonal (Gretzenbach), dans la zone spéciale de l'usine électrique, dans la zone commerciale et la zone noyau de Mühlendorf (Niedergösgen) ainsi que dans la zone agricole (Däniken et Gretzenbach). Les détails en sont contenus dans le rapport relatif à la concordance avec l'aménagement du territoire (KKN 2009b).

3.2.2 Topographie

Comme le montre la section de la carte nationale 1: 25'000 présentée sur la figure 3.2-1, la vallée de l'Aar forme sur le site un fond de vallée plat de près de 3 km de largeur, sur lequel l'Aar méandre, d'ouest en est, entre Olten et Schönenwerd. À partir du rétrécissement de la vallée près de Schönenwerd, le cours de l'Aar s'oriente vers le nord-est, vers les villes d'Aarau et de Wildegg.

L'altitude du fond de la vallée dans l'environnement septentrional du site varie entre 300 m s. m. et 400 m s. m. Les chaînes de montagnes en grande partie boisées qui limitent la vallée de l'Aar au nord font partie de la zone de bordure méridionale du Jura. Cette zone est caractérisée par une montée relativement raide de 450 m s. m. à 470 m s. m. du pied vallonné des hauteurs du Jura qui s'élèvent de 750 m à et 900 m s. m., à environ 3 km du cours de l'Aar.

Au sud, à une distance d'environ 3 km, la pente nord du "Dulliker Engelberg" s'élève relativement à pic jusqu'à 702 m s. m. , et atteint par ses ramifications nord-est l'élargissement de vallée d'Aarau avec l'embouchure de la Suhre.

Outre l'Aar méandre, se situe entre Olten et Aarau le canal d'amenée de la centrale hydro-électrique de Gösgen. Avec une longueur de près de 5 km, ce canal s'étend presque jusqu'à Olten, où une digue-réservoir située directement en amont de Winznau influence ou régule le niveau des eaux dans le canal et le débit résiduel dans l'Ancienne Aar. Le canal de fuite rejoint le cours de l'Aar à environ 1 km en aval de la salle de machines de la centrale hydro-électrique de Gösgen.

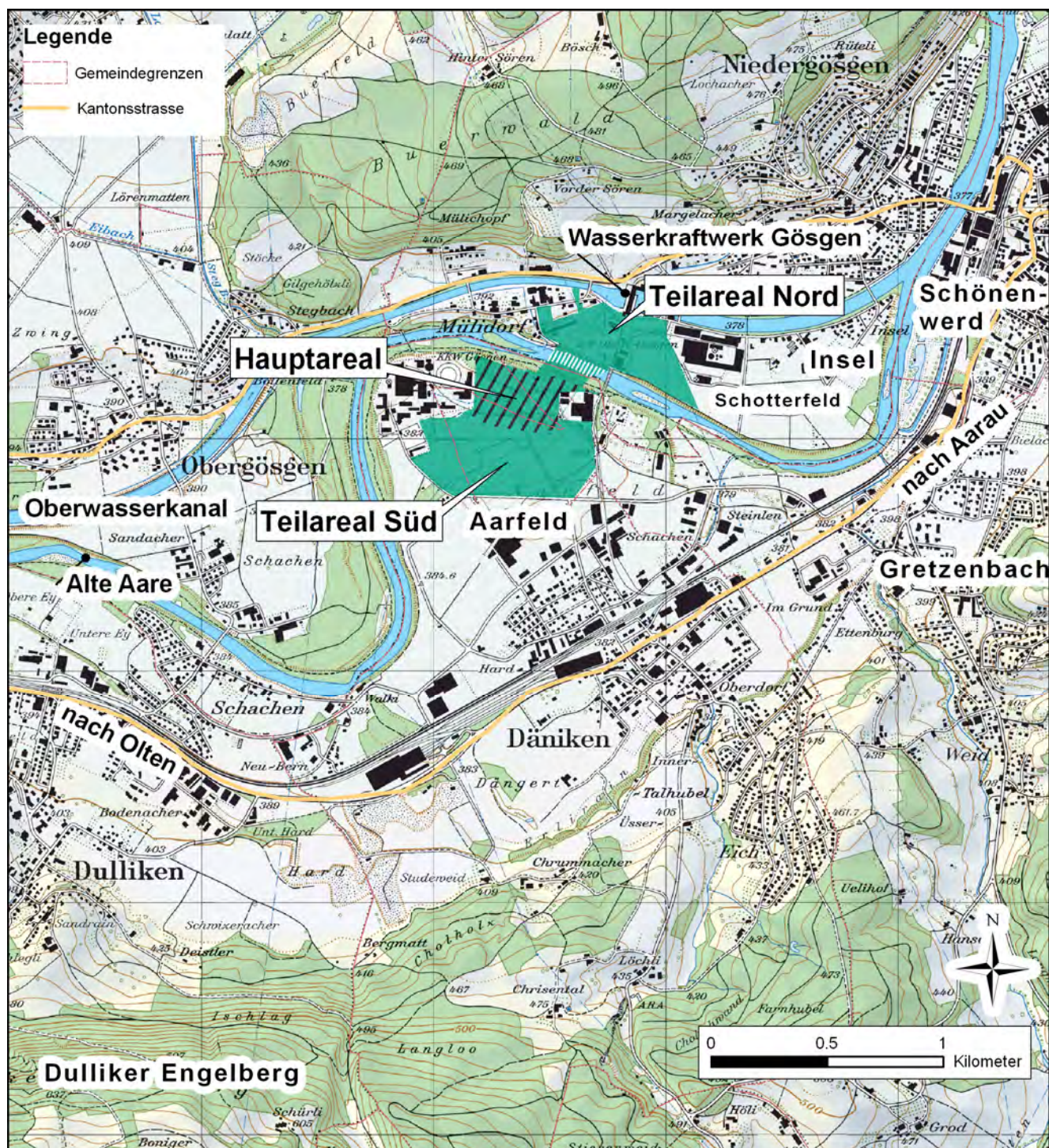


Figure 3.2-1 Position de l'aire du projet (base: carte nationale 1: 25'000, reproduite avec l'autorisation de swisstopo BM092332)

3.2.3 Distribution de l'habitat et des infrastructures

3.2.3.1 Méthodologie de saisie des données démographiques

Les données démographiques ont été saisies au moyen d'un système d'information géographique (SIG) (ESRI 2008). Les bases de données numériques suivantes ont été utilisées:

- Frontière cantonales et communales (Swisstopo 2007)
- Zones de construction des communes concernées dans les cantons de Soleure (SOGIS 2007), d'Argovie (AGIS 2007) et de Bâle-Campagne (ARP 2007)
- Données démographiques des communes concernées, habitants au 31.12.2008 (Stat 2008)

Pour chaque commune située intégralement ou en partie dans un rayon de 10 km autour du site de la CNN, toutes les zones d'habitation (zones habitées en permanence) ont été déterminées sur la base des zones urbaines. Dans le SIG, la totalité de la population a été assignée aux zones d'habitation respectives dans chaque commune. Le voisinage autour du site a été subdivisé en secteurs de 30° et en zones annulaires concentriques de 1 km d'extension radiale. La population y a ensuite été assignée, commune par commune, à l'aide du SIG (tableau 3.2-1).

3.2.3.2 Données de distribution de l'habitat autour du site de la CNN

Le site de la CNN se trouve dans une zone faiblement peuplée dans ses environs immédiats. Dans un rayon de 1 km, on trouve les agglomérations de Lören (au nord de Däniken), de Mülidorf, de Mülifeld et le lotissement de maisons individuelles dans la partie orientale de la commune d'Obergösgen, avec environ 200 maisons et 960 habitants au total. Les bâtiments d'habitation les plus proches se trouvent à Mülidorf, à une distance d'environ 250 à 500 m du centre de l'aire principale. Environ 7'200 personnes vivent à une distance d'environ 1 à 2 km, la plus grande partie se répartissant sur les communes de Niedergösgen (2'470), d'Obergösgen (1'750) et de Däniken (1'900) (cf. tableau 3.2-1). L'agglomération industrielle et d'habitation importante la plus proche est celle de Niedergösgen/Schönenwerd. Elle possède un diamètre d'env. 2 km et une population totale de 11'000 habitants (Gretzenbach incluse), et son centre se trouve à 2 km du site.

Dans un rayon de 10 km autour du site de la CNN, on trouve trois agglomérations d'importance possédant plus de 10'000 habitants: Aarau avec environ 16'000 habitants au nord-est, Olten avec environ 17'000 habitants à l'ouest et Zofingen avec environ 11'000 habitants au sud. Plus loin (distance > 10 km), on ne trouve pas de grande zone urbaine. Les centres urbains de Bâle et de Zurich se trouvent à une distance de 30 à 40 km ou 40 à 50 km.

Rapport de sécurité pour la CNN

-3.2 Géographie et répartition de la population-

Les agglomérations et la répartition de la population dans le voisinage du site de la CNN sont représentées aux figure 3.2-2 à figure 3.2-4. De plus, le tableau 3.2-1 présente les localités dans un rayon de 10 km, avec indication du nombre d'habitants et de la distance jusqu'au site (centre de l'aire principale) (Stat 2008).

Tableau 3.2-1 Nombres d'habitants dans un rayon de 10 km autour du site de la CNN, état au 31.12.2008

Distance du site (km) pour chaque zone annulaire	Commune (prise en compte proportionnellesur la base de sa position r	Nombre d'habitants dans la zone annulaire considérée (par commune)	Nombre d'habitants dans la zone annulaire considérée (total)
0 - 1	Däniken	191	957
	Gretzenbach	4	
	Niedergösgen	741	
	Obergösgen	21	
1 - 2	Dulliken	70	7'185
	Däniken	1'884	
	Gretzenbach	958	
	Niedergösgen	2'472	
	Obergösgen	1'745	
	Schönenwerd	56	
2 - 3	Dulliken	2'677	12'713
	Däniken	632	
	Gretzenbach	1'469	
	Lostorf	2'016	
	Niedergösgen	636	
	Obergösgen	294	
	Schönenwerd	3'583	
	Stüsslingen	658	
	Winznau	748	
3 - 4	Dulliken	1'917	7'492
	Eppenberg-Wöschnau	41	
	Erlinsbach (SO)	641	
	Gretzenbach	15	
	Lostorf	1'421	
	Olten	271	
	Schönenwerd	1'116	
	Starrkirch-Wil	786	
	Stüsslingen	339	
	Walterswil (SO)	41	
	Winznau	904	

Rapport de sécurité pour la CNN

-3.2 Géographie et répartition de la population-

Distance du site (km) pour chaque zone annulaire	Commune (prise en compte proportionnellesur la base de sa position r	Nombre d'habitants dans la zone annulaire considérée (par commune)	Nombre d'habitants dans la zone annulaire considérée (total)
4 - 5	Aarau	146	16'351
	Eppenberg-Wöschnau	270	
	Erlinsbach	2'938	
	Kölliken	1'734	
	Lostorf	295	
	Oberentfelden	922	
	Olten	5'896	
	Safenwil	1'480	
	Starrkirch-Wil	836	
	Trimbach	893	
	Unterentfelden	267	
	Walterswil (SO)	651	
	Winznau	23	
5 - 6	Aarau	4'210	32'269
	Aarburg	293	
	Erlinsbach	2'903	
	Kölliken	2'346	
	Oberentfelden	5'480	
	Oftringen	17	
	Olten	7'925	
	Rohr (SO)	94	
	Safenwil	1'799	
	Trimbach	3'701	
	Unterentfelden	3'501	
6 - 7	Aarau	9'094	25'276
	Aarburg	2'658	
	Erlinsbach	2	
	Holziken	591	
	Küttigen	865	
	Muhen	1'335	
	Oberentfelden	896	
	Oftringen	4'973	
	Olten	2'956	
	Suhr	254	
	Trimbach	1'334	
	Wangen bei Olten	1	
	Wisen (SO)	2	
	Zofingen	315	

Rapport de sécurité pour la CNN

-3.2 Géographie et répartition de la population-

Distance du site (km) pour chaque zone annulaire	Commune (prise en compte proportionnellesur la base de sa position r	Nombre d'habitants dans la zone annulaire considérée (par commune)	Nombre d'habitants dans la zone annulaire considérée (total)
7 - 8	Aarau	2'423	32'799
	Aarburg	3'741	
	Buchs (AG)	2'442	
	Hauenstein-Ifenthal	191	
	Hirschthal	488	
	Holziken	569	
	Kienberg	42	
	Küttigen	2'981	
	Muhlen	1'952	
	Oftringen	5'765	
	Olten	48	
	Oltingen	240	
	Suhr	5'866	
	Trimbach	273	
	Uerkheim	903	
	Wangen bei Olten	1'941	
	Wisen (SO)	409	
	Zeglingen	446	
	Zofingen	2'079	
8 - 9	Aarau	31	25'587
	Biberstein	59	
	Bottenwil	224	
	Buchs (AG)	3'854	
	Gränichen	699	
	Hauenstein-Ifenthal	61	
	Hirschthal	916	
	Kienberg	468	
	Kilchberg (BL)	123	
	Küttigen	1'557	
	Läufelfingen	106	
	Muhlen	202	
	Oftringen	1'028	
	Oltingen	179	
	Rickenbach (SO)	19	
	Rohr (AG)	1'829	
	Rothrist	2'097	
	Schöffland	2'016	
	Strengelbach	63	

Rapport de sécurité pour la CNN

-3.2 Géographie et répartition de la population-

Distance du site (km) pour chaque zone annulaire	Commune (prise en compte proportionnellesur la base de sa position r	Nombre d'habitants dans la zone annulaire considérée (par commune)	Nombre d'habitants dans la zone annulaire considérée (total)
	Suhr	3'436	
	Uerkheim	382	
	Wangen bei Olten	2'919	
	Zeglingen	16	
	Zofingen	3'303	
9 - 10	Anwil	484	
	Biberstein	667	
	Bottenwil	570	
	Buchs (AG)	243	
	Densbüren	33	
	Gränichen	4'282	
	Hauenstein-Ifenthal	62	
	Hirschthal	25	
	Häfelfingen	220	
	Hägendorf	290	
	Kappel (SO)	98	
	Kilchberg (BL)	8	
	Läufelfingen	1'149	
	Oberhof	560	
	Rickenbach (SO)	897	
	Rohr (AG)	1'384	
	Rothrist	3'178	
	Rünenberg	166	
	Schöftland	1'594	
	Staffelbach	158	
	Strengelbach	2'267	
	Wenslingen	664	
	Zofingen	4'512	
			23'511



Figure 3.2-2 Nombres d'habitants par commune dans un rayon de 10 km, état au 31.12.2008

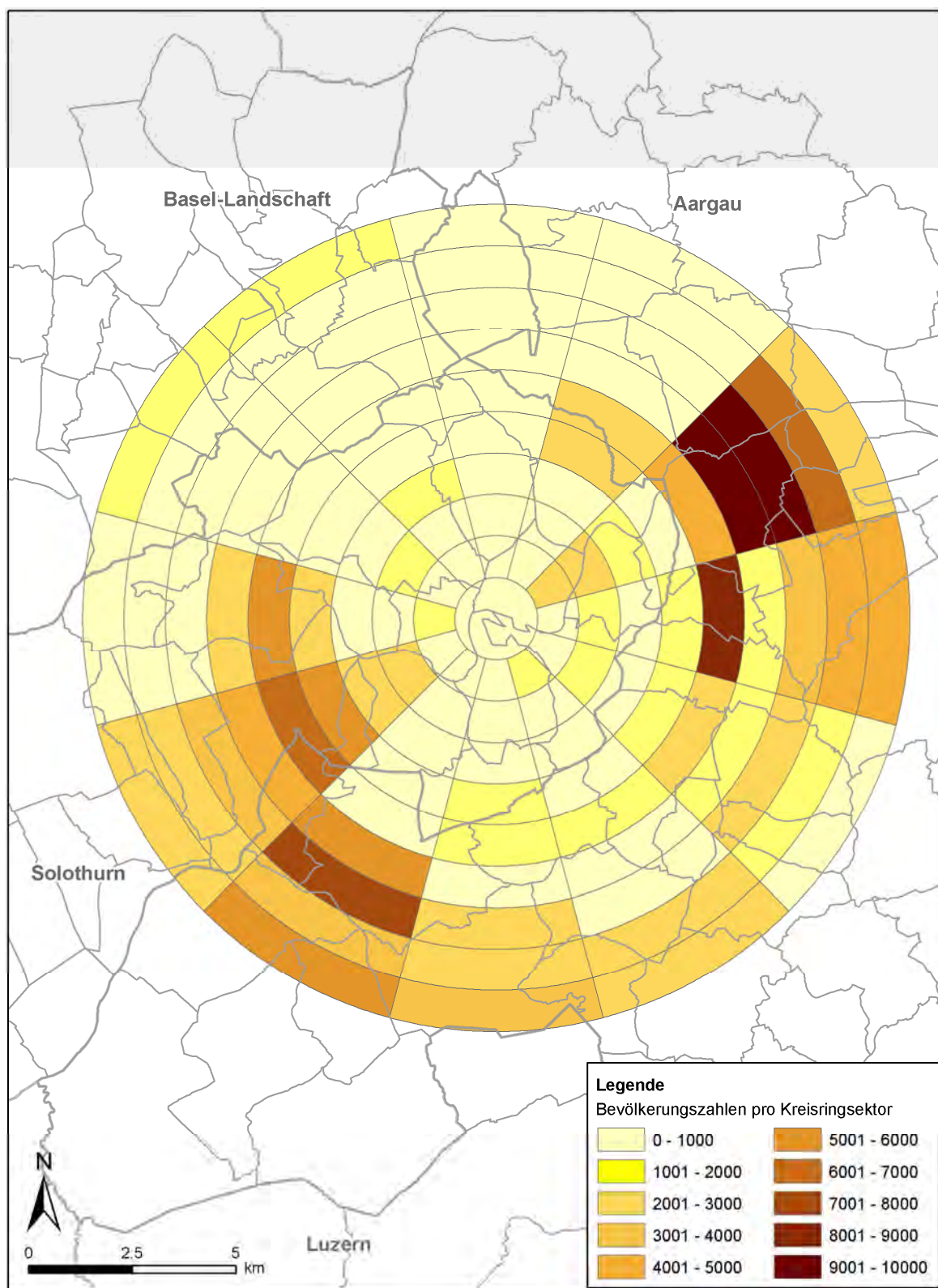


Figure 3.2-3 Nombres d'habitants par secteur de zone annulaire dans un rayon de 10 km, état au 31.12.2008

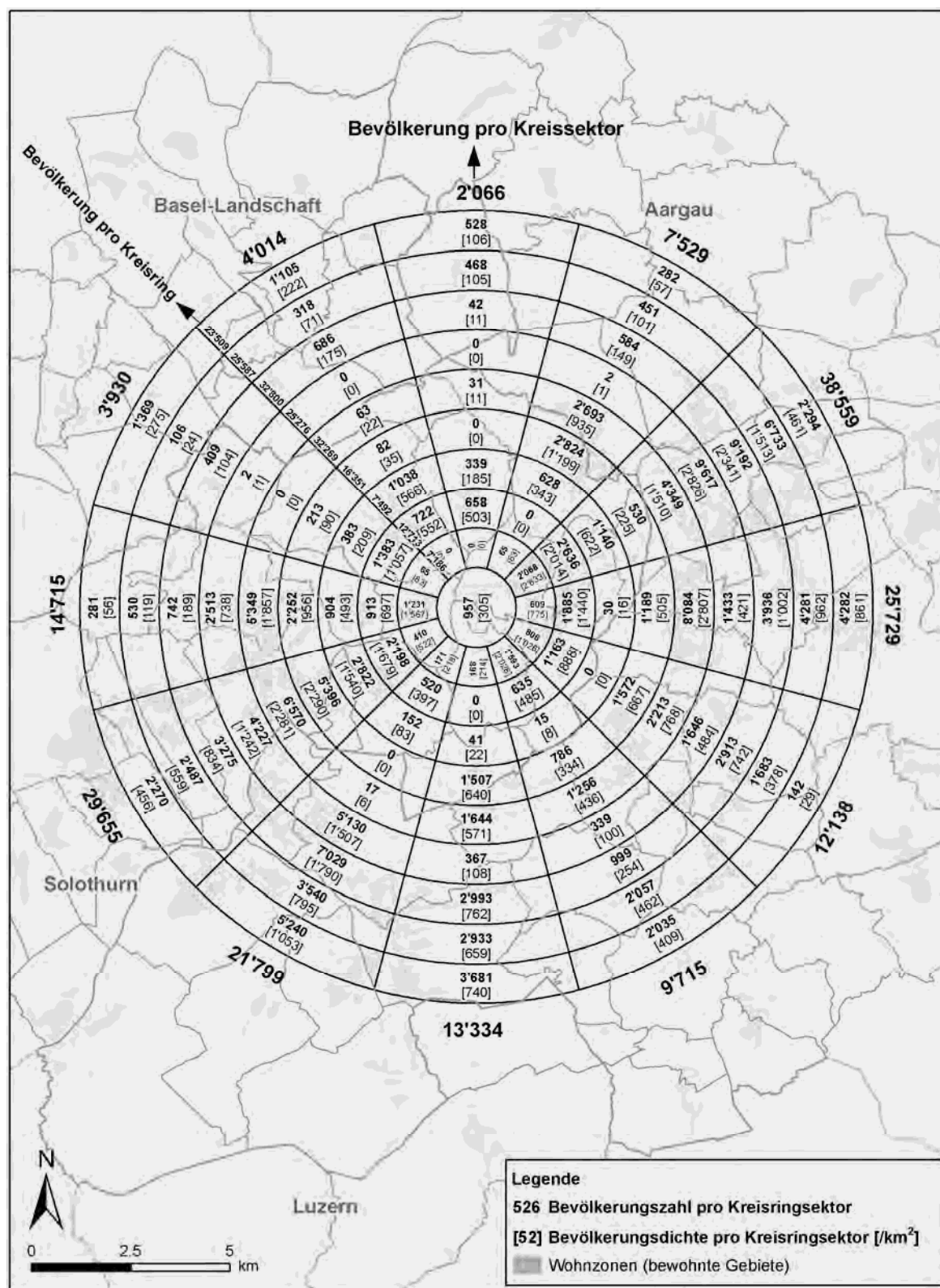


Figure 3.2-4 Nombres d'habitants et densité de la population par secteur de zone annulaire dans un rayon de 10 km, état au 31.12.2008

Le tableau 3.2-2 présente une liste des établissements publics-écoles, hôpitaux, établissements hospitaliers, maisons de retraite - situés dans un rayon de 10 km autour du site de la CNN et pouvant contenir plus de 200 personnes, ainsi que les entreprises avec plus de 200 employés. Les sources de ces informations sont le canton SO 2002, l'OFS 2005a, le canton BL 2006, le canton AG 2007a, le canton AG 2007b, le canton BL 2007, le canton SO 2007, canton SO 2008 et le canton AG 2009a.

En complément au, il convient de noter ce qui suit:

- 1 Conformément à l'ordonnance concernant l'exécution des relevés statistiques fédéraux basée sur la loi sur la statistique fédérale, la publication de résultats de relevés statistiques qui permettrait l'identification d'entreprises ou autres établissements n'est pas autorisé (Ordonnance sur les relevés statistiques 1993). C'est la raison pour laquelle seule l'activité économique selon le code de l'Office fédéral de la statistique est indiquée pour les entreprises et établissements indiquées au tableau 3.2-2 (OFS 2002).
- 2 La répartition des nombres d'élèves par bâtiments scolaires individuels n'a pas pu être obtenue des autorités compétentes. Par conséquent, le nombre total d'élèves est indiqué par commune. Le département de la formation et de la culture du canton de Soleure n'effectue plus de statistiques relatives aux élèves depuis l'année 2002. Les données pour le canton de Soleure sont donc celles de 2002 (canton SO 2002).
- 3 Dans le canton de Bâle-Campagne, aucune des communes concernées ne compte plus de 200 élèves. De plus, il n'y a dans ces communes ni d'établissements publics pouvant contenir plus de 200 personnes, ni d'entreprises de plus de 200 employés (OFS 2005a, canton BL 2006, canton BL 2007).

Rapport de sécurité pour la CNN

-3.2 Géographie et répartition de la population-

Tableau 3.2-2 *Établissements publics pouvant contenir plus de 200 personnes et entreprises de plus de 200 employés dans un rayon de 10 km autour du site de la CNN*

Commune	Écoles (nombre d'élèves)	Établissements (activités économiques selon le code NOGA de l'Office fédéral de la statistique) et nombre d'employés	Hôpitaux, établissements hospitaliers (capacité en lits)
Canton d'Argovie			
Aarau	10'025	Construction: 685 Intermédiation financière: 357 Fabrication d'appareils techniques: 817 Représentations d'intérêts: 431 Administration publique, défense; sécurité sociale obligatoire: 458 Postes et télécommunications: 1'098 Santé, affaires vétérinaires et sociales: 3'207	Hôpital cantonal: 565 Maisons de retraite: 116 Clinique privée: 98
Aarburg	814	Producteurs de pièces métalliques: 311	--
Buchs (AG)	748	Fabrication d'articles en caoutchouc et en matières plastiques: 208 Industrie chimique: 520 Industries alimentaires et boissons: 731 Services aux entreprises: 262 Transports terrestres ; transports par conduites: 263	--
Erlinsbach	662	Santé, affaires vétérinaires et sociales: 301	--
Gränichen	936	Industries alimentaires et industries des boissons: 570	--
Köllikon	601	--	--
Küttigen	549	--	--
Muhen	346	Services aux entreprises: 427	--
Oberentfelden	1'009	Fabrication d'appareils pour la production et la distribution de l'électricité 565	Maisons de retraite et homes médicalisés: 97
Oftringen	1'360	Industrie du papier et du carton: 297 Producteurs de pièces métalliques: 202	--
Rohr (AG)	363	--	--
Rothrist	916	Santé, affaires vétérinaires et action sociale: 216 Commerce de détail; réparation d'articles personnels et domestiques: 256 Industries alimentaires et boissons: 297	Maisons de retraite/ Logements pour personnes âgées: 110
Safenwil	338	Commerce, entretien et réparation de véhicules automobiles: 246	--
Schöftland	645	--	Centre régional pour personnes âgées: 111
Strengelbach	504	--	--
Suhr	1'240	Commerce de détail; réparation d'articles personnels et domestiques: 587 Industries alimentaires et industries des boissons: 434 Services affiliés aux transports ; activités des entreprises de transport: 679	Hôpital régional Lindenfeld: 150 Maisons de retraite et homes médicalisés: 104
Unterentfelden	530	Producteurs de pièces métalliques: 209	--

Rapport de sécurité pour la CNN

-3.2 Géographie et répartition de la population-

Commune	Écoles (nombre d'élèves)	Établissements (activités économiques selon le code NOGA de l'Office fédéral de la statistique) et nombre d'employés	Hôpitaux, établissements hospitaliers (capacité en lits)
Zofingen	2'938	Santé, affaires vétérinaires et sociales: 567 Édition, impression, reproduction d'enregistrements sonores, vidéo et informatiques: 956 Fabrication de machines et d'équipements: 607 Industrie chimique: 763	Hôpital de district: 122 Clinique privée: 98 Service de foyers médicalisés: 96 Maisons municipales pour personnes âgées: 136
Canton de Soleure			
Däniken	239	Production et distribution d'électricité, de combustibles gazeux et de chaleur: 475 Fabrication d'appareils pour la production et la distribution de l'électricité: 275	--
Dulliken	548	Producteurs de pièces métalliques: 217	--
Gretzenbach	297	--	--
Hägendorf	560	Intermédiaires du commerce et commerce de gros (sans le commerce de véhicules automobiles) 435	--
Kappel	197	--	--
Lostorf	297	--	--
Niedererlins- bach	147	--	--
Niedergösgen	362	--	--
Obergösgen	450	--	--
Olten	8'760	Fabrication d'appareils pour la production et la distribution de l'électricité: 310 Transports terrestres ; transports par conduites: 936 Postes et télécommunications: 221 Production et distribution d'électricité, de combustibles gazeux et de chaleur: 285 Métallurgie: 206 Services aux entreprises: 220 Intermédiation financière: 224 Santé, affaires vétérinaires et sociales: 1'076 Éducation et enseignement: 200	Hôpital cantonal: 221
Rickenbach	--	Industrie du papier et du carton: 365	--
Schönenwerd	695	Construction: 200	Maison de retraite pour personnes âgées: 91
Trimbach	754	--	--
Wangen bei Olten	458	Industries alimentaires et boissons: 402 Services affiliés aux transports ; activités des entreprises de transport: 939	--

3.2.4 Occupation des sols

Dans les tableau 3.2-3 à la tableau 3.2.6, les communes dont la surface ne touche que marginalement le rayon extérieur considéré ne sont pas prises en compte.

3.2.4.1 Statistiques sur l'aire

Le tableau 3.2-3 présente une vue synoptique de l'occupation des sols dans les communes qui se trouvent intégralement ou en partie dans un rayon de 5 km autour du site de la CNN. Dans les statistiques de l'aire 1992/1997 (OFS 1997) de l'Office fédéral de la statistique, les parts de superficie suivantes ont été déterminées:

Forêt et bosquets	5'453 ha	soit	43 % de la superficie totale
Production agricole	4'123 ha	soit	33 % de la superficie totale
Agglomérations et transports	2'269 ha	soit	18 % de la superficie totale
Industrie	276 ha	soit	2 % de la superficie totale
Surfaces non productives	230 ha	soit	2 % de la superficie totale
Horticulture, vignoble et culture fruitière	290 ha	soit	2 % de la superficie totale

Rapport de sécurité pour la CNN

-3.2 Géographie et répartition de la population-

Tableau 3.2-3 *Végétation et utilisation des terres dans les communes qui se trouvent intégralement ou en partie dans un rayon de 5 km autour du site de la CNN (données de superficie en ha)*

Commune	Superficie totale	Forêt et bosquets	Horticulture, vignoble et culture fruitière	Prés, pâturages et terres arables	Zone construite (agglomération, transport et espaces verts)	Terrain industriel	Surface non productive
District de Gösgen (SO)							
Lostorf	1'331	658	23	515	130	5	0
Erlinsbach	886	362	39	355	104	3	23
Niedergösigen	433	171	12	95	109	15	31
Obergösigen	363	105	7	148	72	4	27
Stüsslingen	615	226	17	317	55	0	0
Rohr (SO)	225	112	8	91	14	0	0
Trimbach	765	415	15	173	145	8	9
Winznau	395	167	11	134	61	7	15
District d'Olten (SO)							
Däniken	280	89	4	146	36	2	3
Dulliken	603	209	18	222	126	25	3
Eppenberg-Wöschnau	183	80	2	67	21	8	5
Gretzenbach	581	214	17	234	99	14	3
Olten	1'151	497	14	147	345	93	55
Schönenwerd	374	168	3	38	128	20	17
Starrkirch-Wil	183	93	8	43	39	0	0
Walterswil	452	166	20	223	42	0	1
District d'Aarau (AG)							
Erlinsbach	986	530	25	317	105	0	9
Oberentfelden	718	304	9	202	180	21	2
Unterentfelden	289	88	4	89	93	14	1
District de Zofingen (AG)							
Köllikon	883	387	17	294	175	7	3
Safenwil	601	277	13	168	114	28	1

En comparaison aux statistiques de l'aire pour la période de 1979 à 1985 (OFS 1985), les surfaces ont très peu changé. La superficie de la forêt a légèrement diminué (moins 100 ha), de même que la surface dédiée à l'horticulture ainsi qu'à la culture fruitière et de la vigne (moins 100 ha). En revanche, les surfaces utilisées pour la production agricole (plus 200 ha), les lotissements et le transport (plus 150 ha) ont légèrement augmenté. La surface utilisée à des fins industrielles a augmenté de seulement 6 ha. Les prochaines statistiques de l'aire s'étendront sur la période 2004/2009.

3.2.4.2 Comptage des arbres fruitiers

Le nombre d'arbres fruitiers dans les communes qui se trouvent en partie ou intégralement dans un rayon de 5 km autour du site est indiqué dans le tableau 3.2-4 (ODS 2001). Le recensement des arbres fruitiers est effectué tous les 10 ans. Depuis la dernière enquête, un changement de système a eu lieu. Lors des recensements de 1951 à 1991, un "recenseur d'arbres fruitiers" était employé dans chaque commune. Il saisissait tous les arbres fruitiers présents sur le territoire communal respectif. Le dernier recensement a été effectué en 2001 et ne tient plus compte que des arbres fruitiers qui se trouvent sur les surfaces agricoles utiles et ont été communiqués à l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) par les agriculteurs.

Une estimation effectuée par la Confédération indique que près de 15% des arbres fruitiers dans le canton de Soleure et environ 30% de tous les arbres fruitiers dans le canton d'Argovie ne sont pas communiqués à l'OFAG. Des communes isolées peuvent toutefois s'écarter fortement de la moyenne. En prenant en compte cette estimation de la Confédération, près de 17'000 arbres fruitiers ont disparu de la région observée depuis 1991, ceci correspond à peu près à la moitié de tous les arbres fruitiers.

Tableau 3.2-4 Cultures fruitières dans les communes qui se trouvent intégralement ou en partie dans un rayon de 5 km autour du site de la CNN

Commune	Arbres fruitiers (nombre)
District de Gösgen (SO)	
Lostorf	1'547
Erlinsbach	1'279
Niedergösgen	500
Obergösgen	311
Stüsslingen	1'706
Rohr (SO)	1'095
Trimbach	1'022
Winznau	646
District d'Olten (SO)	
Däniken	343
Dulliken	785
Eppenber-Wöschnau	188
Gretzenbach	656
Olten	437
Schönenwerd	40
Starrkirch-Wil	214
Walterswil	752
District d'Aarau (AG)	
Erlinsbach	1'496
Oberentfelden	376
Unterentfelden	83
District de Zofingen (AG)	
Kölliken	868
Safenwil	579

3.2.4.3 Effectifs en animaux utilitaires

Le tableau 3.2-5 présente l'effectif des animaux utilitaires des communes qui se trouvent intégralement ou en partie dans un rayon de 10 km autour du site. Les données proviennent du recensement des entreprises agricoles, effectué en 2005 (OFS 2005b). Le prochain recensement officiel des entreprises agricoles aura lieu 2010.

De manière générale, on peut constater une diminution de l'élevage de bétail par rapport au passé. Il y a une spécialisation, c'est-à-dire une concentration des effectifs sur moins d'entreprises. Parallèlement, la production de la viande de bœuf a augmenté sur la base des fourrages grossiers au cours des dernières années. Beaucoup d'agriculteurs ne sont plus actifs dans la production du lait, mais font de l'élevage de bovins à viande (élevage de vaches mères) ainsi que pour l'exploitation de terrains agricoles non labourables. Dans les communes considérées, en 2005 l'élevage de bovins a augmenté dans 12 communes tandis qu'il a diminué dans 41 autres.

Tableau 3.2-5 Effectifs d'animaux utilitaires (nombre d'animaux) dans un rayon de 10 km autour du site de la CNN

Commune	Effectif total en bovins	Effectif en vaches	Effectif en porcs	Effectif en poulets
District de Gösgen (SO)				
Hauenstein-Ifenthal	445	171	104	230
Kienberg	729	287	740	4096
Lostorf	435	174	9	197
Erlinsbach	362	186	130	123
Niedergösgen	124	78	342	11'072
Obergösgen	251	84	53	170
Stüsslingen	433	181	1'206	15'477
Rohr (SO)	194	54	20	4
Trimbach	417	205	2	75
Winznau	280	147	411	190
Wisen	356	198	0	110
District d'Olten (SO)				
Däniken	233	90	273	182
Dulliken	388	154	0	246
Eppenberg-Wöschnau	75	40	380	34
Gretzenbach	189	90	2'206	200
Hägendorf	576	262	0	254
Kappel	154	59	0	135
Olten	88	46	82	138
Rickenbach	115	51	0	100
Schönenwerd	27	13	0	35
Starrkirch-Wil	12	5	0	30
Walterswil	572	122	1'559	12'290
Wangen b. Olten	173	94	0	544

Rapport de sécurité pour la CNN

-3.2 Géographie et répartition de la population-

Commune	Effectif total en bovins	Effectif en vaches	Effectif en porcs	Effectif en poulets
District Sissach (BL)				
Anwil	370	204	490	102
Häufelfingen	332	185	191	139
Kilchberg (BL)	116	38	0	41
Läufelfingen	554	227	258	2'243
Oltingen	571	231	88	182
Rünenberg	246	156	0	80
Wenslingen	431	184	332	196
Zeglingen	696	296	0	156
District d'Aarau (AG)				
Aarau	106	57	159	15
Biberstein	221	73	0	63
Buchs	29	14	135	30
Erlinsbach	529	237	283	181
Gränichen	381	174	283	181
Hirschthal	103	71	5	52
Küttigen	237	118	1'128	169
Muhen	424	247	2'964	215
Oberentfelden	293	86	108	178
Rohr (AG)	178	28	0	22
Suhr	256	81	567	11'094
Unterentfelden	0	0	216	0
Oberhof	726	319	1'372	5'788
District de Kulm (AG)				
Schöftland	110	63	240	193
District de Zofingen (AG)				
Aarburg	90	63	0	185
Bottenwil	343	95	10	79
Kölliken	328	183	121	225
Oftringen	1247	521	209	6'570
Rothrist	519	290	321	825
Safenwil	484	130	134	133
Uerkheim	816	238	1357	202
Zofingen	421	193	246	456
Strengelbach	321	178	133	2421
Staffelbach	820	338	1'327	155

3.2.4.4 Production de lait

Le tableau 3.2-6 indique la quantité de lait vendue par an de tous les producteurs laitiers dans les communes qui se trouvent intégralement ou en partie dans un rayon de 10 km autour du site (TSM 2007).

Le lait qui est transformé directement chez les agriculteurs (p. ex. pour l'engraissement des veaux), n'est pas pris en compte ici. Dû à la libéralisation du marché laitier, un grand changement dans la production laitière a été observé au cours des dernières années. La quantité totale de lait n'a pas changé, mais elle produite par moins d'agriculteurs aujourd'hui.

Tableau 3.2-6 Production laitière (lait livré en tonnes par an) dans un rayon de 10 km autour du site de la CNN (TSM 2007)

Commune	Production laitière
District de Gösgen (SO)	
Hauenstein-Ifenthal	305
Kienberg	1'210
Lostorf	669
Erlinsbach	1'100
Niedergösgen	277
Obergösgen	383
Stüsslingen	1'032
Rohr (SO)	232
Trimbach	466
Winznau	624
Wisen	715
District d'Olten (SO)	
Däniken	479
Dulliken	448
Eppenberg-Wöschnau	142
Gretzenbach	357
Hägendorf	1'167
Kappel	341
Olten	154
Rickenbach	220
Schönenwerd	0
Starrkirch-Wil	0
Walterswil	826
Wangen b. Olten	511

Rapport de sécurité pour la CNN

-3.2 Géographie et répartition de la population-

Commune	Production laitière
District Sissach (BL)	
Anwil	1'134
Häfelfingen	355
Kilchberg	142
Läufelfingen	1'253
Oltingen	937
Rünenberg	720
Wenslingen	981
Zeglingen	1'174
District d'Aarau (AG)	
Aarau	645
Biberstein	160
Buchs	63
Erlinsbach	1'010
Gränichen	1'052
Hirschthal	355
Küttigen	688
Muhen	1'418
Oberentfelden	368
Rohr	63
Suhr	295
Unterentfelden	0
Oberhof	956
District de Kulm (AG)	
Schöftland	375
District de Zofingen (AG)	
Aarburg	440
Bottenwil	665
Kölliken	813
Oftringen	2'449
Rothrist	859
Safenwil	484
Uerkheim	992
Zofingen (y compris Mühlethal et Strengelbach)	583
Staffelbach	1'123

3.2.5 Évaluation des données

3.2.5.1 Distribution de l'habitat et des infrastructures

La distribution de la population autour du site de la CNN a été déterminée sur la base des données disponibles les plus récentes. Par rapport à la situation de 2002, on note une tendance à l'augmentation de la population. Il n'y a toutefois pas de nouveaux centres d'agglomération, hôpitaux, foyers, écoles, etc. dans le voisinage immédiat de la CNN.

La distribution de la population autour du site - avec l'indication des établissements pouvant contenir beaucoup de personnes à la fois, comme les écoles, les hôpitaux, les établissements hospitaliers, les maisons de retraite et les entreprises (cf. les tableau 3.2-1 et tableau 3.2-2) - est importante pour l'appréciation de la situation de départ dans le rapport d'impact sur l'environnement (CNN 2008c) et dans le rapport relatif à la concordance avec l'aménagement du territoire (CNN 2008b). Avec le raccordement aux voies de communication (chapitre 3.3) et les conditions de propagation dans l'atmosphère (chapitre 3.4), elle est également importante pour l'appréciation de la faisabilité de la planification d'urgence. Celle-ci est traitée au chapitre 3.2.7. Pour un type de réacteur de 3^{ème} génération prévu pour la CNN, les rejets radioactifs sont très limités, même en cas d'accident grave, de telle sorte que les effets se limiteraient à la zone rapprochée. Dans les centrales nucléaires existant actuellement en Suisse, les systèmes internes de prévention contre les incidents pouvant avoir des effets sur le voisinage sont déjà de très haut niveau. Néanmoins, une barrière de protection supplémentaire a été prévue dans la planification des mesures d'urgence dans le voisinage des installations. On pourra également y avoir recours pour d'autres incidents (catastrophes naturelles, accidents chimiques, chute de satellite etc.).

3.2.5.2 Occupation des sols

Pour les centrales nucléaires suisses existantes, il est très peu probable que les défaillances dans l'installation n'exigent des mesures de limitation de la consommation des denrées alimentaires. Pour les installations de la 3^{ème} génération, ceci peut être quasiment exclu.

Après un incident avec une émission de substances radioactives, les denrées alimentaires produites aux alentours de l'installation seraient contrôlées, pour savoir si elles restent utilisables pour la consommation ou si elles doivent éventuellement être retirées de la consommation.

3.2.6 Perspective

3.2.6.1 Distribution de l'habitat et des infrastructures

Évolution démographique selon l'Office fédéral de la statistique (OFS)

L'évolution démographique pronostiquée par l'OFS pour la période 2005 à 2050 (OFS 2007) pour les cantons de Soleure, d'Argovie et de Bâle-Campagne concernés dans un rayon de 10 km se fonde sur les scénarios présentés dans le tableau 3.2-7. Selon le scénario moyen, l'augmentation de la population au cours de la période 2010 à 2050 sera d'environ 2% pour le canton de Soleure et d'environ 6% pour le canton d'Argovie. Dans le canton de Bâle-Campagne, suivant le scénario moyen, la population restera constante pendant cette période.

Tableau 3.2-7 Population permanente selon les trois scénarios de base (en milliers)

Canton de Soleure									
Scénario	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Moyen	252.4	255.9	259.1	261.6	263.1	263.3	262.3	260.2	257.5
Haut	254.3	260.3	267.1	273.9	280.0	285.3	290.0	293.8	296.9
Bas	251.1	252.6	251.7	249.5	246.2	241.5	235.2	227.7	219.6
Canton d'Argovie									
Scénario	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Moyen	589.6	606.7	619.4	629.0	635.3	637.7	636.7	633.0	627.1
Haut	596.6	623.5	648.2	670.7	690.4	707.0	720.8	732.2	741.5
Bas	582.0	588.5	588.9	585.5	578.4	567.3	552.6	535.3	516.5
Canton de Bâle-Campagne									
Scénario	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Moyen	268.9	271.7	273.9	275.2	275.7	275.0	273.7	271.6	269.0
Haut	272.8	280.7	289.0	296.5	303.1	308.7	313.8	318.5	322.6
Bas	264.5	261.6	257.8	253.2	247.6	241.1	233.6	225.4	217.0

Évolution démographique pour les communes dans le canton de Soleure

Un pronostic de l'évolution de la population jusqu'en 2030 (canton SO 2005) élaboré en 2005 par le canton de Soleure (en collaboration avec les cantons de Bâle-Campagne et de Bâle-Ville) indique pour les communes se trouvant dans un rayon de 10 km autour du site de la CNN (districts de Gösgen, d'Olten) une augmentation moyenne d'au plus 5 % par rapport à la situation en 2008. Ces pronostics varient toutefois très fortement d'une commune à une autre (cf. le tableau 3.2-8). Alors que les communes Hägendorf, Olten et Starrkirch-Wil présentent une augmentation de 10 % et plus, un recul de population de plus de 10 % est pronostiqué par les communes Hauenstein-Ilfenthal, Kienberg, Rohr, Winznau et Wisen.

Tableau 3.2-8 *Évolution démographique (pronostic) des communes de Soleure dans un rayon de 10 km autour du site de la CNN*

Commune	Catégorie	Population résidente		
		État 2008	Pronostic 2030*	Variation en %
Däniken	2	2'892	3'082	6.6
Dulliken	2	4'779	4'718	-1.3
Eppenberg-Wöschnau	4	326	327	0.5
Gretzenbach	2	2'450	2'424	-1.0
Hägendorf	2	4'432	4'866	9.8
Hauenstein-Ilfenthal	6	267	220	-17.8
Kappel	2	2'814	2'991	6.3
Kienberg	6	510	421	-17.4
Lostorf	4	3'778	4'038	6.9
Niedererlinsbach	2	2'216	2253	1.7
Niedergösgen	2	3'756	3'887	3.5
Obererlinsbach	4	687	637	-7.4
Obergösgen	4	2'124	2'153	1.4
Olten	1	17'032	19'547	14.8
Rickenbach	2	896	881	-1.7
Rohr	6	88	72	-18.1
Schönenwerd	2	4'793	5'141	7.3
Starrkirch-Wil	2	1'521	1'709	12.4
Stüsslingen	4	1'022	1'012	-1.0
Trimbach	2	6'294	6'278	-0.3
Walterswil	6	705	715	1.4
Wangen b/O	2	4'598	4'478	-2.6
Winznau	4	1'599	1'324	-17.2
Wisen	6	384	291	-24.3

* Légende

- 1: Commune centre
- 2: Commune de développement suburbaine
- 3: Commune de développement périurbaine

- 4: Commune d'habitation
- 5: Commune de soutien
- 6: Commune rurale

Évolution démographique pour les districts du canton d'Argovie

Selon les données de l'Office de la statistique du canton d'Argovie, l'évolution démographique 2005-2030 suivante est pronostiquée pour les districts du canton d'Argovie concernés dans un rayon de 10 km autour du site de la CNN (canton AG 2003).

- District d'Aarau + 18.3 %
- District de Kulm + 0.5 %
- District de Zofingen + 8.5 %

Des indications supplémentaires sur l'évolution démographique sont contenues dans le rapport relatif à la concordance avec l'aménagement du territoire (KKN 2008b).

L'évolution démographique et de la densité de population ne compromettent pas la qualification du site de la CNN.

3.2.6.2 Occupation des sols

Les statistiques relatives à l'aire pendant la période 2004/2009 et le prochain recensement des arbres fruitiers en 2011 montreront si les tendances présentées au chapitre 3.2.4 se poursuivront. L'évolution de l'occupation des sols n'a pas d'influence sur la qualification du site de la CNN.

3.2.7 Faisabilité des mesures de protection d'urgence aux alentours de la CNN

L'appréciation de la faisabilité des mesures de protection d'urgence dans le voisinage de la CNN est présentée dans le rapport technique (AF-Colenco 2009a). Les résultats de cette appréciation sont résumés ci-après.

3.2.7.1 Protection d'urgence dans la demande d'autorisation générale

On peut déduire de la Loi sur l'énergie nucléaire (LENu 2003) que des aspects de la protection en cas d'urgence ne doivent être abordés dans la demande d'autorisation générale que pour autant qu'ils concernent les caractéristiques du site qui pourraient être importantes pour la protection en cas d'urgence à l'extérieur de l'installation.

3.2.7.2 Bases de la protection en cas d'urgence

La loi fédérale sur la protection de la population et sur la protection civile (LPPC 2002), l'ordonnance sur l'organisation d'intervention en cas d'augmentation de la radioactivité (OROIR 2007) et l'ordonnance sur la protection en cas d'urgence au voisinage des installations nucléaires (ordonnance sur la protection d'urgence 1983) assignent aux cantons les tâches principales de planification et d'exécution des mesures d'urgence. La tâche principale des exploitants est la gestion interne des cas d'urgence et l'information de tous les participants externes.

L'annexe de l'OROIR (2007) indique le concept des mesures à prendre en fonction des doses (CMD) comme base pour la prise de mesures de protection. Y sont citées comme mesures de protection: le séjour dans la maison, respectivement dans des caves/abris (évacuation verticale), la prise de comprimés d'iode et une évacuation (horizontale), "si le séjour protégé est insuffisant, ne peut être prolongé ou n'est plus acceptable"(c.-à-d. une évacuation ultérieure prévue). Dans un document de la commission ComABC (2006), l'option d'une évacuation horizontale préventive a récemment été considérée. Bien que des réserves de poids aient été émises dans la littérature spécialisée à l'encontre de cette variante "préventive", les deux types d'évacuation sont pris en considération ici. A cet égard, les indications suivantes sont importantes:

- En Suisse, le séjour dans la maison ou dans la cave/l'abri est la mesure de protection immédiate la plus importante (évacuation verticale), parce que les maisons sont généralement construites en dur et munies d'une cave et aussi à cause du grand nombre d'abris privés et publics. C'est pour cette raison que l'évaluation verticale est possible partout en Suisse.
- Aux USA, la planification d'urgence se base sur l'évacuation horizontale rapide en raison du mode de construction légère des maisons et de l'absence de caves et de salles de protection.
- En Suisse, la planification d'urgence se base sur des scénarios représentatifs dits scénarios de référence (HSK 2006). Au fil du temps, ceux-ci ont été adaptés aux connaissances sur les déroulements des accidents et à l'état de la technique dans les centrales nucléaires. Le scénario déterminant se rapporte à une fusion partielle du cœur avec un fonctionnement seulement limité du confinement. Pour les réacteurs de la 3^{ème} génération, un accent particulier est mis sur la prévention de telles défaillances graves et sur les mesures de protection au sein de l'installation.

3.2.7.3 Conditions spécifiques à l'installation pour la planification d'urgence pour la CNN

Conformément à la législation actuelle, le réacteur présentera une fréquence de dommages au cœur inférieure à 10^{-5} par année et ne dépassera pas la valeur limite de 100 mSv dans le voisinage pour les défaillances de catégorie 3 (fréquence d'occurrence de 10^{-4} à 10^{-6} par année) (DETEC 2009). Conformément au chapitre 2.3.2.2, les valeurs resteront même bien en-dessous de cette valeur limite. A cette fin, des barrières pour les conséquences d'accidents graves sont exigées dans l'appel d'offres, p. ex. à l'instar des spécifications de l'entreprise finlandaise TVO pour la centrale nucléaire Olkiluoto 3 (limitation des émissions de Cs-137) ou sur la base des standards des exploitants européens (pas de mesures immédiates ou à long terme à l'extérieur d'une distance de 800 m du réacteur).

Les centrales nucléaires de la 3^{ème} génération peuvent satisfaire à ces exigences grâce à la mise en œuvre résolue du retour d'expérience d'exploitation sur plusieurs décennies ainsi que grâce aux résultats de recherche en matière de sécurité et de l'évolution de la sécurité. Il est ainsi possible de réduire de manière déterminante non seulement les probabilités de défaillances, mais également les conséquences de ces dernières. Ainsi, les incidents ayant un potentiel d'endommagement de l'enceinte de confinement sont évités, l'enceinte de confinement cependant renforcée lors de la conception. La probabilité d'une fusion du cœur est réduite à sa valeur minimum, mais des mesures sont également prises pour le refroidissement en cas de fusion et du maintien du fonctionnement de l'enceinte de confinement.

Il résulte de ces considérations que les rejets à prendre en compte pour la planification d'urgence de la CNN seront plus faibles que les valeurs actuellement définies par le biais de scénarios de référence pour les installations existantes - même en tenant compte de la puissance thermique quasi double (en fonction de la classe de puissance qu'il reste encore à choisir).

Pour l'évaluation de la faisabilité des mesures de protection d'urgence dans le voisinage de la CNN dans le cadre de la demande d'autorisation générale, la zone 1 de la centrale CNG (figure 3.2-5) peut être considérée comme référence pour la CNN. On considérera donc, dans ce qui suit, que la zone 1 de la centrale CNG s'applique à la CNN (communes de Däniken, de Dulliken, d'Erlinsbach, de Gretzenbach, de Lostorf, de Niedergösgen, d'Obergösgen, de Rohr, de Schönenwerd, de Stüsslingen et de Winznau, toutes situées dans le canton de Soleure) pour les considérations suivantes.

3.2.7.4 Faisabilité des mesures d'évacuation sur le site de la CNN

Comme décrit précédemment, l'évacuation verticale sur le site de la CNN est faisable. En raison des bons raccordements aux voies de communication (figure 3.2-5) et en relation avec les directions principales du vent OSO/ENE (chapitre 3.4), le site est également approprié pour une éventuelle évacuation horizontale:

- À proximité du site, toutes les localités sont reliées au réseau des voies de communication par plus d'un côté. Ceci signifie qu'il n'y a pas de localité qui ne soit reliée au réseau des voies de communication que par une route en cul-de-sac.
- Les routes cantonales Olten - Aarau et Olten - Schönenwerd bordent le site au sud et au nord respectivement, traversent en partie la zone 1 et permettent de quitter rapidement cette zone. Les connexions transversales dans la zone 1 favorisent cette sortie rapide de la zone.
- Des voies transversales performantes se trouvent à l'extérieur de la zone 1 (Olten - Rothrist, Aarau - Oberentfelden).
- L'autoroute A1 (Berne - Zurich) se trouve à environ 5 km au sud du site, à l'extérieur de la zone 1.

Aussi bien le tracé de l'autoroute que des routes cantonales correspond à peu près aux directions principales du vent OSO/ENE. Avec les voies transversales, ceci facilite l'accès/le départ du site et d'une partie de la zone 1 éventuellement touchée par une défaillance (trajet en sens opposé ou transversal).

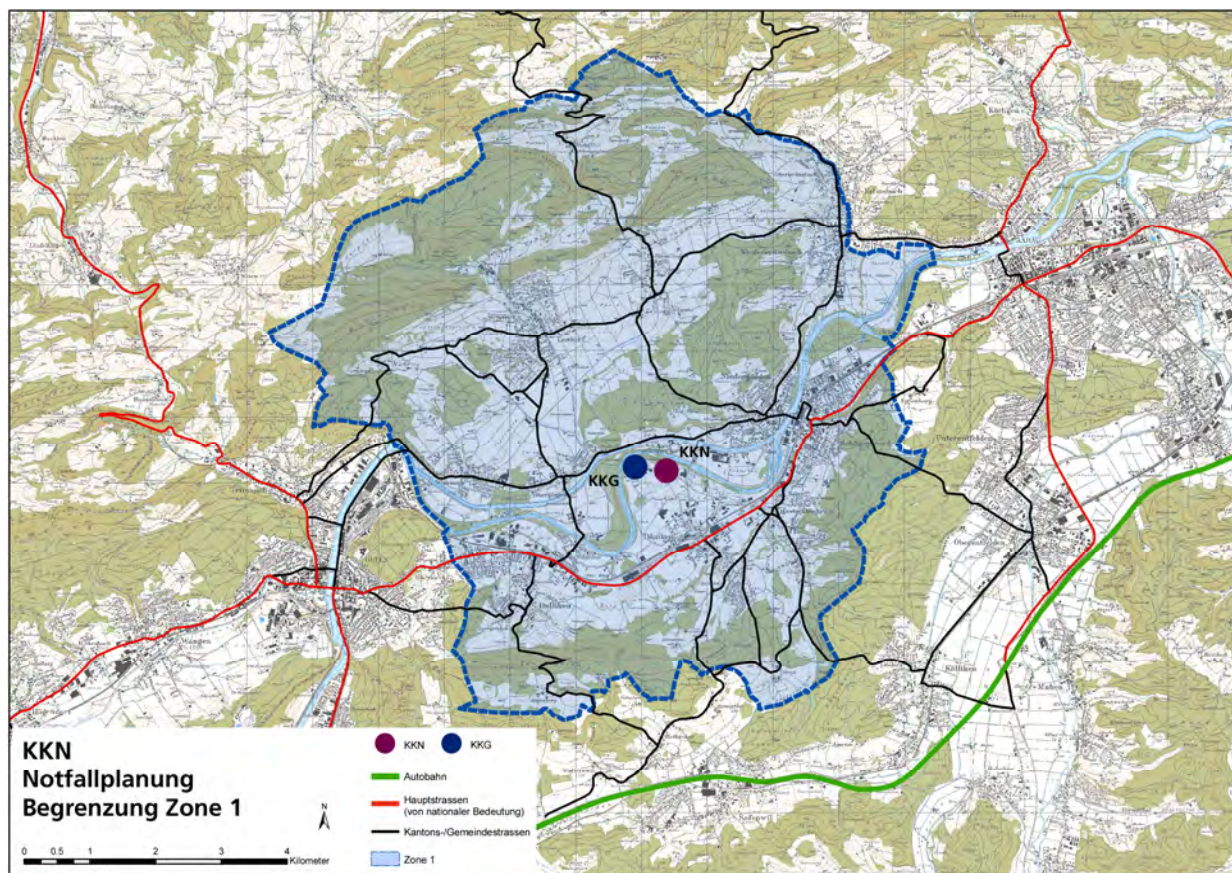


Figure 3.2-5 Raccordements aux voies de communication dans la zone 1 et le voisinage immédiat de la CNN

3.2.7.5 Évaluation

En résumé, le site de la CNN peut aussi être considéré comme approprié en ce qui concerne la faisabilité des mesures de protection d'urgence.

La faisabilité se base essentiellement sur les données suivantes:

- La zone 1 de la centrale CNG englobe la zone 1 de la CNN avec une marge suffisante.
- La planification d'urgence de la centrale CNG remplit toutes les exigences actuellement en vigueur en Suisse.
- En comparaison au site de la centrale CNG, il n'y a pas de différence essentielle en ce qui concerne les caractéristiques du site de la CNN (population, infrastructures).
- Les raccordements aux voies de communication sont favorables

Dans le cadre de la conception de la CNN comme installation de 3^{ème} génération, un accent particulier est mis sur la prévention des défaillances graves et les mesures correspondantes de protection à l'intérieur de l'installation. Ceci devrait permettre de simplifier les mesures d'urgence.

3.3 Voies de communication, entreprises, réseaux de canalisation, forêts

3.3.1 Description des voies de communication, des entreprises, des réseaux de canalisation et des forêts

3.3.1.1 Introduction

Le présent chapitre décrit les voies de communication (y compris le transport aérien), les réseaux de canalisation et les forêts dans le voisinage du site de la CNN. Ces descriptions servent de base pour la discussion, au chapitre 3.3.2, des impacts sur la CNN en cas d'incident dans le voisinage.

Étant donné que l'Ordonnance sur les accidents majeurs selon l'art. 9 OPAM 1991 ne prévoit pas d'information pro-active et préventive du public par l'autorité d'exécution et qu'il y a dans tous les cas obligation de secret (en particulier en ce qui concerne la protection des secrets de fabrication et de production), la société requérante n'est pas autorisée à fournir d'emblée, des descriptifs d'entreprises et des quantités de produits qu'elles manipulent, pour autant d'ailleurs que ces informations lui soient accessibles. C'est la raison pour laquelle les descriptions des entreprises et quantités de produits données au chapitre 3.3.2.5 sont présentées de manière anonyme. Pour garantir une évaluation étayée du site en ce qui concerne l'impact des entreprises situées dans le voisinage de la CNN, la requérante a remis aux autorités un rapport technique confidentiel (AF-Colenco 2009b).

Les informations sur des installations militaires éventuellement existantes dans le voisinage du site de la CNN ne sont pas accessibles à la requérante en raison du secret militaire. Ceci est valable également pour les éventuels transports de munitions par voie routière et ferroviaire.

La prise en compte d'éventuelles installations militaires et de transports de munitions ne peut donc être effectuée que par les autorités.

3.3.1.2 Installations ferroviaires

Environ 1'000 m au sud de l'aire principale de la CNN, la ligne ferroviaire Olten Est - Aarau, est orientée vers le nord-est. Elle est aussi utilisée pour des transports de substances dangereuses. Sont considérés comme des transports de marchandises dangereuses, les transports effectués conformément aux dispositions suisses et aux accords internationaux suisses (ADR/RID 2009).

La gare de Däniken (connue également sous le nom de gare de triage de Niederamt) évaluée par les CFF pour un fonctionnement en gare de triage. Elle n'a cependant jamais été construite. Selon les informations des CFF, le projet a été abandonné dans la deuxième moitié des années 90. Après 30 ans de "non utilisation", les surfaces expropriées ont dû être remises aux propriétaires sur demande de ceux-ci. Cette gare de triage suprarégionale ne sera donc pas construite à l'avenir non plus.

Au sud-ouest de la gare de Däniken, à environ 1'100 m au sud de l'aire principale de la CNN, se trouve la gare régionale de triage Däniken/Olten, qui est en service depuis environ 25 ans. Elle est encore utilisée actuellement.

L'aire de projet de la CNN ainsi que la centrale nucléaire existante de Gösgen et d'autres installations industrielles sont reliées à la ligne ferroviaire Olten Est - Aarau par une voie directe industrielle à partir de la gare de Däniken (figure 3.3-1).

3.3.1.3 Routes de transit

Les routes principales dans le voisinage du site sont la route cantonale Olten - Aarau (route principale n°5, Ordonnance concernant les routes de grand transit 1991), environ 1'150 à 1'250 m au sud de l'aire principale de la CNN, et la route cantonale Olten - Schönenwerd (route principale n°265, ordonnance concernant les routes de grand transit 1991), environ 400 m au nord de l'aire principale (figure 3.3-1). Les deux routes cantonales sont aussi utilisées pour des transports de marchandises dangereuses.

L'accès (Kraftwerkstrasse) au terrain de la centrale nucléaire de Gösgen s'embrancher sur la route de Güter, qui viabilise la zone de l'Aar. La route de Güter est reliée à la route cantonale Olten - Aarau par la Hogenweidstrasse à 1 km à l'ouest de Däniken ainsi qu'à l'Est sur le territoire de la commune de Gretzenbach. Une autre possibilité d'accès à la route de Güter à partir de la route cantonale existe tout près de la gare CFF de Däniken. À partir de la route cantonale Olten - Schönenwerd, entre Obergösgen et Niedergösgen, une route d'accès mène également à la route de Güter.

La viabilisation de l'aire de projet de la CNN s'effectuera probablement par la route de Güter également. Le tracé interne de la route sur l'aire de projet sera fixé dans le cadre de la planification concrète de la construction.

L'aire principale et l'aire partielle Nord sont aujourd'hui reliés par un pont situé au nord du terrain de l'entreprise Cartaseta-Friedrich + Co. Cette liaison peut être utilisée à voie unique par les véhicules routiers ou ferroviaires, et n'est pas actuellement praticable pour les véhicules utilitaires lourds. Il est prévu de transformer ce pont pour les transports routiers et ferroviaires ou de le remplacer par un nouveau pont au même endroit.

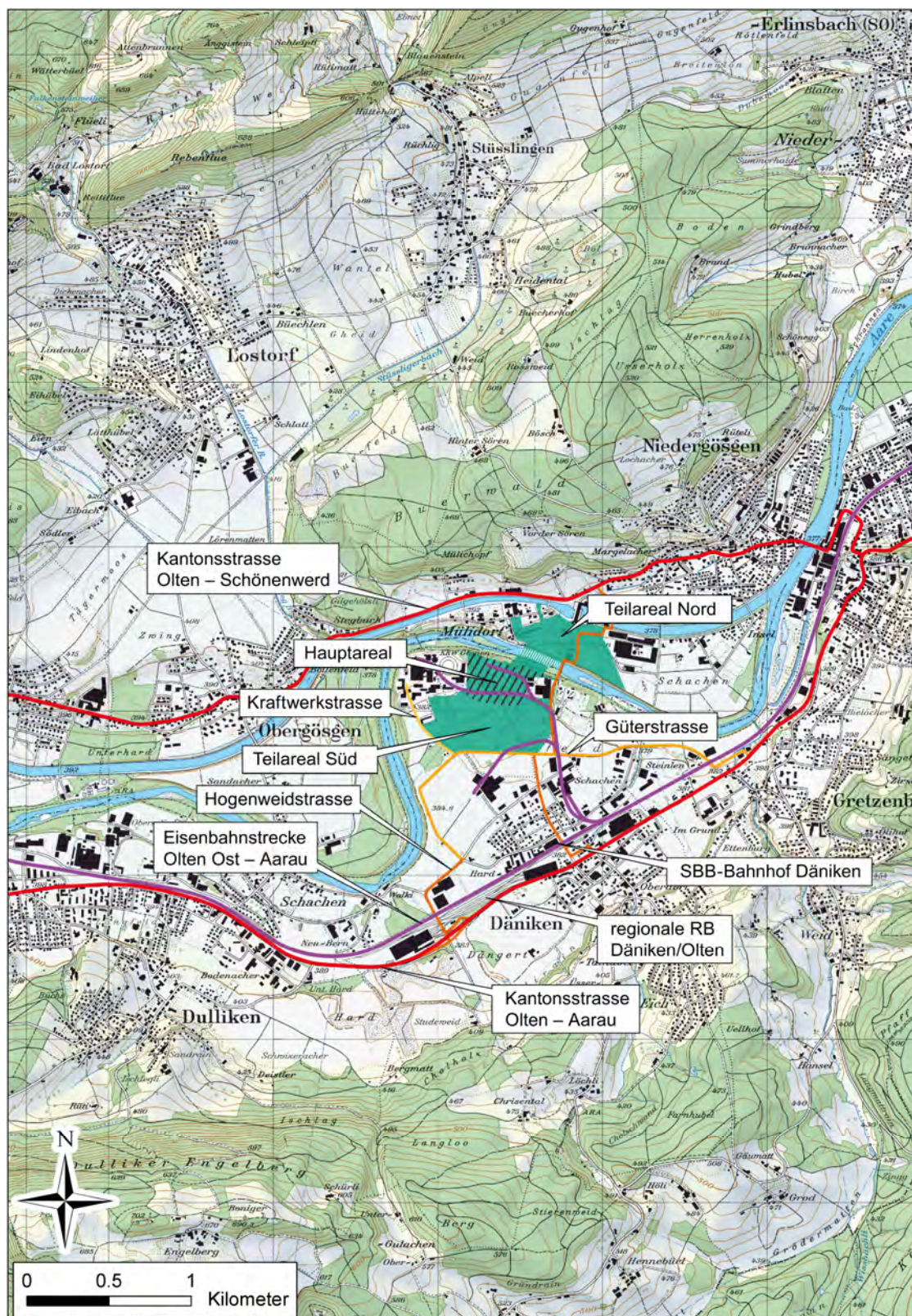


Figure 3.3-1 Carte de la région autour du site de la CNN avec les voies de communication principales

3.3.1.4 Trafic aérien

Avions de ligne

Les avions de ligne sont définis ici comme des avions avec un poids au décollage de plus de 5.7 t. En prenant en considération un rayon de 50 km, l'aire de projet de la CNN se trouve dans la zone d'influence du trafic de décollage des aéroports de Zurich et de Bâle, dont la majeure partie est constituée d'avions de ligne. En 2008, 255'681 mouvements aériens ont été effectués à Zurich et 81'124¹ à Bâle. L'aéroport de Zurich se trouve à environ 45 km de l'aire de projet de la CNN. Par conséquent, l'aire de projet se trouve à la limite de la zone de contrôle terminale (TMA²) de l'aéroport de Zurich. L'aéroport Bâle-Mulhouse se trouve à une distance de 42 km. En raison du changement de la gestion du trafic aérien en 1999, les mouvements aériens à Bâle sont effectués essentiellement au nord de l'aéroport au-dessus du territoire français. La majorité des avions en direction et en provenance de l'aéroport de Bâle-Mulhouse ne survolent donc pas la zone concernée autour de l'aire de projet de la CNN.

L'espace aérien qui doit être utilisé par les avions de ligne est structuré et pris en charge par Skyguide, le service de la sécurité aérienne. Les vols sont effectués sur des itinéraires définis, surveillés en permanence et activement influencés. C'est à cette fin que les avions de ligne sont dotés de dispositifs de vol aux instruments.

Les espaces aériens identifiés ainsi que les zones de d'exclusion et de danger sont marqués sur la carte ICAO de la Suisse, qui est annuellement actualisée par Skyguide sur la base des conventions internationales aériennes. Skyguide - le service de sécurité de la navigation aérienne en Suisse - a pour instruction de garantir que les avions de ligne respectent une altitude de vol minimale de 1'000 m dans un rayon de 1.5 km autour des centrales nucléaires.

Avions légers

Le trafic des avions légers est observé essentiellement dans la partie inférieure de l'espace aérien. Celui-ci se compose dans la région du Mittelland des espaces aériens C, E et G. L'espace aérien G s'étend du sol à 600 m d'altitude - et n'est pas contrôlé. Ici, le vol s'effectue selon les règles du vol à vue, une distance minimale de 300 au-dessus des zones peuplées et de 150 m au-dessus des zones non peuplées devant être observée. L'espace aérien E va de la limite de l'espace aérien G à 3'050 m dans la région du Mittelland. Il est contrôlé, mais peut être survolé librement. L'espace aérien C est l'espace au-dessus de l'espace aérien E et ne peut être survolé qu'après autorisation.

¹ De ces mouvements aériens, il y en a 29'111 au-dessus du territoire suisse. Tous les autres mouvements se situent sur territoire français.

² TMA, Terminal Manœuvring Area : espace aérien défini autour d'un aéroport, dans lequel essentiellement les arrivées et les départs d'avions sont guidés sur des routes définies.

Le trafic aérien des avions légers autour de l'aire de projet de la CNN se limite à des survols, une altitude minimale de vol de 300 mètres devant être observée. L'aire de projet de la CNN se trouve à une bonne distance des aérodromes régionaux et des terrains d'aviation présentant un trafic notable. Dans un rayon de 50 km, on trouve les deux aérodromes régionaux Birrfeld, à environ 21 km à l'Est, et Grenchen, à environ 47 km à l'Ouest du site de la CNN.

Les aéroports de Grenchen et de Luzern-Beromünster permettent une approche conformément à la procédure de vol aux instruments, et possèdent donc un espace aérien contrôlé qui leur est assigné. Tous les autres aérodromes, terrains d'aviation et héliports sont approchés suivant les conditions de vol à vue.

Une liste de tous les aérodromes et terrains d'aviation dans un rayon de 50 km, hormis Zurich et Bâle, avec des indications concernant la catégorie et les mouvements aériens en 2008, est présentée dans le tableau 3.3-1. La majeure partie du trafic sur les aéroports de Zurich et de Bâle est due à des avions de ligne.

Tableau 3.3-1 Mouvements sur des aérodromes dans un rayon de 50 km autour du site de la CNN (OFAC 2009) hormis Zurich et Bâle

Aérodrome	Distance de la CNN [km]	Catégorie	Mouvements aériens en 2008
Aérodromes avec des règles de navigation aux instruments			
Luzern Beromünster	25	Terrain d'aviation	10'479
Grenchen	47	Aéroport régional	74'959
Aérodromes sans règles de navigation aux instruments (pilotage à vue)			
Olten	7	Champ d'aviation pour vol à voile	2'351
Holziken	7	Héliport	224
Pfaffnau	14	Héliport	756
Fricktal-Schupfart	15	Terrain d'aviation	9'118
Triengen	17	Terrain d'aviation	25'548
Birrfeld	21	Aéroport régional	81'346
Langenthal	22	Terrain d'aviation	16'616
Buttwil	28	Terrain d'aviation	15'998
Würenlingen	29	Héliport	31
Dittingen	40	Terrain d'aviation	6'303
Hausen a. A	43	Terrain d'aviation	12'569
Haltikon	46	Héliport	685
Total			256'983

Aucun risque accru ne résulte de ces aérodromes pour le site de la CNN. Les avions légers qui décollent et atterrissent sur les aérodromes sont en phase de vol lorsqu'ils se trouvent à proximité du site de la CNN, et pas en phase critique de décollage ou d'atterrissage. Le prochain aérodrome distant de 7 km est le champ d'aviation pour vol à voile d'Olten. Dans un rayon de 10 km, on ne trouve que l'héliport de Holziken. Le prochain aérodrome avec un trafic d'avions légers est l'aérodrome de Fricktal-Schupfart à une distance de 15 km. Ici, seuls les avions avec une masse maximale au décollage de 3 t sont autorisés.

Avions militaires

Pour les avions militaires, il y a interdiction de survol et d'exercice près des sites de centrales nucléaires. Dans le voisinage de l'aire de projet de la CNN, on ne trouve ni un terrain d'aviation militaire ni un champ de tir pour avions de combats. Les deux aérodromes militaires les plus proches sont ceux d'Emmen et de Dübendorf, tous deux à plus de 50 km du site.

3.3.1.5 Entreprises

Suivant les plans d'affectation des communes concernées, l'aire de projet de la CNN (figure 3.3-1) se trouve essentiellement dans la zone industrielle A (Däniken), dans la zone d'activité 1 (Gretzenbach) ainsi que dans la zone spéciale de l'usine électrique et dans la zone commerciale (Niedergösgen).

Pour l'évaluation du site en ce qui concerne l'impact des entreprises basées dans le voisinage de l'installation, les entreprises situées dans un rayon de 8 km autour du site de la CNN qui sont soumises à l'ordonnance sur les accidents majeurs (OPAM 1991) sont prises en considération. Les sites de ces entreprises se trouvent dans les cantons de Soleure et d'Argovie (figure 3.3-2). Le choix d'un rayon de 8 km correspond aux exigences du Regulatory Guide 4.7 de l'organisme américain US Nuclear Regulatory Commission (USNRC 1998). Il est dans tous les cas suffisant, en raison de la topographie accidentée du site de la CNN, contrairement aux sites d'un grand nombre de centrales nucléaires aux États-Unis. Les analyses de défaillances effectuées montrent aussi que seules les entreprises situées dans un rayon de 3 km sont importantes, bien que les effets de protection dus à la topographie n'aient pas été pris en considération (AF-Colenco 2009b).

Selon les renseignements des autorités compétentes pour la mise en application de l'ordonnance sur les accidents majeurs dans les cantons d'Argovie et de Soleure, au total 46 entreprises (plus une qui se trouve légèrement en dehors) sont soumises à l'ordonnance sur les accidents majeurs dans un rayon de 8 km autour du site de la CNN.

Comme expliqué au chapitre 3.3.1.1, les indications relatives aux entreprises et aux quantités des matières ne sont pas admises ici pour des raisons de secret industriel.

Au chapitre 3.3.2.5, qui traite des conséquences des défaillances dans les entreprises concernées, les indications relatives aux entreprises et aux quantités de produits sont anonymisées.

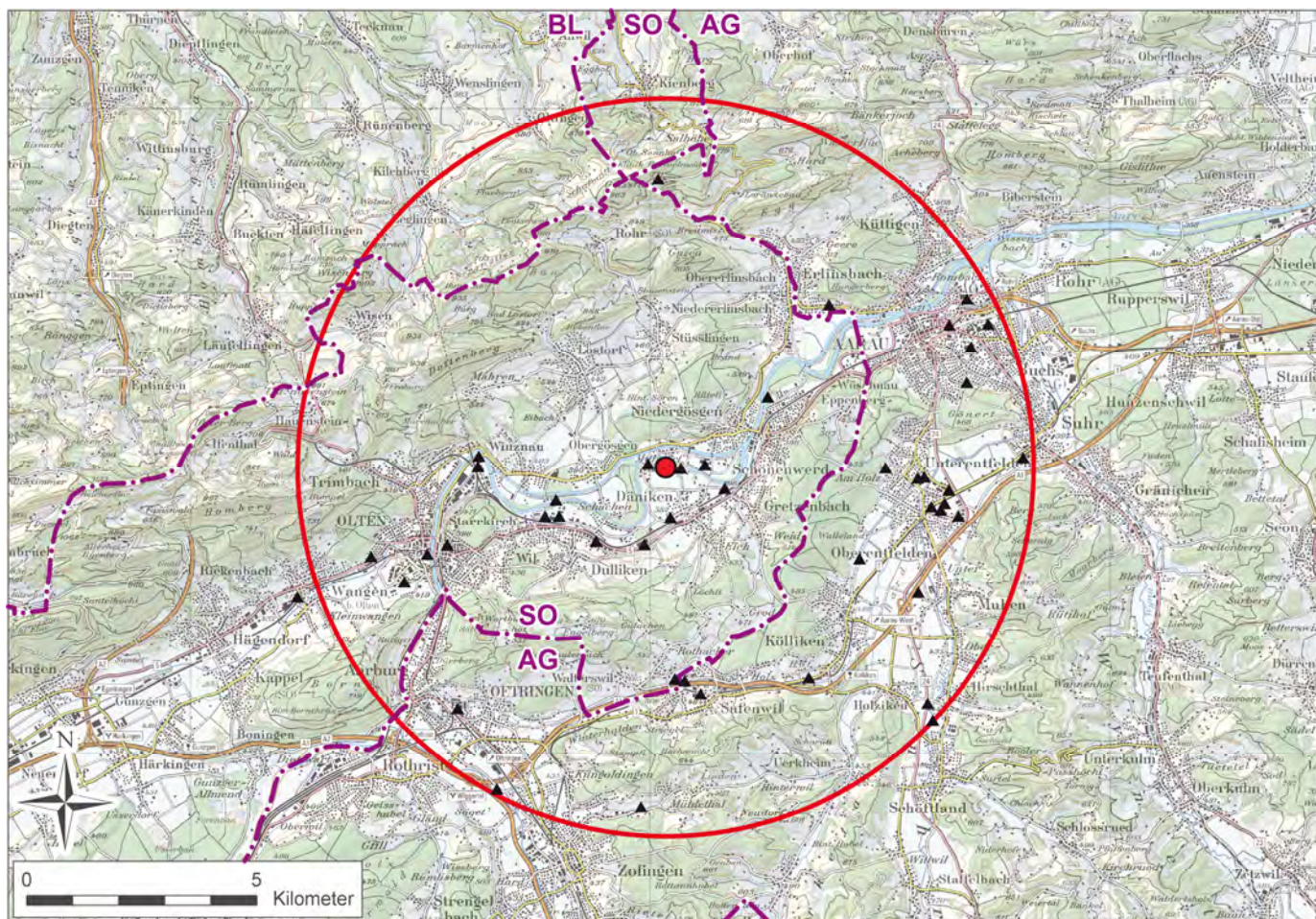


Figure 3.3-2 Sites des entreprises OPAM situées dans un rayon de 8 km de la CNN
(Différentes entreprises sont situées sur le même site)

3.3.1.6 Réseaux de canalisations

À l'Ouest de l'aire principale de la CNN, on trouve deux canalisations à haute pression de gaz naturel parallèles de la société Transit AG sise à Zurich, qui relient les champs de gaz de l'Europe du Nord avec l'Italie (figure 3.3-3). La distance minimale à l'aire principale est d'environ 570 mètres.

Des possibilités de sectionnement existent au poste de regroupement de Lostorf, qui réunit deux lignes en provenance de l'Allemagne et une ligne en provenance de la France, ainsi qu'au poste de Däniken. La distance entre les deux postes est d'environ 5.3 km.

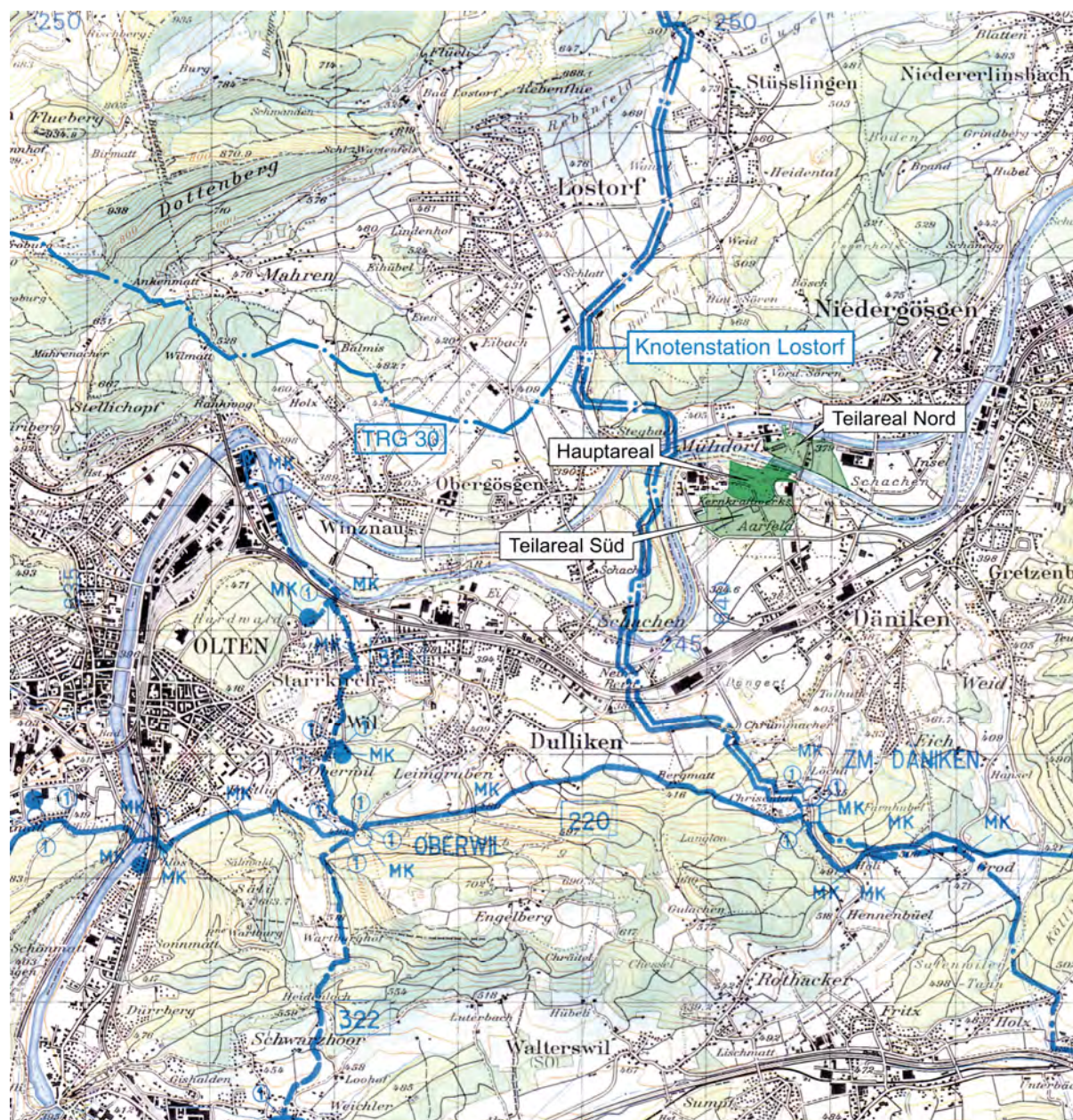
La paroi des canalisations à haute pression de gaz naturel les plus récentes (TRG 21) est renforcée dans une zone distante de jusqu'à 500 mm du bâtiment du réacteur de la centrale nucléaire de Gösgen. Aux endroits où la couverture en terre est inférieure à 2 m, c.-à-d. sur une longueur de 284 m, des plaques de répartition de la charge sont posées sur les deux canalisations à haute pression de gaz naturel.

Selon les données de Swissgas Zurich (Swissgas 2008), le gaz naturel de la conduite Hollande-Italie se compose à 90 % de méthane. Pendant les périodes de besoin maximal, ces deux canalisations peuvent débit un maximum de 2.8 millions de Nm³/h .

Les données relatives aux canalisations à haute pression de gaz naturel sont présentées dans le tableau 3.3-2.

Tableau 3.3-2 Données relatives aux canalisations à haute pression de gaz naturel à l'Ouest de l'aire du projet de la CNN

	TRG 11	TRG 21
Année de construction:	1973	1994
Diamètre nominal:	DN 900/36"	DN 900/36"
Pression de service:	Max. 67.5 bars	Max. 67.5 bars
Matière:	X60 (correspond à StE 415.7)	StE 480.7 TM
Épaisseur de la paroi:	12.7 mm	16.0/19.0 mm
Isolation:	Bitumes renforcé par des fibres de verre (5.5 mm)	Polyéthylène (3 mm)
Couverture de terre:	Variable, entre 1.5 et 2 m	Variable, en général 2 m
Plaques de répartition des charges:	284 m	284 m
Chargement de la canalisation:	-	284 m (en parties)



--- TRANSITGAS	190 Strecken- Nummer
— Rohrleitung > 25 bar	ZM Zollmessstation
- - - Rohrleitung < 25 bar	□ Verteilstation
	⊕ Kompressorenstation
	○ Druckreduzier- und Messstation
	● Abnahmestation
	① Schieber
	MK Messstelle Kath.-Schutz

Verlauf der Ferngasleitungen

Figure 3.3-3 Canalisations à haute pression de gaz naturel dans la région, source: Gasverbund Mittelland AG/Forêts

3.3.1.7 Forêts

Les massifs forestiers dans le voisinage immédiat du site se composent du peuplement de la rive droite de l'Ancienne Aar. Il s'agit de forêts alluviales mixtes à bois durs et tendres. Possédant une largeur d'environ 40 m à 100 m maximum (nord-ouest de l'aire principale), ce peuplement est relativement étroit.

Par sa position et son exposition sur les berges de l'Aar, avec une ressource en eau souterraine constante et une humidité de l'air accrue, le peuplement d'arbres des rives ne s'assèche jamais complètement, même durant des périodes extrêmement sèches. Pour le peuplement d'arbres principal, une alimentation minimale en eau par la nappe, ou au moins par l'eau capillaire montante, est toujours assurée. Un assèchement complet des arbres des berges est donc exclu.

Les massifs forestiers sont très proches d'un état naturel et se composent presque exclusivement de feuillus. Les conifères, et surtout les pins sylvestres, sont très rares. Les forêts possèdent certes une proportion relativement élevée de bois mort, cependant ce bois se décompose très rapidement. Il n'y a pas de litière feuillue inflammable. La couche de buisson existante ne constitue pas un risque accru d'incendie (Kaufmann + Bader 2009).

3.3.2 Impacts sur la CNN en cas de défaillance dans le voisinage

3.3.2.1 Introduction et critères d'évaluation

Le présent chapitre présente les résultats d'analyses étendues des conséquences sur la CNN des risques d'incendie de forêt ainsi que des incidents sur les voies de communication avoisinantes (y compris le trafic aérien) et dans les entreprises et réseaux de canalisation situées dans le voisinage du site de la CNN. Des études complètes sont présentées aux rapports techniques AF-Colenco 2009b, AF-Colenco 2009c et Kaufmann + Bader 2009.

La directive IFSN-A05 (IFSN 2009a) compte le rejet de produits chimiques sur le terrain de l'installation parmi les événements externes. De tels événements sont spécifiques à l'installation et seront traités dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire. La prévention des rejets de produits chimiques - importants du point de vue de la sécurité - sur l'aire de l'installation suite à des tremblements de terre est prise en considération dans le cadre de la classification sismique des bâtiments et des systèmes dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

Le potentiel de danger lors du transport ferroviaire et routier de matières dangereuses en provenance ou en direction de la CNN sera également étudié dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, lorsque l'installation, les matières dangereuses à livrer et leurs quantités ainsi que les points de livraison seront établis. Les matières dangereuses à livrer, leurs quantités et les points de livraison de la CNN et de la CNG peuvent en partie être communs aux deux centrales.

En cas de fuite de matières inflammables de wagons citernes, de camions citernes, de réservoirs de stockage (matière de référence propane) ou de canalisations à haute pression de gaz naturel, l'inflammation retardée d'un nuage de gaz qui se propagerait dans le voisinage ne peut pas être exclu. Les conséquences de tels événements sur la CNN seront analysées dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire au moyen d'une analyse de risques, lorsque les installations et la disposition des bâtiments auront été définies.

Critères d'évaluation pour les conséquences des explosions

Dans le cadre de l'appréciation des conséquences possibles des explosions, les valeurs indicatives de surpression mentionnées dans le tableau 3.3-3 (canton ZH 1992) sont prises en considération. Les surpressions déterminées dans le cadre de l'analyse des défaillances sont toutes inférieures à 0.1 bar. Par conséquent, les valeurs indicatives supérieures à cette valeur ont un caractère purement informatif. De la description des conséquences suivant les valeurs indicatives mentionnées, il résulte que - pour des surpressions inférieures à 0.1 bar sur l'aire principale - toute atteinte à la sécurité des installations de la CNN peut être exclue dans tous les cas et sans études supplémentaires détaillées.

Tableau 3.3-3 Valeurs indicatives pour l'évaluation de l'effet de la surpression sur les constructions et les installations

Valeurs indicatives pour l'évaluation de l'effet de la surpression sur les constructions et les installations	
Surpression [bar]	Conséquences
0.034 - 0.069	En général, bris des petites et grandes vitres de fenêtre ; occasionnellement endommagement des cadres de fenêtres
0.069 - 0.138	Fragmentation de plaques ondulées en Eternit, défaillance des fixations de tôle ondulée avec bosselage ; défaillance des fixations de panneaux en lambris de bois avec rupture
0.138 - 0.207	Rupture de mur en béton non-armé ou en béton de scorie
0.207 - 0.276	Destruction d'une construction sans cadre, autoportante et à base de panneaux en tôle d'acier ; rupture de grands réservoirs de stockage pour l'huile (hors réservoirs sous pression)
0.345 - 0.482	Destruction quasi-totale des maisons
0.482 - 0.55	Cisaillement ou flambement de mur, d'une épaisseur de 20 - 30 cm (non-armé)
0.689	Destruction de constructions industrielles. Dégâts importants sur les machines (3.5 t) à l'intérieur des constructions par les déplacements induits.

Intensité des sources et critères d'évaluation pour les conséquences des incendies

Pour le calcul de la densité de flux thermique en fonction de la distance, des données concernant l'intensité de la source sont nécessaires. Les valeurs indicatives indiquées au tableau 3.3-4 sont prises en considération 4 (GCPQRA 1999).

Tableau 3.3-4 Valeurs indicatives pour l'intensité des sources d'incendies

Valeurs indicatives pour l'intensité des sources d'incendies	
Désignation	Valeur [kW/m2]
Feux de nappes d'hydrocarbures à grande teneur en suie	20 - 60
Feux de nappes d'hydrocarbures à faible teneur en suie	110 - 170
Surface feu de nuages de gaz (Flashfire)	200
Feux de nappes de gaz liquéfié (LPG) / de gaz naturel liquéfié (LNG)	250
BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion)	350

Dans le cadre de l'appréciation des conséquences possibles des incendies, les valeurs indicatives mentionnées dans le tableau 3.3-5 (canton ZH 1992) sont prises en considération. Les densités de flux thermiques déterminées lors de l'analyse des défaillances sont toutes inférieures à 10 kW/m2. Par conséquent, les valeurs indicatives supérieures à cette valeur ont un caractère purement informatif. De la description de la nature et de l'étendue des dommages suivant les valeurs indicatives mentionnées, il résulte que - pour des densités de flux thermiques inférieures à 10 kW/m2 sur l'aire principale - toute atteinte à la sécurité des installations de la CNN peut être exclue dans tous les cas et sans études supplémentaires détaillées.

Tableau 3.3-5 Valeurs indicatives pour l'évaluation de l'effet du rayonnement de chaleur sur les constructions et les installations

Valeurs indicatives pour l'évaluation de l'effet du rayonnement de chaleur sur les constructions et les installations	
Nature et étendue des dommages	Densité de flux thermique [kW/m2]
Destruction des couches de peinture sur le bois après environ 30 minutes	2
Destruction de la surface des matières plastiques après environ 30 minutes	3
Inflammation avec un carton bitumé pour toiture au contact de la flamme	4.5
Pas d'inflammation du bois, du carton ondulé, du papier lors d'une exposition infiniment longue (sans contact avec la flamme)	10
Éclatement des vitres après 10 minutes	12.5
Déformation des profilés en acier après environ 30 minutes	30
Auto-inflammation du bois	36
Dommages sur les parties de l'installation en acier	37.5
Défaillance des profilés porteurs en acier (non protégés) au bout de 20 minutes Inflammation des isolations de toiture recouvertes de plaques en aluminium	100

Critères d'évaluation pour la toxicité des gaz et des vapeurs

Pour l'évaluation de la toxicité des gaz et des vapeurs dans l'air, les valeurs limites suivantes sont prises en considération:

Tableau 3.3-6 Valeurs limites pour l'appréciation des gaz et vapeurs

Valeurs limites pour l'évaluation de la toxicité des gaz et des vapeurs	
Définition	Définition
MAK Concentration maximale au lieu de travail (SUVA 2009)	La valeur MAK se rapporte à la concentration moyenne maximale admise d'une substance sous forme de gaz, de vapeurs ou de poussières dans l'air sur le lieu de travail qui, d'après l'état actuel des connaissances, n'affecte pas la santé de la plupart des travailleurs en bonne santé, lorsqu'ils y sont soumis 8 heures par jour et jusqu'à 42 heures par semaine pendant de longues périodes.
ERPG-1 (Emergency Response Planning Guidelines) (ERPG 2009)	La valeur de concentration maximale transportée par l'air, en-dessous de laquelle on peut considérer que pratiquement toutes les personnes peuvent y être exposées jusqu'à une heure durant sans pour autant que les conséquences négatives pour la santé n'aillent au-delà de légers malaises temporaires ou qu'elles ne perçoivent d'odeur désagréable clairement définie.
ERPG-2 (Emergency Response Planning Guidelines) (ERPG 2009)	La valeur de concentration maximale transportée par l'air, en-dessous de laquelle on peut considérer que pratiquement toutes les personnes peuvent y être exposées jusqu'à une heure durant sans pour autant qu'elles n'aient à souffrir ni d'effets négatifs irréversibles ou conséquences graves pour la santé ni de symptômes ou d'effets de nature à diminuer la capacité d'une personne à prendre des mesures de protection.

Ci-après sont présentées les valeurs MAK, ERPG-1 et ERPG-2 des substances chimiques prises en compte aux chapitres 3.3.2.2 à 3.3.2.5. On peut présumer de manière globale et sans étude détaillée que la sécurité des installations de la CNN n'est pas compromise, si les concentrations en substance chimique considérée sur l'aire principale de la CNN sont inférieures aux valeurs MAK, ERPG-1 et ERPG-2.

Tableau 3.3-7 Valeurs MAK, ERPG-1 et ERPG-2 pour les substances chimiques considérées

Valeurs MAK, ERPG-1 et ERPG-2 pour les substances chimiques considérées				
Désignation de la substance	Valeur MAK [ppm]	Valeur ERPG-1 [ppm]	Valeur ERPG-2 [ppm]	
Chlore	0.5	1	3	
Peroxyde d'hydrogène	0.5	10	50	
Ammoniac	20	25	150	
Gaz hydrochlorique	2	3	20	

Logiciel utilisé

Les calculs concernant les conséquences des explosions, des incendies et des rejets de gaz et vapeurs toxiques sont effectués avec SAFER TRACE (2006). Ce logiciel reconnu au niveau international correspond à l'état actuel de la technique.

Paramètres d'entrée pour les calculs de propagation

Les calculs de propagation sont effectués pour deux vitesses du vent différentes ; les paramètres suivants sont utilisés:

Tableau 3.3-8 Paramètres d'entrée pour les calculs de propagation

Paramètres d'entrée pour les calculs de propagation		
Paramètres	Calme	Légère brise
Vitesse du vent	0.5 m/s	3.3 m/s
Hauteur de référence	10 m	10 m
Température ambiante	20 °C	20 °C
Stabilité	3(C)	4 (D)
Rayonnement solaire	150 W/m ²	150 W/m ²
Humidité	50 %	50 %
Rugosité de la surface	0.1 m	0.1 m

Les hypothèses retenues correspondent aux approches habituelles de détermination des risques conformément à l'ordonnance sur les accidents majeurs (OPAM 1991). Les impacts déterminés à partir de scénarios d'accidents majeurs se rapportent, de manière générale, au centre de l'aire principale de la CNN, à l'air libre et à une hauteur de 2 m au-dessus du sol. Les résultats, conclusions et évaluations seront vérifiés dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire sur la base de la disposition exacte des bâtiments.

3.3.2.2 Accidents de transport sur les installations ferroviaires

Dans le cadre de l'analyse quantitative des risques des transports par la voie ferroviaire de matières dangereuses effectuée par l'Office fédéral des transports (OFT 2004, Ernst Basler + Partner 2007), des matières dites de référence sont définies qui sont représentatives des nombreuses matières dangereuses transportées par voie ferroviaire.

Ces matières de référence sont les suivantes:

- Essence (liquide, facilement inflammable ; UN 1203, ESSENCE, 3, II)
- propane (gazeux, facilement inflammable ; UN 1978, PROPANE, 2) et
- Chlore (gazeux, toxicité pour la population; UN 1017, CHLORE, 2)

Dans l'analyse de risque mentionnée, des quantités de transport maximales par wagons citernes de 60 t pour l'essence, de 45 t pour le propane et de 55 t pour le chlore ont été prises en hypothèse. En cas d'un accident de transport avec l'implication de plus d'un wagon citerne, un multiple de ces quantités peut être émis dans l'environnement dans le cas extrême.

Ci-après sont présentés les accidents sur la ligne ferroviaire et leurs conséquences au centre de l'aire principale de la CNN, à une distance de 1'000 m.

Matière de référence essence

En cas de feu de nappe de 60 t d'essence, la densité de flux thermique (rayonnement thermique) au centre de l'aire principale s'élève à 0.005 kW/m². Pour le cas hypothétique d'un feu de nappe de 1'500 t d'essence (composition du train, 25 wagons citernes, longueur de 500 m), la densité de flux thermique est d'environ 0.57 kW/m².

Une atteinte à la sécurité des installations de la CNN peut être exclue.

Matière de référence propane

En cas de BLEVE brûlant (Boiling Liquid Expansion Vapour Explosion) de 45 t de propane et une densité de flux thermique de 350 kW/m² à la surface de la boule de feu, la densité de flux thermique au centre de l'aire principale s'élève à environ 2.1 kW/m² pendant une durée d'environ 16 secondes. En cas de BLEVE brûlant consécutif (BUWAL 1996a, CFF 2000) sur deux wagons citernes la densité de flux thermique s'élève également à environ 2.1 kW/m² pendant une durée maximum de 32 secondes. Dans les deux cas, la surpression s'élève à environ 0.02 bar.

En cas de feu de jet sur un wagon citerne de 45 t de propane et si le jet est parallèle au sol, la densité de flux thermique est de 0.02 kW/m².

En cas d'explosion d'un nuage de gaz à l'air libre de 45 t de propane, la surpression est de 0.03 bar.

Dans tous ces cas, une atteinte à la sécurité des installations de la CNN peut être exclue.

Matière de référence chlore

Dans l'hypothèse d'un rejet de 55 t de chlore, la concentration à l'air libre sur une distance de vent descendant de 1'000 m s'élève à 890 ppm. Elle est donc proche de la valeur seuil de 910 ppm conduisant à un effet léthal pour une durée d'exposition d'une minute.

Le gaz chloré constitue principalement une menace pour les personnes. Dans un tel cas, la salle de commande de la CNN peut être isolée en ce qui concerne son aération, de manière à garantir la poursuite de l'exploitation ou, si nécessaire, l'arrêt sécurisé de l'installation.

Dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, une analyse de risque permettra de déterminer si l'émission de chlore sur le trajet ferroviaire Olten Est - Aarau peut malgré tout donner lieu à des conséquences non-admissibles sur la sécurité de l'installation. De telles analyses de risque exigent des connaissances précises sur l'installation, qui ne sont pas encore disponibles aujourd'hui.

A l'état humide, le gaz chloré est extrêmement corrosif et peut causer à court ou moyen terme des dommages sur les constructions et les installations, ce qui rendrait nécessaires des travaux de remise en état et de contrôle hors plan.

3.3.2.3 Accidents de transport sur les routes de transit

Ci-après sont présentés les accidents de transport sur la route cantonale Olten - Aarau et leurs conséquences au centre de l'aire principale de la CNN à une distance de 1'150 m.

Pour un camion citerne de 40 t, la quantité maximale transportée est d'environ 23 t d'essence et de 22 t de propane.

Selon l'annexe 3 de l'ordonnance relative au transport des marchandises dangereuses par route (SDR 2002), le poids net maximum admis pour le chlore est de 1'000 kg par conteneur de transport. Le transport est effectué dans des conteneurs avec un poids net de 65 kg (bouteille sous pression) à 1'000 kg au maximum (tank mobile). Dans l'étude de risque pilote pour le transport des marchandises dangereuses (Ernst Basler + Partner 1999), un rejet accidentel de 2000 kg de chlore contenus dans deux tanks mobiles d'une capacité respective de 1'000 kg chlore est postulé.

Du fait de la grande distance entre la route cantonale Olten - Aarau et le centre de l'aire principale de la CNN et des faibles quantités transportées, les conséquences des accidents liés à des fuites d'essence, de propane ou de chlore sur des camions (citernes) sont couvertes par celles des accidents avec des wagons citernes.

Selon les informations de l'Office de l'environnement du canton de Soleure, il est improbable que des camions transportant du chlore circulent sur la route cantonale Olten - Schönenwerd, étant donné qu'il n'y a pas d'acheteurs de chlore dans le canton de Soleure.

Ci-après sont néanmoins postulés des accidents de transport avec les quantités maximales transportées des trois matières guides que sont l'essence, le propane et le chlore sur la route cantonale Olten - Schönenwerd, et leurs conséquences sur l'aire principale de la CNN à une distance de 400 m sont présentées.

Matière de référence essence

En cas de feu de nappe de 23 t d'essence, la densité de flux thermique s'élève à 0.03 kW/m² max. Une atteinte à la sécurité des installations de la CNN peut être exclue.

Matière de référence propane

En cas de BLEVE brûlant de 22 t de propane et une densité de flux thermique de 350 kW/m² à la surface de la boule de feu, la densité de flux thermique au centre de l'aire principale s'élève à environ 8.8 kW/m² pendant une durée d'environ 16 secondes. La surpression s'élève au maximum à 0.044 bar.

En cas de feu de jet sur un camion citerne avec 22 t de propane et si le jet est parallèle au sol, la densité de flux thermique est de 0.26 kW/m².

En cas d'explosion d'un nuage de gaz à l'air libre avec 22 t de propane, la surpression est de 0.07 bar.

Dans tous ces cas, une atteinte à la sécurité des installations de la CNN peut être exclue.

Matière de référence chlore

En cas de fuite de 2 t de chlore (Ernst Basler + Partner 1999), la concentration à l'air libre sur une distance de vent descendant de 400 m est de 1'400 ppm au maximum. Elle est donc supérieure à la valeur seuil de 910 ppm conduisant à un effet léthal pour une durée d'exposition d'une minute.

Pour l'analyse de risque prévue dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire et relative au rejet de chlore en cas d'accident ferroviaire, les accidents de transport sur des routes de transit seront inclus en tenant compte des différents tonnages.

3.3.2.4 Accidents dans le trafic aérien

Selon l'ordonnance sur l'énergie nucléaire (OENu 2004), des mesures de protection doivent être prises contre les défaillances qui peuvent être déclenchées par la chute d'avions civils ou militaires sur l'installation (Art. 8 al. 3, OENu 2004).

La directive IFSN-A05 (IFSN 2009a) prescrit pour l'analyse PSA la procédure suivant laquelle les fréquences des chutes d'avion doivent être déterminées pour le site d'une centrale nucléaire. Les études exposées ci-dessous s'orientent sur les prescriptions de cette directive.

Les conséquences d'une chute d'avion dépendent du type d'avion. La directive IFSN-A05 fait une distinction entre le trafic aérien civil et le trafic militaire. Par ailleurs, les avions civils sont répartis deux classes: la classe des avions légers avec une masse inférieure à 5.7 t et la classe des avions de ligne avec une masse supérieure à 5.7 t.

Détermination de la fréquence de chutes selon la directive IFSN-A05

Suivant la subdivision du trafic aérien, les fréquences de chute des avions légers, des avions de ligne et des avions militaires sont déterminées séparément. Les calculs détaillés pour tous les trois types d'avions sont présentés dans AF-Colenco (2009c). Leurs résultats sont récapitulés ci-après.

Pour les avions de ligne, les fréquences de chutes pendant les phases de décollage/d'atterrissage et durant le vol de transit sont indiqués individuellement. Le trafic des aéroports de Zurich et de Bâle avec la part pertinente pour l'aire de projet de la CNN ainsi que le trafic de transit dans un rayon de 100 km sont pris en compte. A ce titre, des analyses détaillées des données de vol de l'année 2008 ont été effectuées par Skyguide. Les taux de chutes pour les phases de décollage et d'atterrissage indiqués par la directive IFSN-A05 sont intégrés dans les calculs.

La fréquence des chutes d'avions militaires est déterminée à partir du nombre total de chutes d'avions militaires sur le territoire national de la Suisse au cours des 20 dernières années (1989 - 2008)³.

Pour la détermination de la fréquence de chutes des avions légers, la directive prévoit une procédure analogue à celle appliquée pour les avions militaires. L'évaluation des enregistrements des cinq dernières années (2004 - 2008) est toutefois suffisante.

³ Dans la directive IFSN-A05, la notion « avion militaire » n'est pas définie de manière détaillée. Dans l'optique des conséquences potentielles d'une chute d'avion, les avions à réaction ont été placés dans cette catégorie, alors que les appareils à hélice de formation des Forces aériennes ont été placés dans le groupe des avions civils légers.

Résultats

Pour le site de la CNN, on obtient pour les trois types d'avions spécifiés les fréquences de chutes surfaciques présentée dans le tableau 3.3-9 (par kilomètre carré surface d'impact, cf. IFSN-A05).

Tableau 3.3-9 Fréquence surfacique de chutes d'avions par type d'avion (AF-Colenco 2009c)

Type d'avion		Fréquence des chutes [1/a/km²]
Avion de ligne (> 5.7 t)	Décollage/atterrissage	1.19E-05
	Vol de transit	1.20E-07
Avion militaire		1.30E-05
Avion léger (< 5.7 t)		2.30E-04

Les chiffres contenus dans le tableau 3.3-9 indiquent que la fréquence de chutes des avions de ligne pour les décollages et atterrissages sur les aéroports de Zurich et de Bâle est supérieure de deux ordres de grandeur à celle des vols de transit. De ce fait, le trafic de transit joue à cet égard un rôle secondaire. Selon la procédure de la directive IFSN-A05, les fréquences de chutes déterminées pour les avions légers et militaires sont valables pour toute la Suisse, de sorte qu'aucune influence ne résulte de la position de l'aire du projet de la CNN.

Évolution future

Le trafic aérien commercial présente de fortes fluctuations. Les chiffres du trafic indiquent clairement l'influence des événements tels que les attentats à New York en 2001 ou le début de la guerre d'Irak et de l'infection SRAS en 2003. Même les événements économiques comme la faillite de Swissair en 2001 ou la crise économique de 2008 produisent des effets. En raison de ces fluctuations, les prévisions des fréquences futures de chutes d'avions sont problématiques, d'autant que les avions et les techniques de sécurité évoluent, rendant ainsi le trafic commercial aérien plus sûr. Sous l'hypothèse d'une répartition constante du trafic aérien aux différentes altitudes de vol, et tout en ne prenant pas en compte une évolution ultérieure de la technique qui devrait entraîner une diminution des taux de chutes, la fréquence de chutes soit augmenterait soit diminuerait de manière linéaire avec soit l'accroissement soit la diminution du volume du trafic aérien commercial.

Pour le trafic militaire aérien, il faut s'attendre une fréquence de chutes plus faible à l'avenir. La modernisation et le maintien des capacités actuelles des Forces aériennes suisses, qui sont les principales utilisatrices militaires de l'espace aérien suisse, est prévue.

Le trafic des avions légers devrait augmenter légèrement. Toutefois, il faut s'attendre ici à des changements et des influences économiques, d'autant plus que les limites de capacités devraient bientôt être atteintes dans ce domaine.

Évaluation

Indépendamment des fréquences de chute déterminées, la CNN procédera à une conception déterministe de la protection contre les chutes d'avions. Les exigences relatives à la protection de l'installation contre les chutes d'avions seront fixées dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire. Le type d'avion militaire ou civil utilisé au moment de la demande d'autorisation de construire et pouvant, sous des hypothèses réalistes, causer les plus grandes charges de chocs sur les bâtiments sera pris en considération. En plus des charges de chocs directs sur les bâtiments, les ébranlements induits des composants de l'installation, les incendies de carburant, y compris le développement de la fumée ainsi que les explosions et les impacts liés aux débris seront également pris en considération (DETEC 2009).

Les mesures de lutte contre les feux de combustibles, y compris le développement de fumée et les explosions consécutives à une chute d'avion, seront prises en considération dans le concept de protection contre les incendies qui sera soumis avec la demande d'autorisation de construire.

3.3.2.5 Incidents dans les entreprises

Impacts sur la CNN liées aux matières en cas de défaillance dans les entreprises

Des défaillances ont été postulées sur la base des caractéristiques de danger et des quantités de matières manipulées dans les entreprises dans un rayon de 8 km autour du site de la CNN. Il a été étudié si les conséquences des défaillances postulées pourraient porter atteinte à la sécurité des installations de la CNN (AF-Colenco 2009b).

Comme expliqué au chapitre 3.3.1.1 les indications suivantes concernant les entreprises et les quantités de matière ont été anonymisées pour des motifs de secret industriel.

Selon l'avis de l'office pour la protection des consommateurs AVS (Amt für Verbraucherschutz) du canton d'Argovie (canton AG 2009b), les zones de danger sont déterminées dans le cadastre des risques chimiques sur la base des rapports succincts et des déterminations de risque des entreprises qui sont soumises à l'ordonnance sur les accidents majeurs. Sur cette base, il peut être considéré comme acquis que les entreprises situées dans un rayon de 8 km autour du site de la CNN (dans le canton d'Argovie) et soumises à l'ordonnance sur les accidents majeurs ne compromettent pas la sécurité de l'exploitation des installations de la CNN.

Selon l'avis de l'office de l'environnement AfU (Amt für Umwelt) du canton de Soleure (canton SO 2009), qui base son appréciation sur les documents dont il dispose et ses connaissances actuelles, le risque lié aux entreprises environnantes pour la CNN projetée se trouve dans la zone acceptable du diagramme W/A selon les critères d'appréciation I à l'OPAM (OFEFP 1996b). Selon l'AfU, deux entreprises pourraient avoir une influence jusqu'à l'aire de projet de la CNN en cas de défaillance.

Pour illustrer les déclarations des cantons, les entreprises soumises à l'ordonnance sur les accidents majeurs ont été considérées plus en détail et les conséquences des défaillances postulées ont été quantifiées.

Impacts sur la CNN liées aux matières en cas de défaillance dans les entreprises - propagation par l'air

Les entreprises OPAM situées dans le canton d'Argovie ne sont pas pertinentes en raison des caractéristiques et des quantités des matières manipulées ainsi que de la distance au site de la CNN.

Pour 9 des 25 entreprises OPAM basées dans le canton de Soleure, les déclarations du canton ont été étudiées en détail et les conséquences des défaillances postulées ont été quantifiées.

Les matières manipulées dans ces entreprises comprennent de l'eau ammoniacale, de la soude caustique, de l'acide chlorhydrique, de l'acide sulfurique, du peroxyde d'hydrogène, du Diesel, des huiles pour engrenages, hydrauliques, moteurs et pour transformateurs, du mazout, des peintures et laques, des solvants, du propane et des matières plastiques.

Pour quatre entreprises possédant une charge d'incendie pertinente, il est pris l'hypothèse d'une densité de flux thermique de 170 kW/m^2 à la surface du foyer d'incendie. Ceci correspond à l'intensité maximale de la source pour un feu de nappe d'hydrocarbures. Les calculs donnent une densité de flux thermique maximum au centre de l'aire principale de la CNN de 0.7 kW/m^2 .

Pour une entreprise possédant une quantité de propane assez importante, il est fait l'hypothèse de types de feu BLEVE, BLEVE simultané et d'incendie de nuages de gaz. Il en résulte des densités de flux thermique jusqu'à 0.6 kW/m^2 pendant 19 secondes et des surpressions jusqu'à 0.02 bar au centre de l'aire principale.

Pour trois entreprises, il est fait l'hypothèse d'une émission de la totalité du peroxyde d'hydrogène stocké. La concentration maximale déterminée au centre de l'aire principale s'élève à 13 ppm. Cette concentration est légèrement supérieure à la valeur ERPG1 de 10 ppm et nettement inférieure à la valeur ERPG2 de 50 ppm.

Pour deux entreprises, il est fait l'hypothèse d'une émission de la totalité de l'acide chlorhydrique stocké. Les calculs donnent une concentration maximale de gaz hydrochlorique de 2 ppm au centre de l'aire principale. Cette concentration correspond à la valeur MAK. Elle est inférieure aux valeurs ERPG-3 et ERPG-2 de 3 resp. 20 ppm.

Pour une entreprise, il est fait l'hypothèse d'une émission de la totalité de l'eau ammoniacale stockée. La concentration d'ammoniaque déterminée au centre de l'aire principale s'élève au maximum à 15 ppm. Elle est donc inférieure à la valeur MAK de 20 ppm.

En cas d'émission d'hydroxyde de sodium, d'acide sulfurique, de peinture et de laques, de Diesel ainsi que des huiles moteur, huiles à engrenages et hydrauliques, on peut exclure tout impact par propagation dans l'air, car la pression de vapeur de ces matières est faible et n'entraîne donc pas d'émissions notables en phases gazeuse ou vapeur.

Pour une entreprise, il est fait l'hypothèse d'un incendie de matières plastiques. Les conséquences possibles des gaz de fumée et de la suie sont décrites ci-après. Du fait de la poussée ascensionnelle, aucune concentration notable des matières nocives n'est en général constatée au niveau du sol à proximité directe de la source du feu. En cas de situation atmosphérique et de direction du vent défavorables, on ne peut pas exclure qu'il se produise une descente du nuage de matières polluantes sur l'aire principale de la CNN.

La combustion des matières organiques peut produire non seulement du dioxyde de carbone, du monoxyde de carbone et de la suie, mais également - par exemple - du gaz hydrochlorique, des dioxines, de l'oxyde nitrique, du dioxyde de sulfure ou du fluorure d'hydrogène.

Les gaz de fumée constituent principalement une menace pour les personnes. La salle de commande de la CNN peut être isolée en ce qui concerne son aération, de manière à garantir à tout moment la poursuite de l'exploitation ou, si nécessaire, l'arrêt sécurisé de l'installation.

Une atteinte directe au fonctionnement des composants de l'installation de la CNN par des gaz brûlés ou de la suie est improbable. On ne peut pas exclure qu'après un feu de matières plastiques, des travaux de contrôle et de remise en état hors-plan soient nécessaires dans le cadre des révisions annuelles, pour empêcher des dommages de moyen à long terme.

Dans tous les cas étudiés, une atteinte à la sécurité des installations de la CNN peut être exclue.

Dans quelle mesure la centrale nucléaire du Niederamt (CNN) est elle-même soumise à l'ordonnance sur les accidents majeurs est une question qui ne peut être clarifiée que dans le cadre de la 2^e étape de l'étude de l'impact sur l'environnement (EIE) en application de l'ordonnance sur les accidents majeurs.

Impacts sur la CNN liées aux matières en cas de défaillance dans les entreprises - Propagation par l'eau

Propagation des fuites de liquides dans les eaux souterraines

Tout peut présumer que, dans les entreprises soumises à l'ordonnance sur les accidents majeurs, les matières sont stockées et manipulées correctement conformément à leurs dangers.

Les liquides existant en quantités notables sont donc stockés dans des réservoirs appropriés, qui sont disposés dans des cuves collectrices étanches aux dimensions correspondantes. Les entreprises disposent en outre de bassins de retenue des eaux d'extinction suffisants, pour pouvoir recueillir les eaux d'extinction contaminées en cas d'incendie.

En ce qui concerne les cuves collectrices et les bassins de retenue d'eau d'extinction, il s'agit de mesures de sécurité passives, dont on peut supposer qu'elles restent intactes en cas d'incendie. En cas d'explosion, les mesures de sécurité architecturales peuvent aussi être défaillantes dans des espaces bouchés ou dans des constructions fermées (canton ZH à 1992).

A l'exception de 2 entreprises, aucune des entreprises considérées ne se trouve cependant en amont de la CNN par rapport aux eaux souterraines. Pour une entreprise située à 4 km de la CNN, l'aire de l'exploitation est entièrement conçue comme bassin de retenue des eaux d'extinction d'incendie.

La seconde entreprise est la centrale électrique de Gösgen. Quant à savoir si des bâtiments de la CNN importants du point de vue de la sécurité peuvent être affectés par l'écoulement des eaux souterraines en provenance du site de la centrale CNG, ceci dépendra de la disposition des bâtiments. Celle-ci ne sera fixée que dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

Les conséquences potentielles des substances dangereuses sur les fondations des bâtiments relèveraient du long terme. Il ne peut donc pas être fait l'hypothèse d'un impact direct de la pollution des eaux souterraines sur l'exploitation des installations de la CNN.

La qualité des eaux souterraines est contrôlée régulièrement. Au cas où il s'avérerait que des accidents accompagnés de rejets de substances chimiques se soient produits dans les entreprises voisines, les contrôles pourraient être intensifiés, s'il y a lieu de supposer que les eaux souterraines ont été contaminées.

Propagation des fuites de liquides à travers le canal d'amenée

Pour les raisons susmentionnées, on peut exclure l'écoulement de grandes quantités de liquides lors de défaillances dans les entreprises analysées. L'écoulement de grandes quantités de liquides avec une propagation consécutive dans les systèmes d'eau de refroidissement de la CNN à travers le canal d'amenée peut donc être classé comme événement très improbable. Un scénario légèrement moins improbable est analysé dans la suite. Les constatations et les conclusions sont valables par analogie pour tous les scénarios d'écoulement de liquides qui peuvent être conçus.

L'Aare est traversée à différents endroits par des routes de transit. Le pont le plus proche au canal d'amenée se trouve à une distance d'environ 350 m en amont du barrage de Winznauer (Gösgerstrasse).

D'autres ponts existent jusqu'au point d'entrée actuellement prévu de l'eau de refroidissement auxiliaire de la CNN dans le canal d'amenée. Ils font partie de petites routes et sont très rarement utilisés par des camions citernes. Pour la séquence d'incident décrite par la suite, la position du pont n'est pas déterminante, hormis le temps d'écoulement jusqu'au point de déversement.

En cas d'accident par camion citerne contenant des produits chimiques sur le pont en amont du barrage de Winznau, qui déverserait son contenu de citerne dans l'Aar, on ne peut pas empêcher que les produits chimiques parviennent dans le canal d'amenée.

Dans l'état de planification actuelle, la distance jusqu'à un point d'entrée pour l'eau de refroidissement auxiliaire de la CNN sera d'environ 4 km. À une vitesse d'écoulement de 2 m/s, environ 30 minutes s'écoulent avant que le contenu du réservoir n'atteigne le point d'entrée.

Si le contenu d'un réservoir de 25 m³ se déverse en 10 minutes dans l'Aar et se mélange, pendant ce laps de temps, de manière homogène avec un faible écoulement de l'Aar de 200 m³/s, la concentration au point d'entrée s'élève à environ 200 ppm.

La valeur pH et la conductivité de l'eau de refroidissement auxiliaire sont surveillées en permanence. De plus, des échantillons sont prélevés régulièrement et analysés. En cas d'évènement avec une pollution potentielle dans le canal d'amenée, des prélèvements d'échantillons et des analyses d'eau supplémentaires sont effectués.

Lorsque les détecteurs de valeurs limites sur les points de mesure de la valeur pH et de la conductivité réagiront, des analyses supplémentaires seront également effectuées. Les résultats des analyses d'eau permettent d'apprécier les conséquences possibles pour l'exploitation et servent d'aide à la décision pour des mesures éventuellement nécessaires.

L'entraînement supposé des produits chimiques ne peut pas causer une défaillance du système d'eau de refroidissement auxiliaire. Les multiples redondances du système permettent d'effectuer des contrôles et des remises en état même pendant l'exploitation à pleine charge.

On ne peut pas exclure que des travaux de contrôle et de remise en état hors-plan soient nécessaires dans le cadre de la révision annuelle, pour empêcher des dommages de moyen à long terme sur le système d'eau de refroidissement auxiliaire.

Pour le système d'eau de refroidissement principal, et selon des produits chimiques émis, des problèmes d'approvisionnement en eau d'appoint pour la tour de refroidissement pourraient éventuellement se présenter. Selon le type et la concentration des produits chimiques dans l'eau brute, tout un spectre de dysfonctionnements pourrait survenir dans l'installation de décarbonisation - d'une légère pollution de la boue à la panne totale de l'installation de décarbonisation.

Le système d'eau de refroidissement principal est un système d'exploitation sans fonction de sécurité. L'entraînement des produits chimiques dans l'eau de refroidissement peut, selon les circonstances, compromettre l'exploitation, mais pas la sécurité des installations de la CNN.

Interactions non liées aux matières entre la CNN et la CNCNG

Des missiles et projectiles (comme les dénommés "turbine missiles») peuvent être générés par des composants défectueux en rotation ou sous pression en cas de défaillance. Les trajectoires probables de ces "turbine missiles» sont analysées lors de la conception de la CNN en tenant compte de la classification de sécurité des bâtiments. Ceci se reflète dans la disposition et le positionnement de la CNN en projet par rapport à la centrale nucléaire de Gösgen existante. Il sera tenu compte de manière détaillée de cette nécessité de sécurité dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, car ce n'est qu'à ce moment-là que la position exacte, la puissance et le type de réacteur seront connus. Si un positionnement favorable de la nouvelle installation n'est pas réalisable, des mesures architecturales de protection de la CNN respectivement de la CNCNG seront prises.

Une étude approfondie de l'impact mutuel de l'exploitation des deux centrales nucléaires est prévue dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

Impacts radiologiques sur la CNN en cas de perturbation dans les entreprises voisines

La situation radiologique actuelle sur le site, en exploitation normale des entreprises mentionnées ci-dessous, est décrite au chapitre 4.5. Ci-après est abordée la question de savoir si des incidents dans les entreprises situées dans le voisinage de la CNN peuvent avoir des conséquences radiologiques sur la CNN.

Centrale nucléaire de Gösgen (CNG)

En cas de rejet de radioactivité lié à une défaillance dans la centrale CNG, l'installation en projet de la CNN n'est pas menacée. L'éventuelle augmentation des valeurs radiologiques est constatée immédiatement par la surveillance radiologique permanente à l'extérieur et à l'intérieur des installations, et des contre-mesures correspondantes peuvent être initiées. La salle de commande de la CNN peut être isolée en ce qui concerne son aération, de manière à garantir à tout moment la poursuite de l'exploitation ou, si nécessaire, l'arrêt sécurisé de l'installation. Ainsi, soit la probabilité de menace radiologique de la CNN par l'installation de la CNG existante est de faible importance ou alors des contre-mesures peuvent être prises. Ceci est valable également inversement en ce qui concerne une éventuelle influence radiologique sur la CNG provenant de la CNN.

LEONI Studer AG

En cas de perturbation de l'exploitation, les sources d'irradiation de l'entreprise LEONI Studer AG, usine de Hard, seront placées automatiquement dans un état sécurisé: soit elles sont mises hors tension et l'irradiation est coupée, soit elles tombent dans un bassin d'eau, ce qui permet une protection contre l'irradiation encore plus étendue que sous les conditions d'exploitation.

Autres entreprises

Les sources d'irradiation des autres entreprises industrielles et des établissements médicaux sont considérablement plus faibles et représentent donc un potentiel de risque moindre par rapport aux entreprises mentionnées précédemment. Leurs impacts sur la CNN n'ont pas à être prises en compte même dans les conditions d'incidents.

3.3.2.6 Incidents dans les réseaux de canalisations

Canalisations à haute pression de gaz naturel à l'Ouest du site de la CNN

Dommages en cas d'explosion d'un nuage de gaz

Selon l'annexe 5-15 du rapport-cadre (Rapport-cadre sur le gaz naturel 1997), les ondes de choc dans l'air n'entraînent des dommages que dans des cas isolés. Une détonation du gaz naturel n'est pas possible à l'air libre, et même une déflagration n'est possible qu'en présence d'un gros nuage inflammable et d'un certain confinement par le voisinage.

En cas de nuage de gaz dans un environnement entièrement ouvert, il faut s'attendre à une surpression inférieure à 0.1 bar. Dans un environnement partiellement fermé (p. ex. dans des installations industrielles), des surpressions plus élevées sont possibles, mais ne dépassant toutefois pas la valeur maximum de 0.5.

Dans des environnements entièrement fermés, des pressions plus élevées peuvent être atteintes en cas d'explosion de nuages de gaz. Une explosion du gaz de méthane peut provoquer une surpression maximale de 7 bars dans des pièces fermées.

Canalisations à haute pression de gaz naturel

Explosion

Selon HSK 1994, la distance de sécurité nécessaire, conformément au chiffre IV de la directive BMI (BMI 1976), entre les canalisations à haute pression de gaz naturel et les bâtiments liés à la sécurité se monte à 375 mètres.

La condition pour que la distance de sécurité de 375 m soit suffisante est la conception des bâtiments et composants d'installation importants pour la sécurité contre l'onde de choc définie dans la directive BMI avec une valeur maximum de surpression de 0.45 bar (BMI 1976). De plus, les effets éventuels de confinement doivent être pris en compte dans la conception et la disposition des bâtiments. Une telle conception est prévue pour la CNN.

La distance minimale entre les canalisations à haute pression de gaz naturel et l'aire principale de la CNN est d'environ 570 m et donc nettement plus élevée que la distance de sécurité requise de 375 m.

Feu de torche

En cas de fuite sur une canalisation à haute pression de gaz naturel suivie d'une inflammation, le gaz naturel écoulé prend en général feu sous la forme d'une torche. La taille de la flamme dépend de la surpression dans la canalisation et de la taille du trou de fuite.

Selon le rapport-cadre (Rapport-cadre sur le gaz naturel 1997), la longueur de la flamme d'un feu de torche et le diamètre de la flamme s'élèvent respectivement à 290 m et 90 m après la défaillance totale d'une canalisation à haute pression de gaz naturel de 70 bars/36" et l'inflammation du gaz écoulé.

Sous l'hypothèse d'un cylindre vertical rayonnant et d'une hauteur de 290 m, un diamètre de 90 m et une densité de flux thermique de 200 kW/m² à la surface, la densité de flux thermique à une distance de 570 m est inférieure à 3 kW/m² (SAFER TRACE 2006).

Une atteinte à la sécurité des installations de la CNN peut être exclue.

Dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, les effets de l'inflammation retardée d'un nuage de gaz ainsi que la pénétration du gaz dans le bâtiment de la CNN seront étudiés par une analyse des risques.

Perspective

Les explications relatives aux canalisations à haute pression de gaz naturel se rapportent en partie au rapport-cadre (Rapport-cadre sur le gaz naturel 1997). Une révision du rapport-cadre est attendue dans un avenir proche.

Dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, il sera vérifié si des analyses supplémentaires sont nécessaires en raison d'un éventuel changement des critères d'appréciation dans le rapport-cadre.

3.3.2.7 Risques d'incendie de forêt

Les risques d'incendies de forêts dans la zone de l'aire de projet de la CNN ont été analysés (Kaufmann + Bader 2009). Pour l'appréciation du risque d'incendie de forêt, on a utilisé les critères considérés comme pertinents dans la recherche sur les incendies de forêt. Il s'agit des critères suivants: la région, la topographie, l'emplacement, le peuplement d'arbres, le matériel combustible et les sources de feu. Les études sur les risques d'incendies de forêts montrent que la probabilité d'un feu de forêt dans les forêts qui avoisinent l'aire de projet de la CNN, est très faible, en raison des conditions géographiques, topographiques, de sylviculture et celles liées à l'emplacement. L'incendie de forêt ne peut toutefois pas être complètement exclu pendant des périodes extrêmement sèches.

Les risques d'incendies de forêts restent dans l'ensemble très faibles, même quand on tient compte d'une éventuelle influence du changement climatique sur la base des scénarios climatiques actuels (Kaufmann + Bader 2009).

La surface de la forêt au nord-ouest de l'aire principale est celle qui est déterminante pour le risque d'incendie en raison de sa proximité directe à l'installation projetée et de sa superficie assez importante en comparaison à celle plutôt étroite du peuplement d'arbres des berges. L'observation d'une bande de sécurité exempte de petit bois jusqu'aux bâtiments prévus de l'installation ou encore jusqu'à la barrière extérieure de l'installation (protection véhicules) permettra de réduire encore davantage les conséquences potentielles d'un feu de forêt et ainsi le risque d'incendie déjà très faible.

Les pompiers d'entreprise de la CNN seront en outre formés de la même manière que les pompiers d'entreprise de la centrale CNG, pour la lutte contre les incendies de forêt. Au besoin, ils peuvent être assistés par les pompiers d'entreprise de la CNG et, comme c'est actuellement le cas pour ces derniers, par les services de sapeurs-pompiers de Schönenwerd et d'Olten. Le trajet de la base de Schönenwerd à la centrale CNG est d'environ 3.6 km et dure 7 minutes. Le trajet à partir de la base d'Olten est d'environ 8.2 km et dure 13 minutes.

Les mesures de lutte contre les incendies, y compris les incendies de forêts, et la formation correspondante des pompiers d'entreprise sont prises en considération dans le concept de protection contre les incendies. Ce dernier sera fourni dans le cadre de la documentation G1 conformément à l'annexe 3 de la directive HSK-R-30 (HSK 1992a) et à l'annexe 4 (OENü 2004) et soumis conjointement à la demande d'autorisation de construire. Les détails des mesures de protection contre les incendies seront spécifiés dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

3.3.2.8 Incidents dans le voisinage en raison d'un tremblement de terre

Pour les effets résultant d'événements isolés sans tremblement de terre décrits dans les chapitres précédents, il est admis de manière générale que les mesures de sécurité passives existantes dans les entreprises ne sont pas défaillantes.

Dans le cas d'un tremblement de terre, il est également tenu compte du fait que les mesures de sécurité actives et passives pourraient être défaillantes en conséquence directe du tremblement de terre.

En cas de défaillance des mesures de sécurité passives, comme p. ex. les espaces coupe-feu architecturaux, les cuves collectrices, les récipients recouverts de terre, il faut tenir compte non seulement de la propagation par l'air, mais également de la propagation des produits chimiques par le sol et l'eau. Les conséquences potentielles pour la CNN sont également traitées ci-après.

Propagation par l'air - Voies de communication et entreprises

Les événements possibles consécutifs à un tremblement de terre sont couverts par les impacts décrits dans les chapitres précédents, pour différents événements sur les voies de communication et dans les entreprises, nonobstant les données supplémentaires suivantes:

- Le calcul de la densité de flux thermique sur l'aire de la CNN par suite d'incendies dans les entreprises voisines a été effectué au moyen d'un modèle, dans lequel les dimensions de l'émetteur de rayonnement surfacique correspondent non pas aux dimensions des composants d'installation impactées ni aux espaces coupe-feu, mais plutôt à la longueur et à la largeur de l'entreprise respective.

Les quantités de matières utilisées dans le modèle correspondent aux quantités maximales disponibles dans les entreprises respectives, ce qui couvre donc les incendies comme événements consécutifs à un tremblement de terre. Dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, les distances à considérer par rapport aux parties de la CNN les plus proches et importantes du point de vue de la sécurité seront déterminées de manière plus exacte. Le modèle pénalisant de l'émetteur surfacique sera toujours utilisé, seul dans des cas isolés, des considérations plus détaillées sur les dimensions effectives des sources d'incendie potentielles pourraient s'avérer nécessaires.

- Dans l'analyse des risques prévue dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire et relative au rejet du chlore et de matières inflammables (matière de référence propane) et portant sur une inflammation retardée de nuages de gaz, il est tenu du compte du fait que des tremblements de terre peuvent entraîner le rejet de quantités de matières supérieures à celles postulés dans l'analyse des défaillances sans tremblement de terre.

Propagation dans l'air - Réseaux de canalisations

Explosion

La distance de sécurité $R = 375$ m indiquée au chapitre 3.3.2.6 se rapporte à une masse L de 103 t, conformément à la formule $R = 8 \times (L)^{1/3}$ selon le chiffre IV de la directive BMI (BMI 1976).

Cette quantité de gaz s'applique en cas de défaillance d'une des deux canalisations à haute pression de gaz naturel.

S'il est fait l'hypothèse, en cas de tremblement de terre, d'une défaillance simultanée des deux canalisations à haute pression de gaz naturel avec sortie de la quantité double ($L = 206$ t), la distance de sécurité se monte alors à 473 mètres selon le chiffre IV de la directive BMI.

La distance minimale jusqu'à l'aire principale de la CNN est d'environ 570 m. la distance de sécurité de 473 mètres, nécessaire en cas de tremblement de terre conformément à la directive BMI est ainsi également respectée.

Feu de torche

La fuite sur les deux canalisations à haute pression de gaz naturel est traitée, de manière pénalisante, comme une fuite sur une canalisation à haute pression de double diamètre. Selon la figure A5-5, annexe 5-11 (Rapport-cadre sur le gaz naturel 1997), la longueur de la flamme d'un feu de torche et son diamètre s'élèvent respectivement à 630 m et 170 m après la défaillance totale d'une canalisation à haute pression de gaz naturel de 70 bars/72" et l'inflammation du gaz écoulé. La densité de flux thermique à une distance de 570 m est inférieure à 9 kW/m^2 (SAFER TRACE 2006).

Une atteinte à la sécurité des installations de la CNN peut être exclue.

Pour l'analyse des risques prévue dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire et relative aux conséquences de l'inflammation retardée d'un nuage de gaz et à la pénétration du gaz dans le bâtiment de la CNN, le rejet de quantités potentiellement plus élevées en cas de tremblement de terre sera pris en compte.

Propagation par les eaux souterraines

A l'exception de 2 entreprises, aucune des entreprises prises en compte au chapitre 3.3.2.5 ne se trouve en amont de la CNN vis-à-vis de l'écoulement des eaux souterraines.

Cette constatation est également valable en cas de tremblement de terre, car ce dernier ne changera pas le sens général de l'écoulement des eaux souterraines de manière extrême.

Des produits chimiques provenant de l'entreprise située à 4 km en amont, vis-à-vis de l'écoulement des eaux souterraines, pourraient parvenir dans les eaux souterraines par suite de la défaillance de la fonction de retenue des eaux d'extinction sur l'aire de l'entreprise. Toutefois, les vitesses d'écoulement des eaux souterraines étant de moins de 1 km par an au niveau du site, le transport des produits chimiques par les eaux souterraines est un processus lent.

Pour ce qui est de savoir si des bâtiments de la CNN importants du point de vue de la sécurité pourraient être affectés par l'écoulement des eaux souterraines à partir du site de la centrale CNG, ceci dépend de la disposition des bâtiments. Celle-ci ne sera fixée que dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

Les conséquences potentielles de produits chimiques sur les fondations de bâtiments s'inscrivent dans tous les cas dans le long terme et n'entraînent en aucun cas des risques aigus pour la sécurité des installations.

Canal d'amenée

Comme expliqué au chapitre 3.3.2.5, l'entraînement de produits chimiques dans l'eau de refroidissement peut éventuellement porter préjudice à l'exploitation, mais ne compromet pas la sécurité des installations de la CNN.

De plus, le canal d'amenée n'est pas considéré comme étant à l'épreuve des tremblements de terre. En cas de défaillance du canal d'amenée, l'approvisionnement respectivement le refroidissement de l'eau de refroidissement auxiliaire pour les consommateurs importants en ce qui concerne la sécurité sont assurés par des systèmes alternatifs (cf. chapitre 2.2.4 Système d'eau de refroidissement auxiliaire et chapitre 3.8.7.1 - Combinaison de tremblements de terre avec des événements externes liés aux tremblements de terre).

3.3.3 Évaluation récapitulative

Les impacts déterminés à partir des scénarios d'incidents étudiés se rapportent en général au centre de l'aire principale de la CNN. Les résultats, conclusions et évaluations seront vérifiés dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire sur la base de la disposition exacte des bâtiments.

3.3.3.1 Installations ferroviaires

Les incendies ou explosions causées par la fuite de substances de référence (essence ou propane) d'un wagon citerne suite à un incident sur la ligne ferroviaire Olten Est - Aarau n'entraînent pas de dangers qui pourraient remettre en question la qualification du site de la centrale nucléaire du Niederamt en projet ou exiger des mesures de protection particulières.

Dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, les effets des dégagements de chlore et de propane avec une inflammation retardée sur la ligne ferroviaire Olten Est - Aarau seront étudiés à l'aide d'une analyse des risques.

La qualification du site de la CNN n'en est pas affectée.

3.3.3.2 Routes de transit

Les incendies ou explosions causées par la fuite de matières de référence (essence ou propane) d'un camion (citerne) suite à un incident sur les routes cantonales Olten - Aarau et Olten - Schönenwerd n'entraînent pas de dangers qui pourraient remettre en question la qualification du site de la centrale nucléaire du Niederamt prévue ou exiger des mesures de protection particulières.

Pour l'analyse des risques prévue dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire et relative au rejet de chlore et de propane avec inflammation retardée en cas d'accident ferroviaire, les accidents de transport sur des routes de transit seront inclus en tenant compte des différents tonnages.

La qualification du site de la CNN n'en est pas affectée.

3.3.3.3 Trafic aérien

Indépendamment des fréquences de chute déterminées, la CNN procédera à une conception déterministe de la protection contre les chutes d'avions. Les exigences relatives à la protection de l'installation contre les chutes d'avions seront fixées dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

3.3.3.4 Entreprises

Les incendies, explosions ou rejets de gaz toxiques dans les entreprises (y compris la CNG) situées dans le voisinage de la CNN n'entraînent pas de dangers qui pourraient remettre en question la qualification du site de la centrale nucléaire du Niederamt en projet ou exiger des mesures de protection particulières.

Dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, une analyse de risque permettra de déterminer les conséquences de l'inflammation retardée des nuages de gaz, en tenant également compte de quantités rejetées potentiellement plus importantes en cas de tremblement de terre.

Un impact éventuel mutuel des centrales nucléaires CNG et CNN sera traité de manière exhaustive dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

La qualification du site de la CNN n'en est pas affectée.

3.3.3.5 Réseaux de canalisations

Les bâtiments et composants de l'installation de la CNN importants du point de vue de la sécurité sont conçus pour résister aux ondes de pression résultant des réactions chimiques.

La distance minimale entre les canalisations à haute pression de gaz naturel et l'aire principale de la CNN est supérieure à la distance de sécurité requise prévue dans la conception de la CNN.

Concernant le rayonnement thermique résultant de feux de torche consécutifs à des fuites sur des canalisations à haute pression de gaz naturel, une atteinte à la sécurité des installations de la CNN peut être exclue.

Les canalisations à haute pression de gaz naturel n'engendrent donc aucune menace qui pourrait remettre en cause la qualification du site de la centrale nucléaire en projet dans le Niederamt.

Dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, une analyse de risque permettra de déterminer les conséquences de l'inflammation retardée ainsi que de la pénétration de gaz dans les bâtiments de la CNN, en tenant compte de quantités rejetées potentiellement plus importantes en cas de tremblement de terre.

Dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, il sera en outre vérifié si des analyses supplémentaires seront nécessaires en raison d'un changement éventuel des critères d'appréciation de l'économie du gaz naturel.

La qualification du site de la CNN n'en est pas affectée.

3.3.3.6 Forêts

Les risques d'incendies dans les forêts qui avoisinent l'aire de projet de la CNN sont très faibles. Le respect d'une bande de sécurité exempte de petit bois jusqu'aux bâtiments de l'installation en projet, ou encore jusqu'à la barrière extérieure de l'installation (protection véhicules) permettra de réduire davantage les conséquences potentielles d'un feu de forêt et ainsi le risque d'incendie déjà très faible.

Les pompiers d'entreprise de la CNN sont en outre formés de manière adaptée pour la lutte contre les incendies de forêt.

Les mesures de lutte contre les incendies, y compris les incendies de forêts, seront prises en considération dans le concept de protection contre les incendies dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

3.3.3.7 Perspective

Dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, les changements intervenus d'ici là et concernant les voies de communication et les entreprises avoisinantes seront pris en considération.

Plus tard, lors de la réalisation de modifications projetées, de réaménagement des voies de communication routières et ferroviaires ou de changements dans les entreprises situées dans le voisinage de la CNN, les maîtres d'ouvrage respectifs et les autorités compétentes devront prendre en considération leurs conséquences potentielles sur l'exploitation et la sécurité des installations de la CNN.

Dans le cadre de la conception de la protection contre les chutes d'avions, les types d'avions militaires ou civils en service au moment de la demande d'autorisation de construire seront pris en compte.

Même en tenant compte de l'influence potentielle du changement climatique, le risque d'incendies de forêt sur le site est très faible.

3.4 Météorologie

3.4.1 Mesures météorologiques

Dans le cadre du système dit ANETZ de l'Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse), des mesures météorologiques ont été effectuées jusqu'à la mi-2009 sur un mât situé à environ 1.2 km à l'Est de la centrale CNG. Le but de ces mesures était la saisie continue des conditions atmosphériques de propagation sur le site de Gösgen-Däniken conformément à HSK-R-32 (HSK en 1993). Ces mesures sont également représentatives pour le site de la CNN.

Les valeurs des paramètres suivants ont été mesurées et documentées:

- température de l'air à une hauteur de 10 m, 60 m et 110 m au-dessus du sol et
- direction du vent, vitesses des rafales et vitesse du vent à une hauteur de 10 m et 110 m au-dessus du sol.

Ces paramètres ont été respectivement mesurés par deux sondes (cf. chapitre 3.4.2.1). Les enregistrements de la sonde 2 ont été analysés dans le rapport MétéoSuisse (2009a).

Par ailleurs, l'intensité des précipitations a été mesurée à 1.5 du sol par le système ANETZ à proximité du mât de mesure. La série chronologique de la station de Buchs/Aarau a été utilisée à des fins de comparaison pour les précipitations.

Dans le cadre du renouvellement du réseau de mesure au sol de MétéoSuisse, le mât de mesure de Gösgen (GOE) a été remplacé par la nouvelle station SwissMetNet de Gösgen (GOE) de type S1 (MétéoSuisse 2009b), qui est officiellement en service depuis le 03 juin 2008. Le champ de mesure au sol se trouve désormais à environ 300 m au sud de l'aire principale de la CNN et à environ 900 m à l'Ouest-Sud-Ouest de l'emplacement du mât de mesure aujourd'hui démonté. La pression de l'air, sa température et son humidité, la température de surface, la température de l'air 5 cm, les précipitations, la radioactivité, le rayonnement global, la durée d'ensoleillement, la vitesse et la direction du vent sont mesurées. Les valeurs de mesure de cette nouvelle station de MétéoSuisse n'ont pas été prises en considération dans la présente évaluation. Elles seront incorporées lors de la révision du rapport de sécurité dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

3.4.2 Description de la station

3.4.2.1 Gösgen

L'emplacement du mât de mesure aujourd'hui supprimé avec les coordonnées nationales 641/260//246/130 se trouve à l'Est du site de la CNN. La hauteur de la base du mât était de 380 m au-dessus du niveau de l'eau. Des anémomètres à coupelles et des girouettes étaient montés à 10 m et 110 m au-dessus du sol. En outre, pour des raisons de redondance, un anémomètre orthogonal à hélice était monté respectivement aux deux hauteurs précitées. Les instruments de mesure de température étaient disposés, de manière redondante également, à 10 m, 60 m et 110 m au-dessus du sol. La hauteur des précipitations était mesurée à 1.5 m du sol au moyen d'un pluviomètre à auget basculeur.

L'emplacement du mât de mesure est ouvert par rapport aux courants d'air venant des deux directions principales du vent, à savoir Ouest-Sud-Ouest et Est-Nord-Est. La vallée de l'Aar forme ici un fond de vallée plat, large de près de 3 km.

Au nord, la vallée de l'Aar est limitée par les chaînes de montagne en grande partie boisées de la zone de bordure méridionale du Jura tabulaire. Au sud, à une distance d'environ 3 km, s'élève l'Engelberg jusqu'à 700 m au-dessus du niveau de la mer par sa pente nord à pic, et atteint par ses ramifications nord-est l'élargissement de vallée d'Aarau. Il faut donc s'attendre à une très forte orientation de la fréquence de direction du vent dans la direction OSO-ENE.

3.4.2.2 Buchs / Aarau

Le champ de mesure de la station MétéoSuisse (SwissMetNet) de Buchs/Aarau se trouve aux coordonnées nationales 648/389//248/365, à l'altitude de 387 m s. m. Il se trouve au sud de l'Aar dans la vallée de l'Aar en plein champ. Les précipitations sont mesurées à une hauteur de 2 m au-dessus du sol par pluviomètre chauffé. La température du thermomètre mouillé est enregistrée à cette hauteur également.

3.4.3 Base de données

Pour obtenir une représentation aussi actuelle et représentative que possible des conditions météorologiques sur site de la CNN, les séries de données de février 1987 (à partir d'octobre 1988 pour les précipitations) à décembre 2007 (décembre 2008) ont été analysées. 1987 et 1988 sont les années de début des enregistrements dans le système de l'ANETZ.

De manière générale, la moyenne sur une période de cinq ans indique déjà les conditions de propagation auxquelles il faut s'attendre dans la moyenne à long terme, en particulier en ce qui concerne la direction du vent, sa vitesse et l'état de stabilité de l'atmosphère (p. ex. KTA 2006). Les statistiques de propagation à quatre paramètres spécifiques au site sur une période de cinq ans remplissent - par exemple selon la réglementation allemande en matière de radioprotection - les exigences devant être posées à une statistique de propagation pour le calcul de l'exposition à long terme aux rayonnements en raison de la dissipation par l'air d'échappement dans le cadre de l'exploitation normale (AVV 2005).

Toutefois, pour l'élaboration des statistiques des valeurs extrêmes, une série chronologique aussi longue que possible a été prise en compte.

Toutes les données de paramètres météorologiques utilisées dans le rapport de sécurité ont été fournies par MétéoSuisse (MétéoSuisse 2009a). MétéoSuisse a préalablement soumis ces données à un contrôle de qualité approfondi en utilisant des procédés manuels et automatiques de traitement des données, pour éliminer les données erronées telles que les valeurs physiquement impossibles ou les valeurs aberrantes.

Une description précise du contrôle de la qualité a été effectuée par MétéoSuisse (MétéoSuisse 2009a). La qualité des données après traitement peut être qualifiée de très bonne en raison de leurs disponibilités indiquées dans le tableau 3.4-1.

Les moyennes horaires de la direction et de la vitesse du vent et de la température constituent la base de l'évaluation statistique. Les précipitations ont été évaluées sous forme de sommes horaires et de sommations sur 10 minutes. De plus, des séries chronologiques des vitesses de rafales de vent ont été analysées par intervalles de dix minutes.

Les valeurs horaires des catégories de diffusion ont été déterminées par MétéoSuisse (MétéoSuisse 2009a) sur la base des moyennes horaires de vitesse du vent à une hauteur de 10 m et du gradient de température entre 110 m et 10 m de hauteur (cf. chapitre 3.4.5). De plus, les moyennes mensuelles des précipitations pour l'ensemble de la période de janvier 1989 à décembre 2008 sur le site et, à titre de comparaison, sur la station de Buchs/Aarau, ont été cumulées à partir des valeurs journalières mesurées par MétéoSuisse et analysées (tableau 3.4-10).

Toutes les évaluations effectuées utilisent les données préparées et fournies dans le cadre du rapport (MétéoSuisse 2009a). La période la plus longue disponible a toujours été utilisée. Pour les analyses multi-paramètres, la série la plus courte de la période d'évaluation a été utilisée.

Aussi, les périodes d'analyse sont différentes selon le paramètre ou le groupe de paramètres évalués conjointement. Seuls ont été analysés les enregistrements des années pendant lesquelles la durée d'enregistrement s'étend sur plus de 10 mois. Les moyennes ont été calculées, autant que possible, sur la base de séries chronologiques d'années entières et en tenant compte des exigences.

Dans certains des exposés suivants, la moyenne annuelle ainsi que la moyenne du semestre d'été et, à titre de complément, la moyenne du semestre d'hiver ont été calculées pour les paramètres météorologiques qui constituent la base pour l'évaluation des conditions atmosphériques de propagation. La directive HSK-G14 (HSK 2008a) définit le semestre d'été comme la période allant du 16 avril au 15 octobre et le semestre d'hiver comme allant du 16 octobre au 15 avril. Sauf indication contraire, ces définitions des semestres d'été et d'hiver seront utilisées par la suite.

Le tableau 3.4-1 présente les séries chronologiques utilisées sur deux stations, avec indication de la période d'enregistrement, de la longueur et de la disponibilité. La mesure des précipitations avec une résolution de "1 jour" se réfère à l'heure 5:40 h du temps universel coordonné (UTC).

Tableau 3.4-1 Résumé des chroniques utilisées aux stations de Gösigen et de Buchs/Aarau avec indication de leur période d'enregistrement et de la disponibilité des données

station	Paramètres	Unité	Résolution temporelle	Hauteur	Période de mesure	Longueur de la chronique	Disponibilité des données
Gösigen	Précipitations	mm	10 min 60 min	1.5 m	23.10.1988 - 31.12.2007 23.10.1988 - 31.12.2008	19.2 a 20.2 a	99.70 % 99.70 %
Gösigen	Température	°C	60 min	10 m	01.02.1987 - 31.12.2008	21.9 a	99.65 %
Gösigen	Température	°C	60 min	60 m	01.02.1987 - 31.12.2008	21.9 a	99.63 %
Gösigen	Température	°C	60 min	110 m	01.02.1987 - 31.12.2008	21.9 a	99.61 %
Gösigen	Vitesse des rafales	m/s	s en 10 min	10 m	01.02.1987 - 31.12.2007	20.9 a	99.66 %
Gösigen	Vitesse des rafales	m/s	s en 10 min	110 m	01.02.1987 - 31.12.2007	20.9 a	99.59 %
Gösigen	Vitesse du vent	m/s	60 min	10 m	01.02.1987 - 31.12.2008	21.9 a	99.59 %
Gösigen	Vitesse du vent	m/s	60 min	110 m	01.02.1987 - 31.12.2008	21.9 a	99.60 %
Gösigen	Direction du vent	m/s	60 min	10 m	01.02.1987 - 31.12.2008	21.9 a	99.50 %
Gösigen	Direction du vent	m/s	60 min	110 m	01.02.1987 - 31.12.2008	21.9 a	99.57 %
Buchs / Aarau	Précipitations	mm	1 journée	2 m	01.01.1985 - 31.12.2008	24.0 a	100.00 %

De plus, la valeur extrême de la température du thermomètre humide sur le site de Buchs/Aarau est utilisée sans avoir analysé la chronique complète (chapitre 3.4.9.9). La chronique des hauteurs de neige extrêmes pour le site de la CNN a été fournie par l'Institut WSL pour l'étude de la neige et des avalanches SLF (chapitre 3.4.9.8).

3.4.4 Vent

3.4.4.1 Direction du vent

Pour la représentation de la fréquence des directions du vent, la répartition en classes conformément à la directive VDI 3786 (VDI 2000) est utilisée pour l'assignation des moyennes horaires en fonction de la direction du vent. Cette répartition en classes correspond à une rose de vent à 12 secteurs. Les 12 secteurs sont de 30°, en commençant par le secteur de 15° à 45° jusqu'au secteur de 345° à 15°. Les valeurs aux limites des classes sont attribuées à la classe qui

se trouve en-dessous de la limite. L'axe central du secteur 0° est fixé par la direction du nord. Le secteur 0° se situe ainsi entre les limites 345° et 15°. Les moyennes horaires de la vitesse du vent qui sont inférieures à 0.5 m/s sont classées comme calmes et ne sont donc assignées à aucune direction du vent.

Sur les figures 3.4-1 à 3.4-6 sont représentées, sous forme de roses des vents, les fréquences des directions du vent mesurées sur le site. Les tableaux 3.4-2 et 3.4-3 contiennent les fréquences des directions du vent. Il s'agit des moyennes de valeurs annuelles ainsi que des moyennes du semestre d'été (16 avril au 15 octobre) et du semestre d'hiver (16 octobre au 15 avril) sur une période de 21 ans (1988 - 2008).

Tableau 3.4-2 Fréquence moyenne de la direction du vent à une hauteur de 10 m, de janvier 1988 à décembre 2008, toute l'année, semestre d'été et semestre d'hiver

Hauteur de mesure 10 m	Fréquence en %		
Secteur	Toute l'année	Semestre d'été	Semestre d'hiver
0°	0.9	1.3	0.5
30°	3.3	4.1	2.5
60°	13.0	12.1	14.0
90°	8.2	7.7	8.7
120°	8.2	9.1	7.3
150°	3.0	2.8	3.1
180°	2.5	2.1	3.0
210°	6.8	4.5	9.1
240°	20.2	15.6	24.9
270°	9.6	10.3	8.9
300°	5.6	7.8	3.3
330°	1.3	2.0	0.5
Calmes (< 0.5 m/s)	17.4	20.6	14.2

Tableau 3.4-3 Fréquence moyenne de la direction du vent à une hauteur de 110 m, de janvier 1988 à décembre 2008, toute l'année, semestre d'été et semestre d'hiver

Hauteur de mesure 110 m	Fréquence en %		
Secteur	Toute l'année	Semestre d'été	Semestre d'hiver
0°	1.7	2.1	1.3
30°	4.7	6.1	3.3
60°	20.2	20.2	20.0
90°	6.4	5.9	7.0
120°	1.9	1.9	1.9
150°	1.1	1.1	1.1
180°	1.3	1.1	1.5
210°	3.8	3.6	4.0
240°	26.9	21.2	32.6
270°	15.1	15.1	15.1
300°	6.8	8.7	4.9
330°	3.7	5.5	1.9
Calmes (< 0.5 m/s)	6.4	7.5	5.4

L'influence du tracé de la vallée sur la distribution est constatée par la présence des vents dominants sur l'axe Ouest-Sud-Ouest - Est-Nord-Est (240°-60°) à 10 m et 110 m de hauteur.

De plus, on note l'influence occasionnelle de courants d'air d'origine locale ou régionale, qui entraînent un accroissement de courants d'air divergents de la direction principale du vent. Il est observé une influence de ces systèmes de vents autonomes de manière renforcée pendant le semestre d'été, à une hauteur de 10 m et de 110 m.

À une hauteur de 10 m, d'autres facteurs influencent la distribution des fréquences de la direction du vent. Il s'agit de la turbulence renforcée par l'urbanisation et la végétation ou d'autres influences aérodynamiques qui provoquent des déviations de la direction principale du vent. De même, des courants d'air spéciaux proches du sol peuvent se manifester localement, par exemple dans des vallées transversales, à peine perceptibles à une hauteur de 110 m.

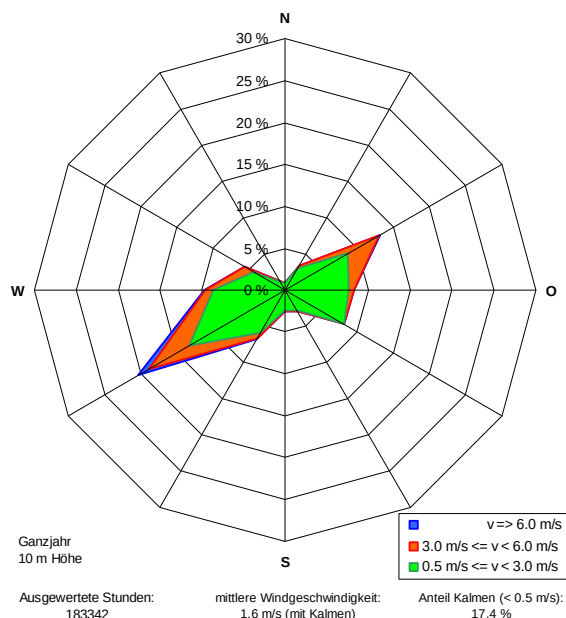


Figure 3.4-1
Site CNN, rose des vents, hauteur 10 m,
période de mesure janvier 1988 - décembre 2008,
toute l'année

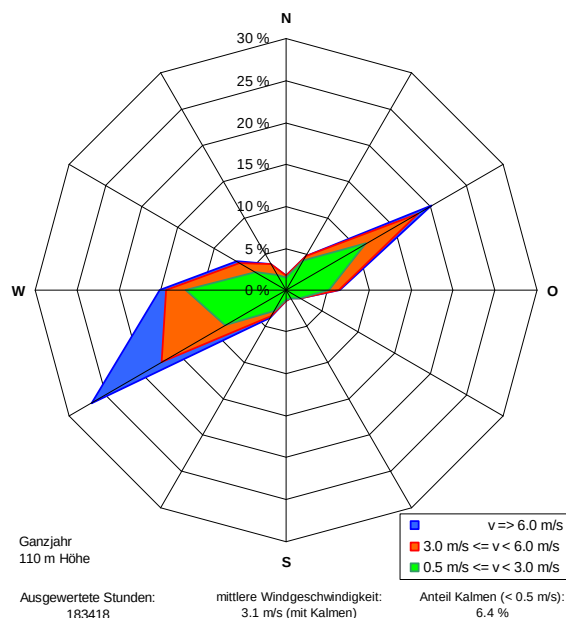


Figure 3.4-2
Site CNN, rose des vents, hauteur 110 m,
période de mesure janvier 1988 - décembre 2008,
toute l'année

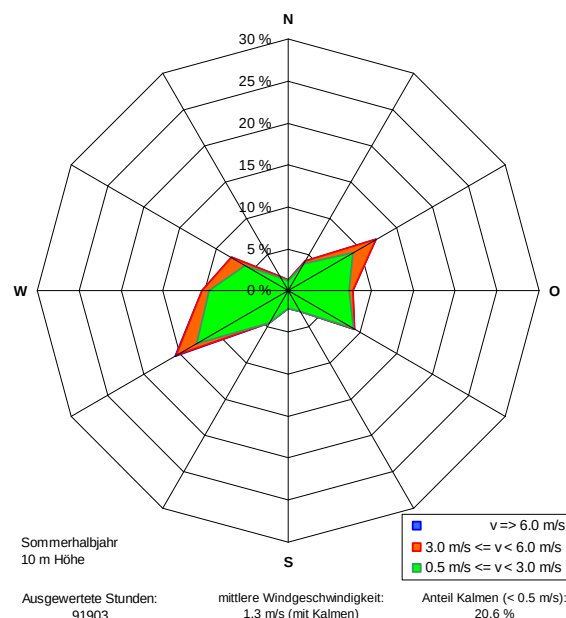


Figure 3.4-3
Site CNN, rose des vents, hauteur 10 m,
période de mesure janvier 1988 - décembre 2008,
semestre d'été

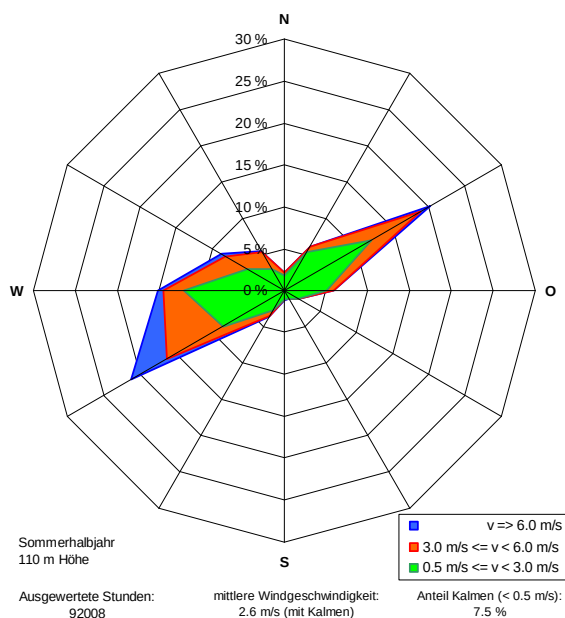


Figure 3.4-4
Site CNN, rose des vents, hauteur 110 m,
période de mesure janvier 1988 - décembre 2008,
semestre d'été

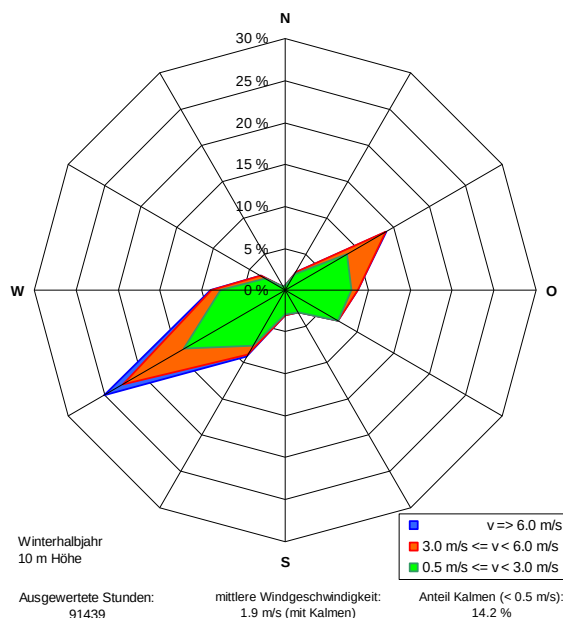


Figure 3.4-5
Site CNN, rose des vents, hauteur 10 m, période de mesure janvier 1988 - décembre 2008, semestre d'hiver

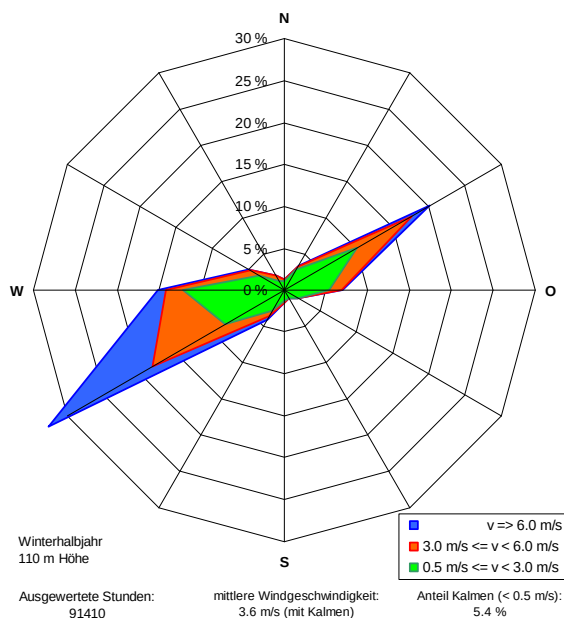


Figure 3.4-6
Site CNN, rose des vents, hauteur 110 m, période de mesure janvier 1988 - décembre 2008, semestre d'hiver

3.4.4.2 Vitesse du vent

Le tableau 3.4-4 présente les moyennes annuelles de la vitesse du vent avec et sans calmes ainsi que la fréquence des calmes chaque année et les valeurs moyennes pendant la période de janvier 1988 à décembre 2008. Du fait de la position de la station de mesure dans la vallée, les vitesses du vent sont relativement faibles et la fréquence des calmes relativement élevée par rapport aux stations situées en plaine.

Tableau 3.4-4 Moyennes annuelles de la vitesse du vent (u) et fréquence des calmes (C ; $u < 0.5$ m/s) pendant la période de janvier 1988 à décembre 2008, à 10 m et 110 m de hauteur

Hauteur de mesure	10 m			110 m		
	u avec des calmes (m/s)	u sans calmes (m/s)	C (%)	u avec des calmes (m/s)	u sans calmes (m/s)	C (%)
1988	1.7	2.0	16.8	3.2	3.4	7.4
1989	1.5	1.8	17.5	2.8	3.0	5.6
1990	1.6	1.9	17.7	3.1	3.3	6.5
1991	1.5	1.8	19.0	2.9	3.0	6.4
1992	1.7	1.9	15.1	3.1	3.3	5.3
1993	1.7	2.0	14.6	3.2	3.4	5.3
1994	1.6	1.9	16.1	3.1	3.3	6.7
1995	1.7	2.0	16.9	3.2	3.4	7.6
1996	1.6	1.8	16.3	2.8	3.0	7.0
1997	1.6	1.8	17.5	3.0	3.1	6.7
1998	1.6	1.9	17.3	3.1	3.3	8.1
1999	1.7	1.9	15.8	3.3	3.4	5.2
2000	1.5	1.7	16.3	2.9	3.1	7.8
2001	1.7	1.9	17.0	3.3	3.5	7.8
2002	1.6	1.9	17.4	3.3	3.5	7.4
2003	1.5	1.8	20.3	2.9	3.1	6.7
2004	1.6	1.9	18.7	3.0	3.2	5.0
2005	1.5	1.8	20.6	2.8	3.0	6.2
2006	1.5	1.8	17.9	3.0	3.2	5.4
2007	1.7	2.0	18.0	3.4	3.6	5.0
2008	1.6	1.8	18.8	3.1	3.2	5.7
Période totale	1.6	1.9	17.4	3.1	3.3	6.4

La position de la station de mesure dans la vallée est en particulier perceptible dans les résultats des mesures à une hauteur de 10 m. La proportion des calmes s'élève ici à 17.4 % dans la moyenne annuelle (20.6 % durant le semestre d'été et 14.2 % durant le semestre d'hiver). En revanche, la proportion des vitesses du vent supérieures à 6 m/s est seulement de 2 %. À une hauteur de 110 m, la fréquence des calmes est de 6.4 % et donc nettement plus faible, même si elle est encore relativement haute en comparaison avec les valeurs enregistrées sur des stations de mesure installées en plaine en Europe Centrale.

La fréquence cumulée de la vitesse du vent à 10 m et 110 m de hauteur est représentée sur la figure 3.4-7. À une hauteur de 10 m, environ 70% des vitesses du vent observées sont ≤ 2 m/s et 96% ≤ 5 m/s. A une hauteur de 110 m, 81 % des vitesses du vent enregistrées sont ≤ 5 m/s et 96 % en-dessous de 10 m/s.

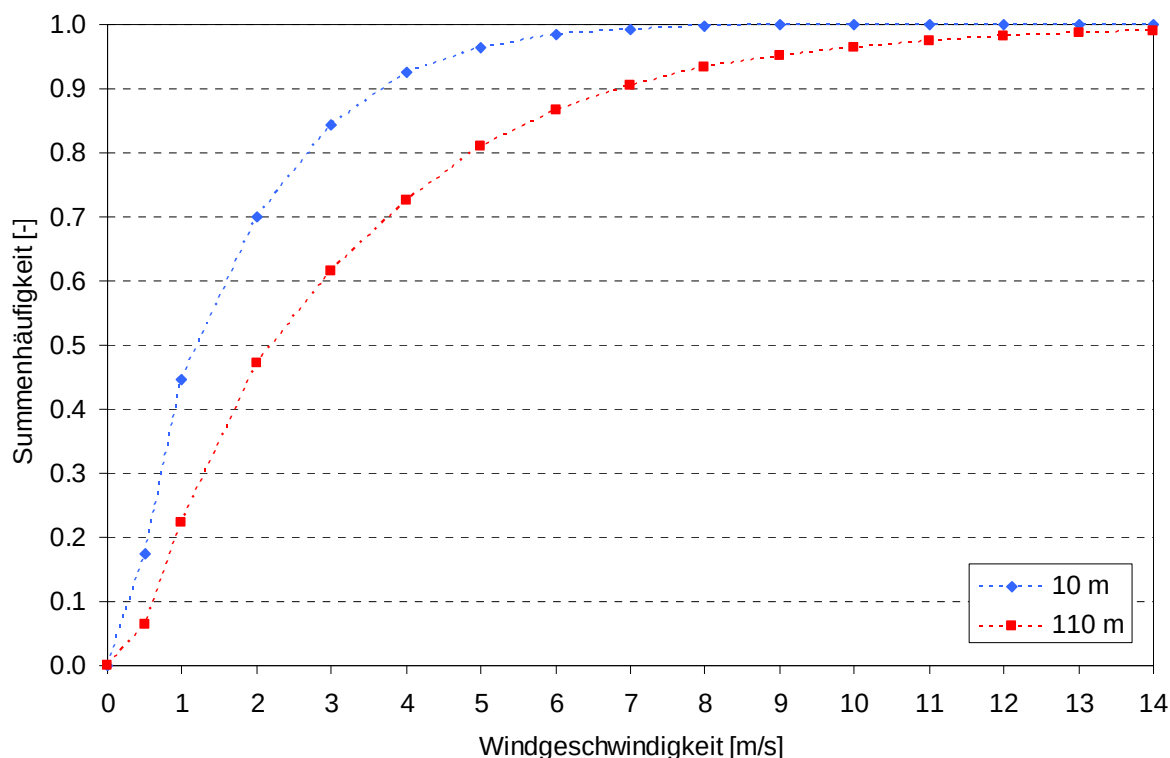


Figure 3.4-7 Fréquence cumulée de la vitesse du vent à une hauteur 10 m et de 110 m, période de mesure janvier 1988 - décembre 2008

Les moyennes horaires maximales de la vitesse du vent étaient de 13.4 m/s (48 km/h) à une hauteur de 10 m et de 22.9 m/s (82 km/h) à une hauteur de 110 m.

3.4.5 Catégories de diffusion

Pour la représentation de la situation de propagation, l'état de stabilité de la couche d'air pertinente pour la propagation est réparti en classes à l'aide de catégories de diffusion. En relation avec les paramètres de propagation valables pour chaque catégorie de diffusion et sur la base d'un modèle de Gauss, des calculs de propagation peuvent être effectués, par exemple comme partie de l'opération de détermination de l'exposition potentielle aux rayonnements ionisants (AVV 2005, HSK 2008a).

L'état de stabilité atmosphérique est subdivisé en six catégories de diffusion indiquées au tableau 3.4-5, les désignations servant à expliciter les caractéristiques de la stratification atmosphérique (AVV 2005).

Tableau 3.4-5 Catégories de diffusion (catégories de temps selon la directive HSK-G14, HSK 2008a)

Cat. de diff.	A	B	C	D	E	F
Désignation	très instable	instable	légèrement instable	neutre	stable	très stable

Du point de vue de la propagation des substances dans l'air, l'instabilité de la stratification atmosphérique signifie un mélange vertical et horizontal intensif, alors que la stabilité restreint quant à elle le mélange pour l'essentiel à la direction horizontale.

L'état de stabilité est déterminé à partir de la mesure de la vitesse du vent et de la détermination des gradients de température dans l'atmosphère inférieure. Sur la base des données disponibles sur le site, la catégorie de diffusion est déterminée à partir de la vitesse moyenne du vent à une hauteur de 10 m et du gradient de température entre 10 m et 110 m de hauteur. Le schéma de détermination indiqué dans le tableau 3.4-6 et tiré de la règle allemande KTA 1508 (KTA 2006) constitue la base du calcul.

Le tableau 3.4-7 présente les fréquences moyennes ainsi que les fréquences minimales et maximales des catégories de diffusion au cours de la période de mesure de 1989 à 2008, et ce respectivement, sur l'année entière, le semestre d'été et le semestre d'hiver conformément à la directive HSK-G14 (HSK 2008a).

Les distributions de fréquences correspondent à peu près aux conditions à l'intérieur des pays de l'Europe centrale. La proportion relativement élevée de la catégorie de diffusion D, qui est liée essentiellement au "temps de l'ouest" fréquent en Europe centrale, est typique. Le "temps de l'ouest" est plus fréquent pendant le semestre d'hiver (fréquence de D: 52.3 %) que pendant le semestre d'été (fréquence de D: 35.7 %). Les catégories de diffusion stables E et F se forment surtout pendant les heures après le coucher du soleil et par ciel clair, à l'exception des périodes de haute pression. Elles disparaissent seulement dans les heures matinales et la matinée, lorsque le rayonnement solaire et le réchauffement du sol augmentent. Le site est caractérisé par le fait que manifestement les catégories de diffusion stables E et F apparaissent plus fréquemment pendant le semestre d'été que pendant le semestre d'hiver.

Parmi les catégories de diffusion instables, la catégorie de diffusion A se manifeste uniquement pendant les heures autour de midi, et ce, en cas de rayonnement solaire intense ; elle est naturellement plus fréquente durant le semestre d'été que le semestre d'hiver.

Tableau 3.4-6 Détermination de la catégorie de diffusion à partir des gradients de température dT/dz et de la vitesse du vent à une hauteur de 10 m au-dessus du niveau de perturbation u_{10} selon la règle KTA 1508 (KTA 2006)

Limite de catégorie	A/B	B/C	C/D	D/E	E/F
u_{10} en m/s	dT/dz en K/100 m				
0.0 ... 0.9	-1.13	-1.03	-0.91	-0.37	+0.78
1.0 ... 1.9	-1.18	-1.05	-0.91	-0.22	+1.12
2.0 ... 2.9	-1.39	-1.18	-0.97	-0.16	+1.25
3.0 ... 3.9	-1.61	-1.33	-1.00	-0.10	+1.32
4.0 ... 4.9	-1.82	-1.48	-1.04	-0.04	+1.39
5.0 ... 5.9	--	-1.62	-1.08	+0.02	+1.46
6.0 ... 6.9	--	-1.77	-1.16	+0.08	--
7.0 ... 7.9	--	--	-1.25	--	--
8.0 ... 9.9	--	--	-1.40	--	--
dès 10.0	Toutes les valeurs catégorie D				

Tableau 3.4-7 Fréquence moyenne, minimale et maximale des catégories de diffusion, toute l'année, semestre d'été et semestre d'hiver, de janvier 1989 à décembre 2008

Cat. de diff.	Fréquence en %								
	Toute l'année			Semestre d'été			Semestre d'hiver		
	Moyenne	min	max	Moyenne	min	max	Moyenne	min	max
A	4.4	2.0	7.0	6.6	2.5	11.2	2.3	0.3	4.8
B	6.0	3.9	8.1	8.1	4.4	10.7	3.9	1.3	6.6
C	15.8	11.8	21.2	15.6	11.6	18.9	16.0	6.7	24.5
D	44.1	36.8	49.8	35.7	28.3	42.4	52.3	41.9	64.0
E	14.8	13.1	16.6	15.5	13.2	18.1	14.2	11.3	17.1
F	14.9	11.5	19.5	18.5	15.3	24.1	11.3	6.7	15.2

Sur les figures 3.4-8 à 3.4-19 sont représentées les fréquences de la direction du vent (roses des vents) en rapport avec les différentes catégories de diffusion, pour une direction du vent à 10 m et 110 m de hauteur.

Pour les catégories de diffusion A, B et D (figures 3.4-8 à 3.4-11, figure 3.4-14 et figure 3.4-15), on note la présence de vents d'Ouest-Sud-Ouest (temps d'Ouest) dus au tracé de la vallée, tandis qu'on observe surtout la direction du vent Est-Nord-Est pour la catégorie de diffusion C (figure 3.4-12 et figure 3.4-13). Les roses des vents des catégories de diffusion B et C présentent des indications claires sur l'existence de systèmes de vent autochtones aux directions du vent (Ouest-) Nord-Ouest (figure 3.4-10 à figure 3.4-13).

Pour les catégories de diffusion A à D, les roses des vents à 10 m et 110 m de hauteur sont similaires. En particulier pour les catégories de diffusion instables A et B et la catégorie de diffusion neutre C, les fréquences des calmes à 10 m et 110 m de hauteur sont à peu près égales.

Par contre, les fréquences des directions du vent sont nettement différentes pour les catégories de diffusion stables E (figure 3.4-16 et figure 3.4-17) et F (figure 3.4-18 et figure 3.4-19) à 10 m et 110 m de hauteur. On observe à proximité du sol des courants d'air tout à fait différents de ceux enregistrés en hauteur. Ceci peut être constaté de manière éclatante dans la catégorie de diffusion F qui est très stable. Cette situation est provoquée par le découplage vertical des couches d'air en cas de stratification stable de l'air. Ce découplage est d'autant plus fort, que les conditions atmosphériques sont plus stables, ce qui peut conduire à des cisaillements de vent marqués.

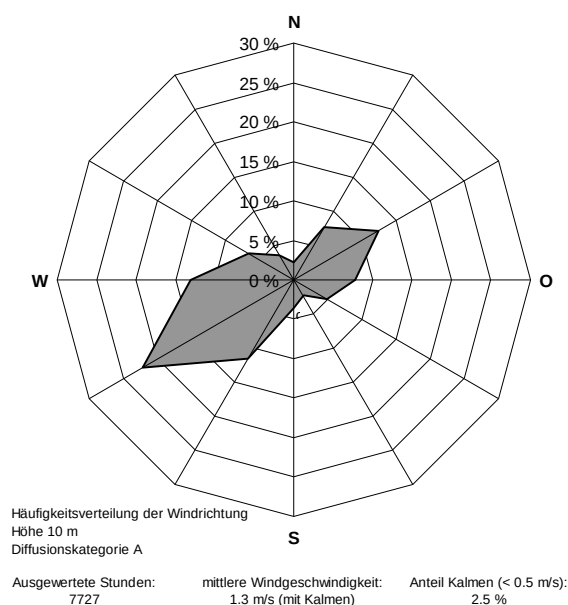


Figure 3.4-8
Site CNN, rose des vents, hauteur 10 m,
période de mesure janvier 1989 - décembre 2008,
catégorie de diffusion A

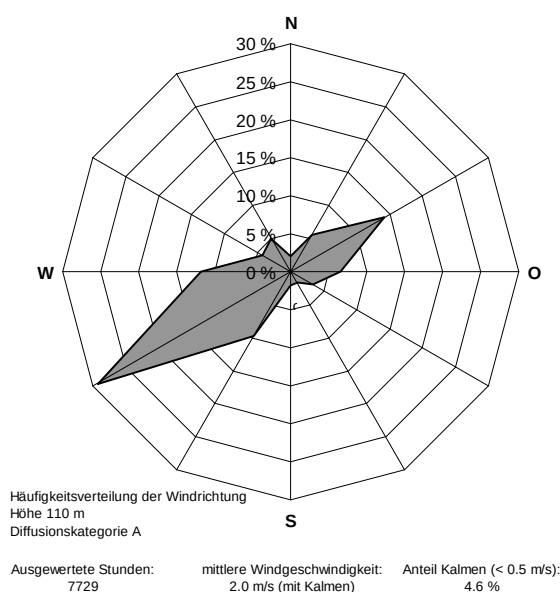


Figure 3.4-9
Site CNN, rose des vents, hauteur 110 m,
période de mesure janvier 1989 - décembre 2008,
catégorie de diffusion A

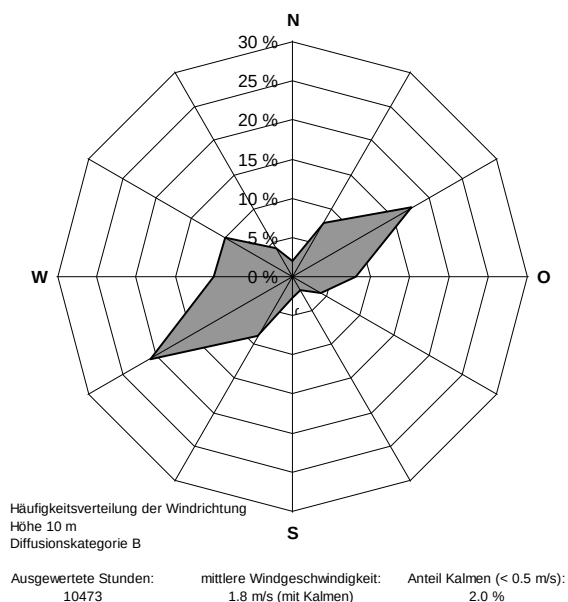


Figure 3.4-10
Site CNN, rose des vents, hauteur 10 m,
période de mesure janvier 1989 - décembre 2008,
catégorie de diffusion B

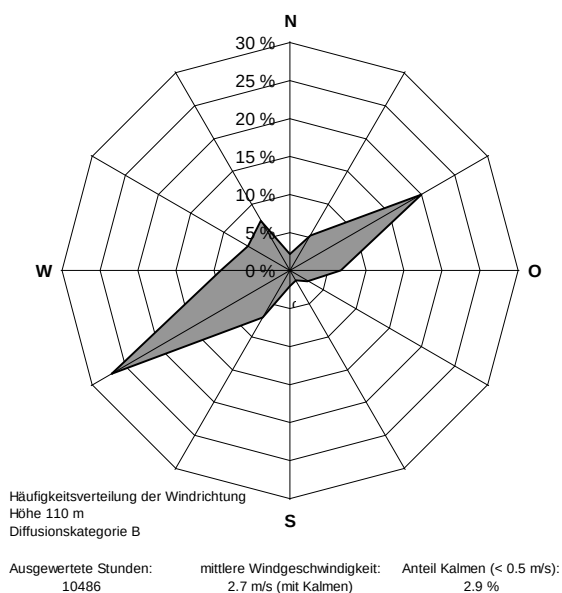


Figure 3.4-11
Site CNN, rose des vents, hauteur 110 m,
période de mesure janvier 1989 - décembre 2008,
catégorie de diffusion B

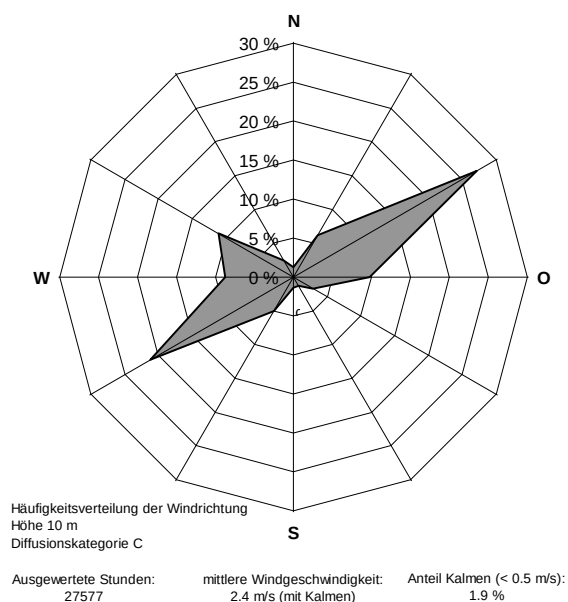


Figure 3.4-12
Site CNN, rose des vents, hauteur 10 m,
période de mesure janvier 1989 - décembre 2008,
catégorie de diffusion C

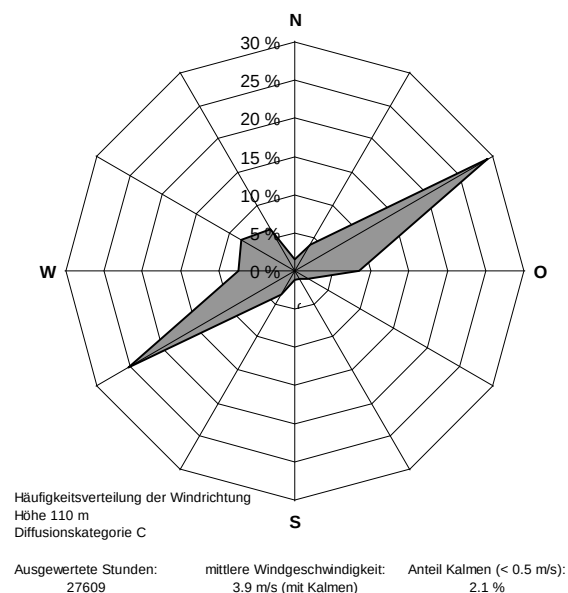


Figure 3.4-13
Site CNN, rose des vents, hauteur 110 m,
période de mesure janvier 1989 - décembre 2008,
catégorie de diffusion C

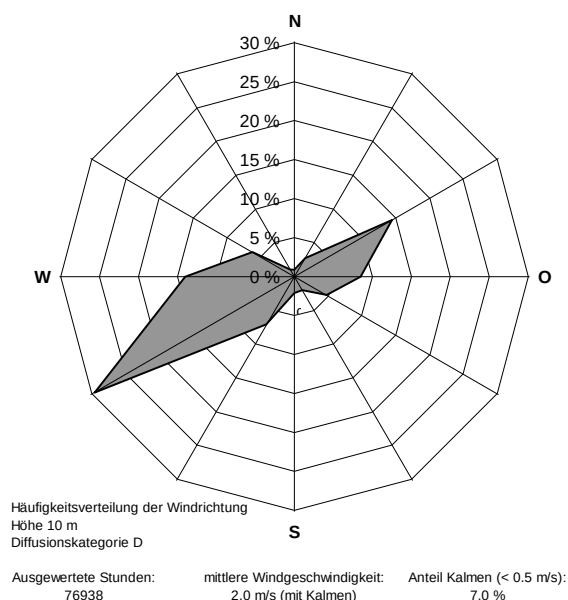


Figure 3.4-14
Site CNN, rose des vents, hauteur 10 m,
période de mesure janvier 1989 - décembre 2008,
catégorie de diffusion D

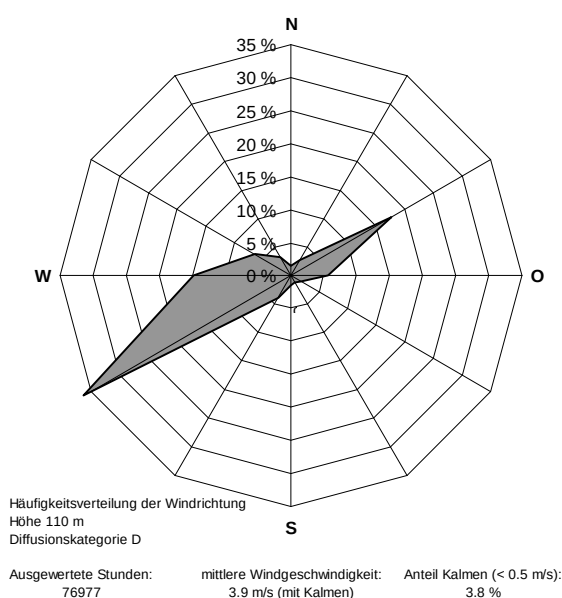


Figure 3.4-15
Site CNN, rose des vents, hauteur 110 m,
période de mesure janvier 1989 - décembre 2008,
catégorie de diffusion D

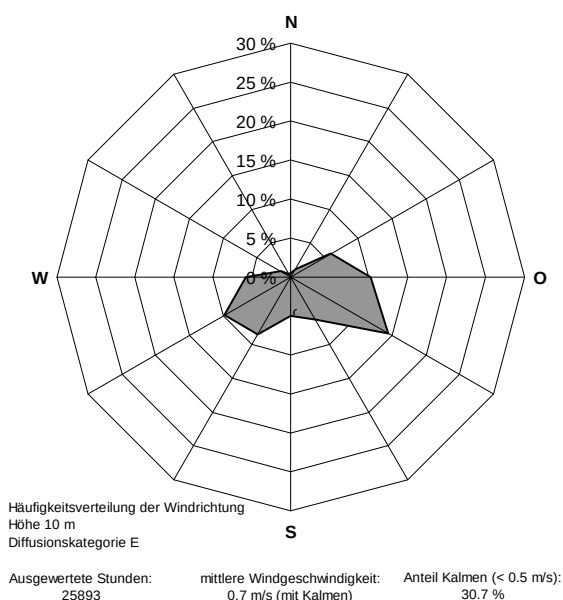


Figure 3.4-16
Site CNN, rose des vents, hauteur 10 m, période
de mesure janvier 1989 - décembre 2008,
catégorie de diffusion E

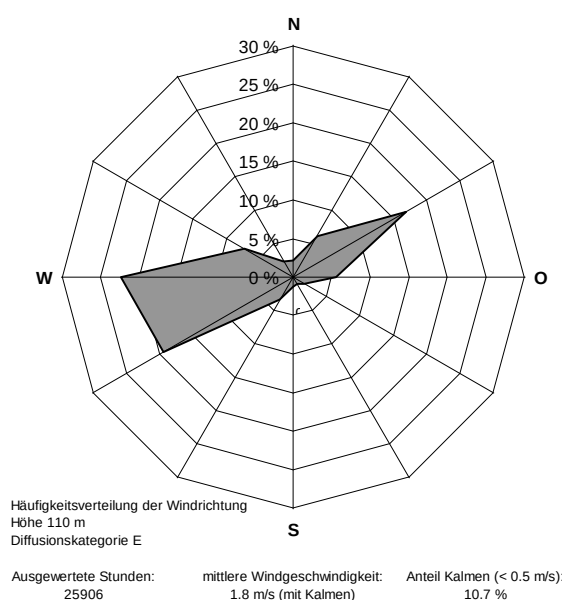


Figure 3.4-17
Site CNN, rose des vents, hauteur 110 m, période
de mesure janvier 1989 - décembre 2008,
catégorie de diffusion E

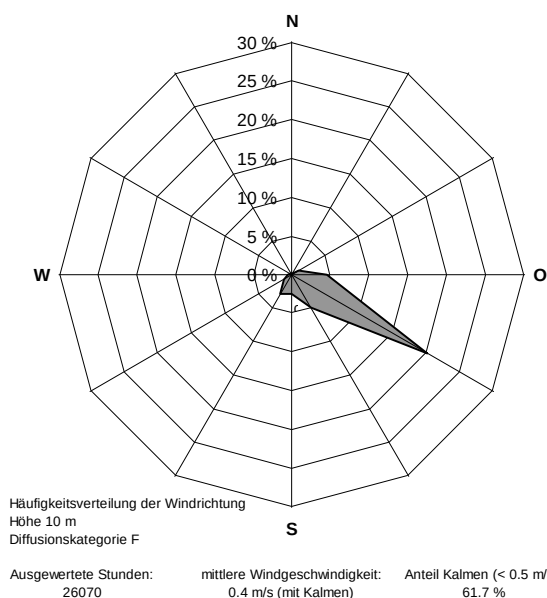


Figure 3.4-18
Site CNN, rose des vents, hauteur 10 m, période de mesure janvier 1989 - décembre 2008, catégorie de diffusion F

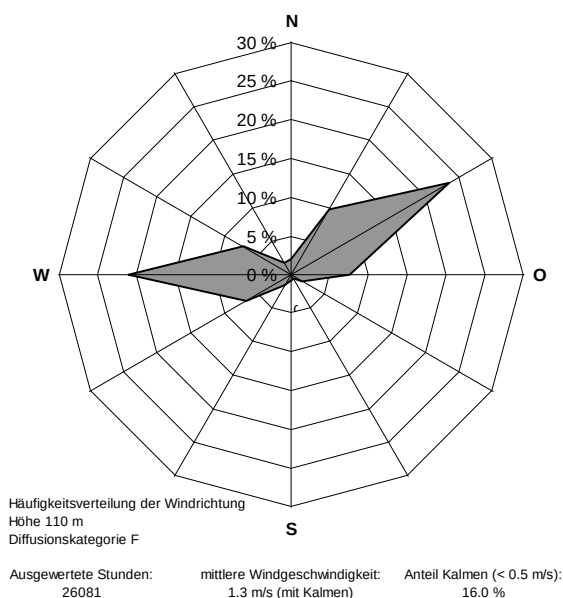


Figure 3.4-19
Site CNN, rose des vents, hauteur 110 m, période de mesure janvier 1989 - décembre 2008, catégorie de diffusion F

3.4.6 Statistiques de propagation à deux paramètres

Des statistiques de propagation à deux paramètres ont été élaborées sur la base des catégories de diffusion et des directions du vent à une hauteur de 110 m. Les fréquences ont été calculées en pourcent sur une année entière et sur le semestre d'été pour chaque secteur à 30° (direction du vent) ainsi que pour chaque catégorie de diffusion. En outre, la vitesse moyenne du vent à une hauteur de 110 m pour chaque secteur et chaque catégorie de diffusion est indiquée dans les tableaux. Le tableau 3.4-8 et le tableau 3.4-9 récapitulent les conditions de propagation existantes sur le site dans la moyenne annuelle et pour le semestre d'été. Ces deux périodes sont importantes pour le calcul de l'exposition potentielle aux rayonnements ionisants sur une longue durée en raison des émissions pendant l'exploitation conforme de l'installation.

Les statistiques de propagation à quatre paramètres sont également utilisées. Les moyennes horaires des mesures du vent (direction du vent, vitesse du vent) et celles des catégories de diffusion calculées à partir de ces mesures de vent ainsi que les valeurs des précipitations sont intégrées comme statistiques de propagation à quatre paramètres dans la détermination de l'exposition aux rayonnements ionisants durant l'exploitation conforme de l'installation selon la directive HSK-G14 (HSK 2008a). Elles influencent ainsi non seulement la détermination des limites de rejet pour le respect des valeurs indicatives de doses par source lors de la procédure d'autorisation à exploiter, mais aussi la détermination de l'exposition aux rayonnements ionisants pendant l'exploitation de l'installation, par prise en compte des rejets substances radioactives, effectivement mesurés.

Une statistique de propagation à quatre paramètres qui décrit le comportement de propagation en fonction de la direction du vent, de la vitesse du vent, de la catégorie de diffusion et de l'intensité des précipitations est documentée dans le rapport AF-Colenco (2009g).

Tableau 3.4-8 *Statistiques de propagation à deux paramètres (direction du vent, catégorie de diffusion), toute l'année, distribution de la direction du vent et vitesse moyenne du vent à une hauteur de 110 m, période de la base de données de janvier 1989 à décembre 2008*

Cat. de diff. Secteur	Fréquence en %						Toutes cat. de diff.	Vitesse moyenne du vent (m/s)
	A	B	C	D	E	F		
0°	0.09	0.13	0.24	0.63	0.32	0.30	1.7	1.3
30°	0.25	0.31	0.63	1.19	0.91	1.44	4.7	1.5
60°	0.63	1.20	4.60	7.76	2.51	3.51	20.2	3.0
90°	0.29	0.40	1.33	2.48	0.82	1.12	6.4	1.8
120°	0.14	0.16	0.31	0.79	0.24	0.25	1.9	1.0
150°	0.07	0.09	0.18	0.51	0.15	0.10	1.1	1.3
180°	0.08	0.12	0.18	0.65	0.18	0.12	1.3	1.1
210°	0.43	0.43	0.56	1.69	0.50	0.23	3.8	2.1
240°	1.30	1.61	3.98	16.01	2.86	0.99	26.8	5.2
270°	0.52	0.55	1.16	6.49	3.31	3.13	15.2	2.1
300°	0.20	0.38	1.28	2.80	1.09	1.06	6.8	2.5
330°	0.22	0.45	1.01	1.40	0.35	0.26	3.7	2.7
Calmes (u < 0.5 m/s)	0.20	0.17	0.32	1.67	1.59	2.39	6.4	
Part (%)	4.4	6.0	15.8	44.1	14.8	14.9	100.0	
Vitesse moyenne du vent (m/s)	2.0	2.7	3.9	3.9	1.8	1.3	3.1	

Tableau 3.4-9 *Statistiques de propagation à deux paramètres (direction du vent, catégorie de diffusion), semestre d'été, distribution de la direction du vent et vitesse moyenne du vent à une hauteur de 110 m, période de la base de données janvier 1988 à décembre 2008*

diff. Cat. de Secteur	Fréquence en %						Toutes cat. de diff.	Vitesse moyenne du vent (m/s)
	A	B	C	D	E	F		
0°	0.14	0.21	0.31	0.66	0.40	0.44	2.2	1.2
30°	0.43	0.50	0.82	1.29	1.08	2.01	6.1	1.5
60°	1.02	1.84	4.24	5.72	2.59	4.66	20.1	2.8
90°	0.45	0.53	0.91	1.71	0.84	1.44	5.9	1.5
120°	0.23	0.18	0.22	0.69	0.27	0.33	1.9	1.0
150°	0.11	0.09	0.11	0.47	0.18	0.13	1.1	1.1
180°	0.11	0.11	0.13	0.47	0.19	0.13	1.1	0.8
210°	0.56	0.43	0.47	1.41	0.52	0.26	3.6	1.9
240°	1.77	1.83	3.28	10.70	2.62	0.97	21.2	4.1
270°	0.69	0.70	1.32	5.89	3.31	3.22	15.2	2.0
300°	0.35	0.67	1.91	3.43	1.20	1.19	8.7	2.7
330°	0.41	0.78	1.55	1.81	0.50	0.40	5.4	2.8
Calmes (u < 0.5 m/s)	0.31	0.25	0.35	1.49	1.74	3.32	7.5	
Part (%)	6.6	8.1	15.6	35.7	15.5	18.5	100.0	
Vitesse moyenne du vent (m/s)	2.0	2.8	3.7	3.1	1.7	1.2	2.6	

3.4.7 Précipitations

Le tableau 3.4-10 présente les précipitations mensuelles moyennes pendant la période de janvier 1989 à décembre 2008 sur le site ainsi qu'à titre de comparaison, celles enregistrées pendant la même période sur la station de Buchs/Aarau.

Tableau 3.4-10 Moyennes mensuelles des précipitations et moyenne annuelle, de janvier 1989 à décembre 2008, sur le site de la CNN et à la station de Buchs/Aarau

Mois	Précipitations moyennes en mm	
	Site de la CNN	Buchs / Aarau
Janvier	63	62
Février	67	67
Mars	71	73
Avril	83	82
Mai	94	107
Juin	96	109
Juillet	104	108
Août	111	106
Septembre	81	85
Octobre	84	84
Novembre	72	76
Décembre	79	84
Total	1'005	1'043

Sur la 3.4-20 l'évolution annuelle des moyennes mensuelles des précipitations sur la période 1989 à 2008 est représentée graphiquement, pour illustrer les fluctuations saisonnières. On reconnaît clairement que l'évolution annuelle est très similaire sur les deux stations, si on exclut les mois de mai à juin, durant lesquels plus de précipitations sont tombées sur la station de Buchs/Aarau que sur le site de la CNN. La différence de ces mois se reflète dans le total annuel.

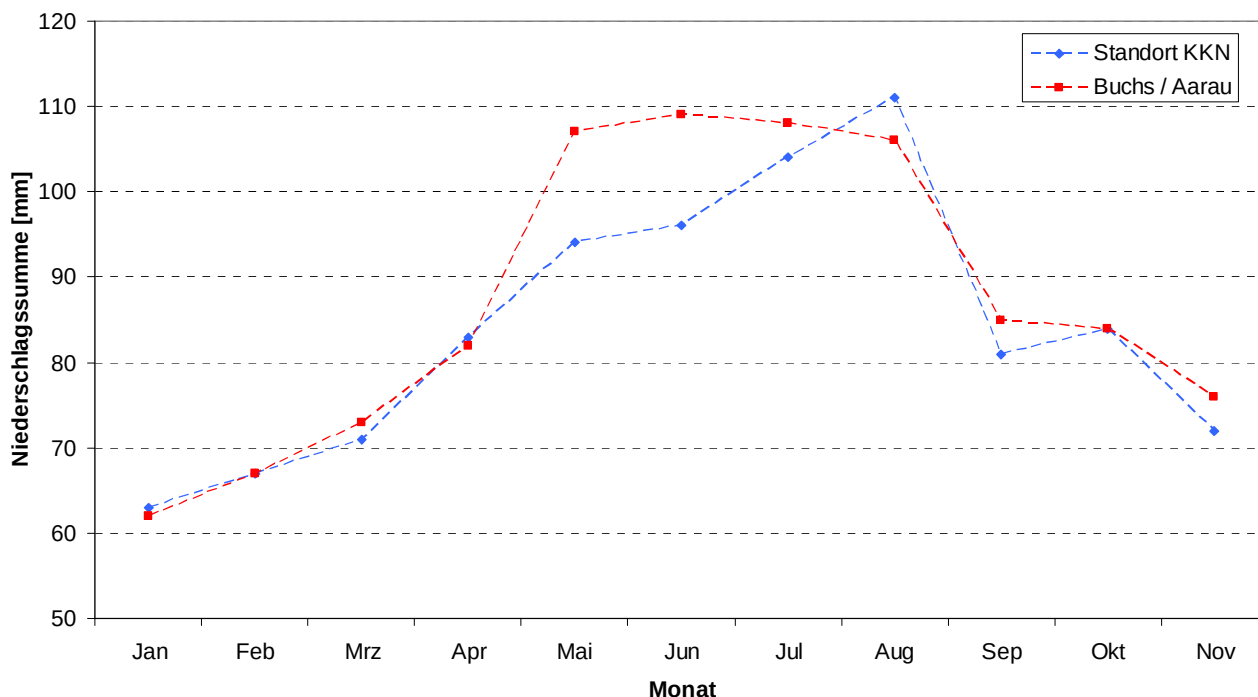


Figure 3.4-20 Site CNN et station de Buchs / Aarau, somme des précipitations dans la moyenne mensuelle des différents mois (période de mesure janvier 1989 - décembre 2008)

Les figures 3.4-21 à 3.4-23 contiennent les roses des vents des précipitations pour les mesures de vent à une hauteur de 110 m en moyenne annuelle ainsi qu'en moyenne sur les semestres d'été et d'hiver. Les roses des vents des précipitations montrent la distribution relative de fréquences des moyennes horaires de la direction du vent en secteurs de 30° chacun et de la vitesse du vent dans trois catégories de vitesse pour les heures comportant des précipitations. Le tableau 3.4-11 en présente les valeurs numériques correspondantes. Le tableau 3.4-12 contient la distribution moyenne de fréquences des classes d'intensité des précipitations sur les secteurs de direction du vent. La répartition en classes utilisée pour l'intensité des précipitations correspond à la règle KTA 1508 (KTA 2006).

Le secteur de direction du vent 240° (Ouest-Sud-Ouest) est prédominant pour les événements de précipitations. En deuxième position - avec une amplification en été - on trouve le secteur de direction du vent 270° (Ouest). Les intensités de précipitations plus élevées, en particulier supérieures à 3 mm/h, sont surtout observées dans les directions de vent d'Ouest-Sud-Ouest.

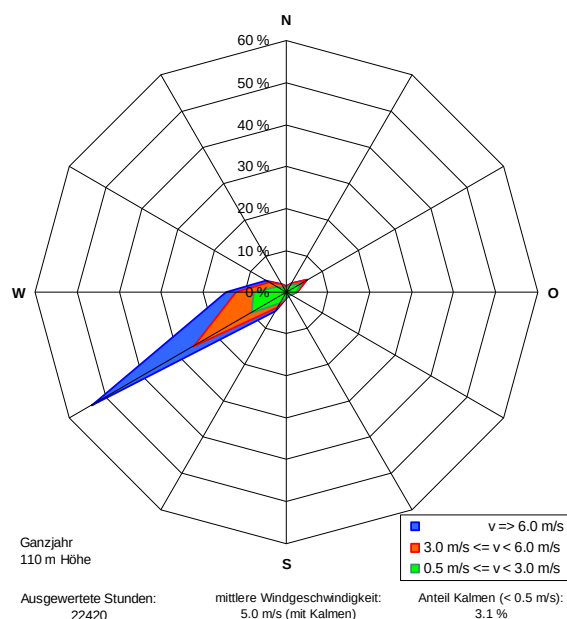


Figure 3.4-21 Site CNN, rose des vents des précipitations, hauteur de référence 110 m, période de mesure de janvier 1989 à décembre 2008, toute l'année

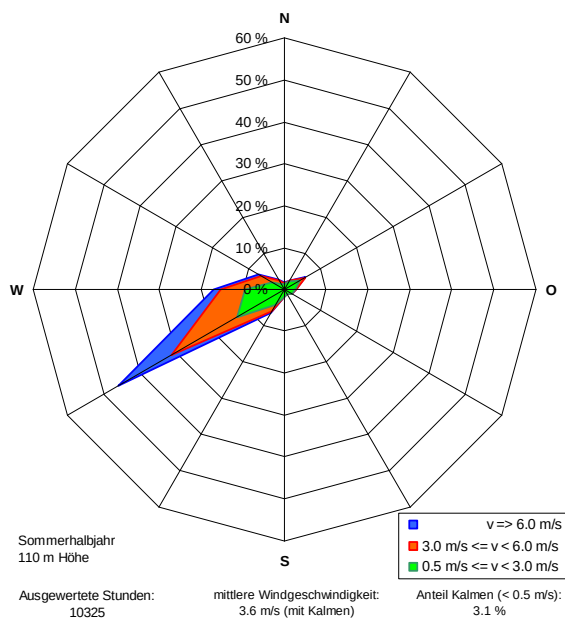


Figure 3.4-22 Site CNN, rose des vents des précipitations, hauteur de référence 110 m, période de mesure janvier 1989 - décembre 2008, semestre d'été

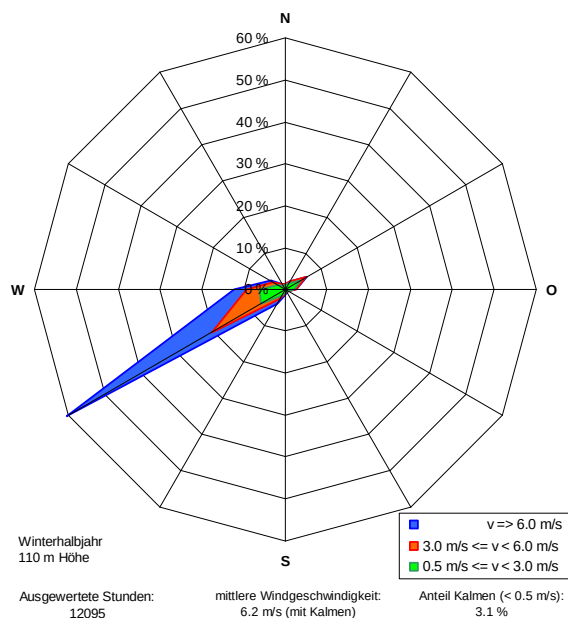


Figure 3.4-23 Site CNN, rose des vents des précipitations, hauteur de référence 110 m, période de mesure janvier 1989 - décembre 2008, semestre d'hiver

Tableau 3.4-11 Roses des vents des précipitations en moyenne annuelle, en moyenne du semestre d'été et du semestre d'hiver, hauteur de référence 110 m, période de janvier 1989 à décembre 2008

Secteur	Fréquence en % sur l'année	Fréquence en % sur le semestre d'été	Fréquence en % sur le semestre d'hiver
0°	1.5	1.6	1.4
30°	2.3	2.6	2.1
60°	5.9	5.7	6.0
90°	2.6	2.8	2.5
120°	1.4	1.9	0.9
150°	1.0	1.3	0.7
180°	1.6	1.8	1.4
210°	5.0	6.4	3.9
240°	53.7	45.9	60.3
270°	14.3	16.9	12.1
300°	5.5	7.3	4.0
330°	2.1	2.7	1.6
Calmes (< 0.5 m/s)	3.1	3.1	3.1
Total	100.0	100.0	100.0

Tableau 3.4-12 *Distribution moyenne de fréquences des heures sans précipitation et des autres classes de précipitations dans les secteurs de direction du vent, hauteur de référence 110 m, période de janvier 1989 à décembre 2008*

Secteur	Fréquence moyenne de la classe d'intensité en %				Total en %	
	0 mm/h (heures dans précipitation)	0.1 - 0.5 mm/h	0.6 - 3.0 mm/h	> 3.0 mm/h	Au total	heures avec des précipitations
0°	1.51	0.10	0.07	0.02	1.70	0.19
30°	4.43	0.19	0.10	0.01	4.72	0.30
60°	19.44	0.50	0.24	0.02	20.20	0.75
90°	6.11	0.20	0.12	0.02	6.45	0.34
120°	1.72	0.11	0.06	0.01	1.89	0.17
150°	0.97	0.07	0.05	0.01	1.10	0.13
180°	1.14	0.11	0.08	0.01	1.34	0.20
210°	3.20	0.35	0.26	0.04	3.84	0.65
240°	19.82	3.76	2.79	0.31	26.71	6.88
270°	13.34	1.00	0.70	0.14	15.17	1.84
300°	6.11	0.39	0.25	0.06	6.82	0.70
330°	3.43	0.15	0.10	0.01	3.69	0.27
Calmes (< 0.5 m/s)	5.97	0.26	0.13	0.01	6.37	0.39
Total	87.19	7.19	4.95	0.68	100.00	12.81

3.4.8 Température de l'air

Le tableau 3.4-13 présente respectivement les moyennes mensuelles ainsi que les minima et maxima mensuels absolus des moyennes horaires des températures de l'air à 10 m, 60 m et 110 m de hauteur. À une hauteur de 10 m, la moyenne horaire la plus élevée s'élevait à 36.0 °C en août 2003 et la moyenne horaire la plus faible à -15.4 °C en mars 2005.

Tableau 3.4-13 Températures mensuelles moyennes, minima et maxima absolus des moyennes horaires à 10 m, 60 m et 110 m de hauteur, période de janvier 1988 à décembre 2008

	Température (°C) à								
	10 m			60 m			110 m		
Mois	Moyenne mensuelle	Min. abs.	Max. abs.	Moyenne mensuelle	Min. abs.	Max. abs.	Moyenne mensuelle	Min. abs.	Max. abs.
Janvier	1.4	-12.9	15.2	1.1	-12.9	14.6	0.9	-12.9	14.5
Février	2.3	-13.7	17.7	2.2	-13.6	17.0	2.0	-13.2	16.6
Mars	6.0	-15.4	23.4	6.0	-14.5	23.1	5.8	-14.6	22.5
Avril	9.1	-2.7	26.4	9.1	-2.8	25.8	8.9	-3.1	25.4
Mai	14.1	1.5	30.1	14.0	1.3	29.9	13.8	1.0	29.4
Juin	17.1	3.5	35.3	17.0	3.4	34.3	16.7	3.4	33.9
Juillet	18.9	7.2	34.8	18.8	7.2	34.5	18.6	7.3	33.8
Août	18.4	5.5	36.0	18.4	5.9	35.6	18.3	6.2	35.1
Septembre	14.2	1.9	28.1	14.1	1.4	27.7	14.0	1.1	27.2
Octobre	10.2	-5.2	24.9	10.1	-5.0	24.5	9.9	-5.1	24.1
Novembre	4.7	-8.9	18.1	4.4	-8.9	17.7	4.2	-9.1	17.2
Décembre	1.9	-12.4	15.4	1.7	-11.9	14.9	1.4	-12.3	14.7

3.4.9 Impacts météorologiques exceptionnels et extrêmes

Pour l'évaluation du site de la CNN, les impacts météorologiques inhabituels et extrêmes doivent être analysés. Chaque impact météorologique est décrit respectivement quantifié séparément, et évalué à la fin de chaque chapitre.

3.4.9.1 Méthodologie d'analyse statistique des valeurs extrêmes

L'ordonnance sur les hypothèses de risques et sur l'évaluation de la protection contre les défaillances dans les installations nucléaires (DETEC 2009) spécifie que les risques dont la fréquence d'occurrence est supérieure ou égale à 10^{-4} par an doivent être pris en compte et évalués, pour démontrer que la protection contre les défaillances dues à des causes naturelles est suffisante. Pour déterminer les valeurs correspondantes à cette fréquence d'occurrence, des évaluations statistiques des valeurs extrêmes sur les données météorologiques d'importance pour la conception de l'installation doivent être effectuées dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

Pour l'analyse, la série des maxima annuels est formée à partir de la série de mesures respective, disponible pour le site. Toutes les années comportant des données disponibles sur plus de 10 mois sont analysées. La distribution de Gumbel est ajustée à cette série à l'aide de la méthode du maximum de vraisemblance (Maximum-Likelihood-Method). La validité de l'ajustement est confirmée par un test de Kolmogoroff-Smirnoff dans tous les cas et avec un niveau de test de 90%. De plus, les intervalles de confiance à 90% de la distribution Gumbel obtenue sont déterminés à l'aide du profil de vraisemblance (Profile-Likelihood), et les courbes sont représentées pour chaque impact pris individuellement. A titre d'illustration, les maxima annuels, qui sont à la base de la méthode, ont été ajoutés sous forme de points sur les figures. Les valeurs de fréquence correspondant aux maxima annuels sont déterminées empiriquement à partir de leur rang dans la série des valeurs extrêmes. Cette procédure correspond à une évaluation standard, telle qu'elle est prescrite pour le vent, par exemple, par la directive IFSN-A05 (IFSN 2009a).

3.4.9.2 Vent

Pour les orages violents comme "Vivian" et "Lothar", des vitesses du vent jusqu'à 270 km/h (vitesses des rafales sur le Grand-Saint-Bernard) ont été mesurées dans toute la Suisse. Sur la station de mesure de Gösgen (GOE) par contre, MétéoSuisse a mesuré des vitesses de rafales maximales de 32 m/s (115 km/h) à une hauteur de 10 m. La moyenne maximale mesurée sur 10 minutes à une hauteur de 10 m est de 14 m/s, ce qui équivaut à un vent d'une intensité de 7 sur l'échelle de Beaufort. À une hauteur de 110 m, la moyenne mesurée sur 10 minutes était de 28 m/s, avec une vitesse de rafale maximale de 43 m/s.

Les vitesses maximales des rafales indiquées plus haut se rapportaient à Lothar et représentent aussi les maxima absolus pour la période de février 1987 à décembre 2007, cf. tableau 3.4-14.

Les tornades sont traitées au chapitre 3.4.9.3..

En complément des analyses précédentes, des analyses statistiques des valeurs extrêmes des vitesses de rafales 10 m et 110 m de hauteur ont été établies conformément aux prescriptions de la directive IFSN-A05 (IFSN 2009a).

Pour déterminer la courbe des risques liés aux vents, les valeurs maximales annuelles des vitesses de rafales sur 10 minutes à une hauteur de 10 m et de 110 m pendant la période de 1987 à 2007, au total 21 valeurs, on été utilisées. Les plus longues séries de mesure des vitesses de rafales disponibles en Suisse remontent à l'année 1981. Une telle série existe sur la station voisine de Wynau. Les analyses statistiques des valeurs extrêmes des vitesses de rafales mesurées à une hauteur de 10 m sur cette station sont disponibles (Ceppi 2008). Des analyses statistiques de valeurs extrêmes ont été effectuées avec la même distribution dans MétéoSuisse (2009a) pour le site de la CNN. La forme et les valeurs des distributions de valeurs extrêmes des vitesses de rafales à une hauteur de 10 m obtenues sur les deux stations sont très similaires. Ainsi, dans le cadre de ce rapport, les séries mesurées localement ont été soumises à une analyse statistique des valeurs extrêmes. Le tableau 3.4-14 présente les vitesses de pointe moyennes des rafales pour chaque mois de l'année ainsi que les maxima mensuels respectifs à une hauteur de 10 m et de 110 m. Les figures 3.4-24 et 3.4-25 présentent les courbes de distribution aux deux hauteurs, ainsi que les intervalles de confiance respectifs de 90%, résultant des analyses statistiques des valeurs extrêmes.

Tableau 3.4-14 *Vitesses moyennes mensuelles des rafales et maxima absolus des vitesses de rafales sur 10 minutes à une hauteur de 10 m et de 110 m, période de janvier 1987 à décembre 2007*

Mois	Vitesse des rafales (m/s) à			
	10 m de hauteur		110 m de hauteur	
	Moyenne mensuelle	max. absolu	Moyenne mensuelle	max. absolu
Janvier	4.0	28.7	5.7	36.7
Février	3.9	28.7	5.7	32.0
Mars	3.9	26.7	5.7	36.7
Avril	3.6	22.2	5.1	29.3
Mai	3.3	20.0	4.7	31.1
Juin	3.1	22.8	4.3	29.2
Juillet	3.0	23.0	4.3	29.3
Août	2.6	26.0	3.8	29.6
Septembre	2.7	21.5	4.1	28.5
Octobre	2.9	27.0	4.3	35.4
Novembre	3.3	27.6	4.8	32.2
Décembre	4.0	31.6	5.8	42.5

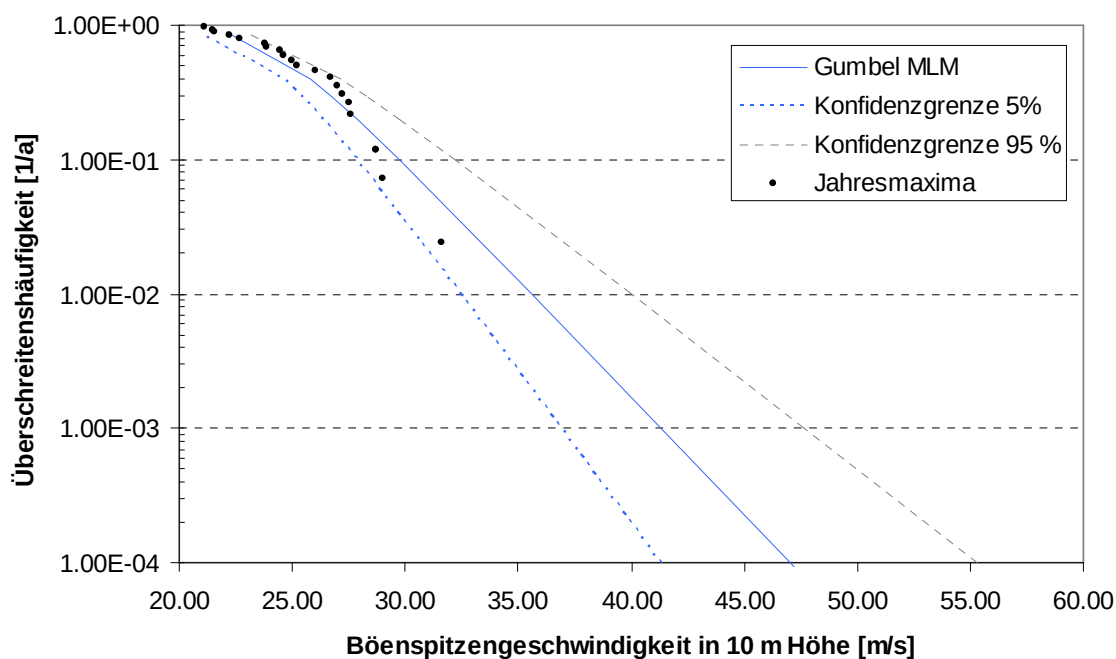


Figure 3.4-24 Analyse des valeurs extrêmes des vitesses de rafales à une hauteur de 10 m sur le site de la CNN: fonction de distribution de Gumbel avec un intervalle de confiance de 90 %

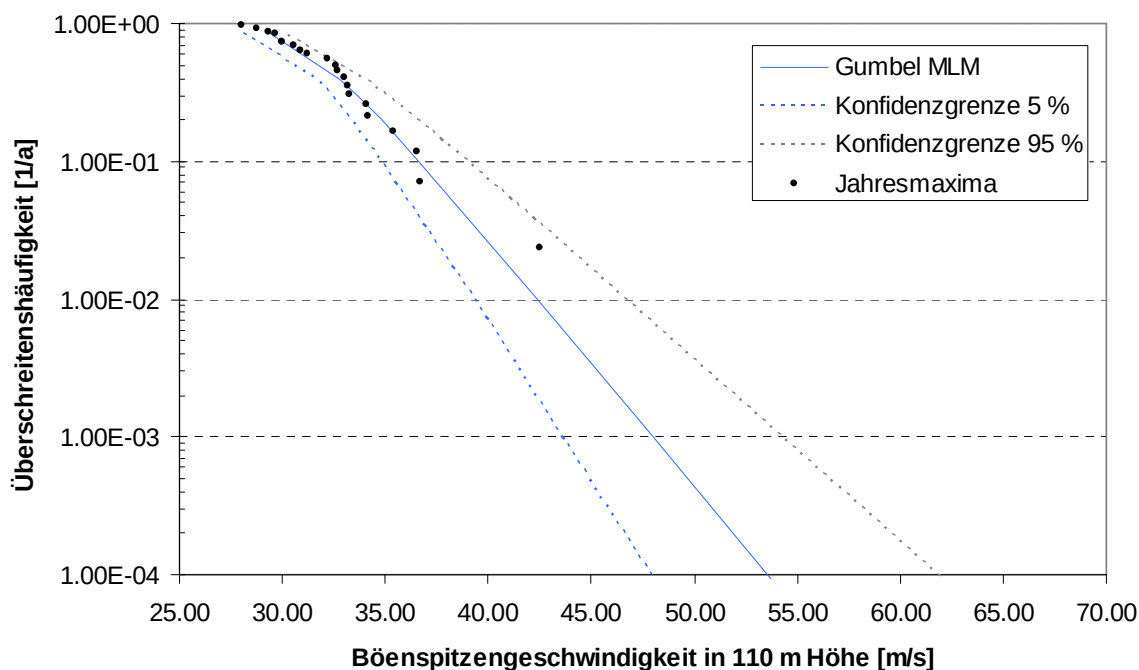


Figure 3.4-25 Analyse des valeurs extrêmes des vitesses de rafales à une hauteur de 110 m sur le site de la CNN: fonction de distribution de Gumbel avec un intervalle de confiance de 90 %

La courbe des risques liés au vent assigne aux vitesses des rafales une fréquence de dépassement respective. Pour la fréquence de dépassement de $10^{-4}/a$, on obtient à une hauteur de 10 m des vitesses de rafales extrêmes de 47 m/s (intervalle de confiance de 90%, de 41 à 55 m/s) et à une hauteur de 110 m des vitesses de rafales extrêmes de 54 m/s (intervalle de confiance de 90%, de 48 à 62 m/s).

Dans le cadre de la conception des bâtiments contre les charges dues à l'action du vent, les vitesses du vent, par exemple selon la norme SIA 261 (SIA/SN 2003), doivent être converties pour les hauteurs respectives des bâtiments et en pressions dynamiques. Les conditions locales telles que la typologie des terrains, la forme de l'ouvrage et la direction du vent sont à prendre en compte. En fonction de la position de la direction du vent par rapport à un composant de construction, le vent a un effet de pression ou d'aspiration. Lorsque le vent souffle autour d'un composant ou d'un ouvrage de construction, il a simultanément un effet de pression sur les surfaces tournées vers le vent et un effet d'aspiration sur les faces opposées. Ces combinaisons de charges sont également prises en considération. En outre, l'influence des constructions voisines est prise en considération. Par ailleurs, des objets peuvent être projetés par un vent fort, créant ainsi un potentiel de danger qui doit également être pris en compte.

Le dimensionnement vis-à-vis des charges dues au vent sera traité dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

3.4.9.3 Tornades

Occurrence des tornades en Suisse et sur le site

Selon MétéoSuisse (MétéoSuisse 2009a), on observe des tornades en Suisse principalement dans le Jura et en Suisse septentrionale. Sur le site en projet dans le Niederamt et dans son voisinage (rayon de 20 km), aucune tornade n'a été observée pendant la période de 1890 à 2005 évaluée par MétéoSuisse 2009a (figure 2.10.6.1). Rien n'a changé à ce titre jusqu'aujourd'hui.

L'ampleur des dommages causés par des tornades est indiquée par le taux de sinistres moyen. Le taux de sinistres est une notion utilisée dans le domaine des assurances et de l'économie politique. Il est défini comme le rapport des frais de sinistres sur la valeur à neuf. L'intensité des tornades déterminée sur la base du taux de sinistres de tornades est définie selon les échelles de Fujita (F)/ TORRO (T) (TorDACH 2008).

La supercellule la plus intense en Suisse avec une intensité de F3/T6 sur l'échelle de Fujita/TORRO a été observée en 1982 à Andelfingen (à au moins 45 km du site de la CNN). Les dommages observés dans un rayon d'environ 10 à 20 km autour d'Andelfingen ont été considérables, mais limités localement. Aucune indication claire de l'occurrence d'une tornade n'avait été observée. Selon la description de l'échelle de Fujita/TORRO, une intensité de tornade F3/T6 correspond à un taux de sinistres de 10 % pour les constructions en dur (TorDACH 2008).

Des considérations probabilistes pénalisantes relatives à la fréquence des tornades au site de la CNN sont présentées ci-dessous, sur la base de la directive IFSN-A05 (IFSN 2009a). Ces calculs sont dits pénalisants parce que les fréquences annuelles des tornades dont il est fait l'hypothèse et indiquées dans la directive IFSN-A05 se situent un ordre de grandeur au-dessus des de celles calculées par MétéoSuisse (2009a) sur la base de leurs observations. Les indications données dans la directive IFSN-A05 se basent sur une estimation d'experts. Elles incluent les tornades non observées ainsi que d'autres incertitudes non quantifiées comme par exemple l'influence du changement climatique. Par ailleurs l'hypothèse prescrite de la distribution spatiale homogène de l'occurrence des tornades pour le site de la CNN est extrêmement pénalisante, car - comme déjà mentionné - aucune tornade n'a encore été observée dans cette région jusqu'aujourd'hui (MétéoSuisse 2009a, figure 2.10.6.1). Il faudra donc par conséquent, lors de l'évaluation des résultats des considérations probabilistes, tenir compte du fait que les valeurs d'entrée contiennent des marges de sécurité quasi déterministes.

Considérations probabilistes selon la directive IFSN-A05:

Pour la CNN, et conformément à la directive IFSN-A05 (IFSN 2009a), la probabilité d'impact de tornades sur l'aire principale de la CNN a été calculée sur la base d'une approche géométrique en tenant compte du parcours de destruction (AF-Colenco 2009e). Pour la plus basse catégorie de tornade F0/F1 qui, selon la directive IFSN-A05, présente une fréquence d'un ordre de grandeur supérieur à celle de la catégorie suivante, une fréquence d'occurrence sur l'aire principale de la CNN de $3.2 \cdot 10^{-4}/a$ est calculée, en tenant compte de la surface de base de $100'000 \text{ m}^2$ (10 ha). Les fréquences pour les tornades plus fortes des catégories F2 et égale ou supérieure à F3 sont respectivement de $4.8 \cdot 10^{-5}/a$ et $6.5 \cdot 10^{-5}/a$, et donc plus faibles. La fréquence plus élevée pour la catégorie égale ou supérieure à F3 par rapport à la catégorie F2 est due au long parcours de destruction pour F3. Dans l'ensemble, le même calcul pour les tornades avec une intensité F0/F1 permet d'obtenir une fréquence de dépassement de $1.1 \cdot 10^{-4}/a$. La fréquence de dépassement de la catégorie de tornade est de $6.5 \cdot 10^{-5}/a$, et donc nettement inférieure à $10^{-4}/a$.

Les calculs indiquent donc que les tornades avec une intensité supérieure à F0/F1 présentent sur le site de la CNN des fréquences qui dépassent tout juste "l'objectif de conception" de $10^{-4}/a$ conformément à l'ordonnance du DETEC (2009). Les tornades avec une fréquence de dépassement de 10^{-4} par an présentent une intensité tout juste supérieure à F0/F1, c'est-à-dire une intensité située dans le domaine d'intensité le plus bas de la classe de tornade F2.

Résumé et évaluation

Le site de la CNN se trouve dans une zone présentant une très faible probabilité d'occurrence de tornades. De 1890 jusqu'à aujourd'hui, aucune tornade n'a été documentée dans une circonférence de 20 km autour du site.

Des analyses effectuées sous hypothèses pénalisantes ont montré que tout au plus une tornade dans le domaine d'intensité le plus bas de la classe F2 correspond au seuil de conception de $10^{-4}/a$ (DETEC 2009). La fixation exacte ne pourra toutefois être effectuée que dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, dès que la maquette exacte de l'installation et les données des surfaces à prendre en compte seront disponibles.

Les tornades avec une fréquence d'occurrence inférieure au seuil de conception de $10^{-4}/a$ seront prises en considération dans les analyses probabilistes de sécurité (PSA) effectuées lors de la procédure d'autorisation d'exploiter, conformément à la directive IFSN-A05.

La conception contre les tornades sera traitée dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire. En plus des impacts à prendre en considération sur les charges dues au vent, il faut également tenir compte de l'aspiration verticale à l'intérieur des tornades.

3.4.9.4 Températures de l'air

Les températures de l'air sont à prendre en compte essentiellement pour la conception de la tour aéroréfrigérante hybride, des installations de climatisation et des cellules de réfrigération prévues comme option, au stade actuel de planification, pour les systèmes d'eau de refroidissement auxiliaires. Contrairement à une partie des installations de climatisation et des cellules de réfrigération, la tour aéroréfrigérante hybride n'est pas à prendre en compte du point de vue de la sécurité. Si des cellules de réfrigération étaient utilisées, elles seraient dimensionnées conformément aux exigences de la règle KTA 330(KTA 1999) et pour les valeurs journalières maximales à considérer, de la température du thermomètre mouillé. Cette conception devrait être effectuée lors de la procédure d'autorisation de construire sur la base des valeurs de température actuelles à ce moment là. Pour ce faire, les mesures de la nouvelle station SwissMetNet de Gösgen, qui enregistre entre autres l'humidité, la pression et la température de l'air depuis juin 2008, pourront également être prises en compte. Ces valeurs de mesure permettront de définir une station de comparaison avec la série chronologique à long terme requise pour la conception.

3.4.9.5 Fortes précipitations

Le tableau 3.4-15 présente les moyennes des intensités des précipitations mensuelles à intervalles de 10 minutes dérivées des mesures des précipitations sur le site ainsi que les maxima absolus des intensités des précipitations sur 10 minutes pour la période de janvier 1989 à décembre 2007.

Tableau 3.4-15 *Intensité moyenne mensuelle des précipitations des intervalles de 10 minutes avec précipitations et maxima absolus de l'intensité des précipitations de 10 mn, période de janvier 1989 à décembre 2007*

Mois	Intensité des précipitations [mm/10 min]	
	Moyenne mensuelle	Maximum absolu
Janvier	0.22	3.6
Février	0.21	2.8
Mars	0.23	8.9
Avril	0.24	12.3
Mai	0.31	8.2
Juin	0.38	19.3
Juillet	0.44	15.9
Août	0.41	10.8
Septembre	0.31	5.4
Octobre	0.27	5.3
Novembre	0.22	3.2
Décembre	0.22	4.1

Les enregistrements des précipitations de 1989 à 2008 ont été soumis à une analyse statistique des valeurs extrêmes sur la base de la distribution de Gumbel, qui est fréquemment utilisée dans la statistique des précipitations (DWA 1985). L'ajustement a été confirmé avec succès par un test de Kolmogoroff-Smirnoff. La distribution des valeurs extrêmes des précipitations sur 10 minutes obtenue est présentée sur la figure 3.4-26. Pour la fréquence de dépassement de $10^{-4}/a$, la valeur de 34 mm/10 min a été déterminée (intervalle de confiance de 90%, de 27 à 46 mm/10 min).

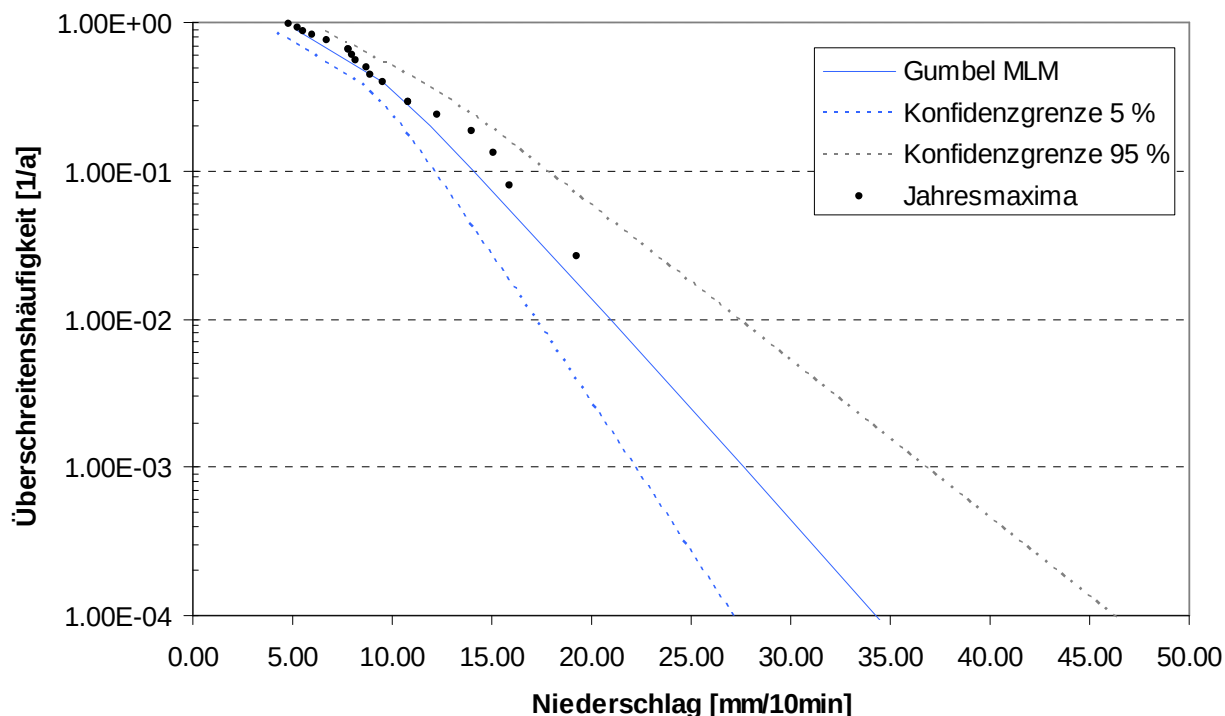


Figure 3.4-26 Analyse des valeurs extrêmes des précipitations de 10 minutes sur le site de la CNN: fonction de distribution de Gumbel ajustée avec un intervalle de confiance de 90 %

Pour la conception du drainage des surfaces de toits et de terrain, les fortes précipitations de différentes durées doivent être analysées du point de vue de leurs conséquences et prises en compte de manière correspondante dans la conception.

La conception sera effectuée dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

3.4.9.6 La grêle

La formation de grêle est étroitement liée à l'activité orageuse. Les régions où le risque de grêle est le plus élevé se situent le long du versant nord des Alpes et dans le Tessin méridional. Le site de la CNN se trouve dans une région avec un risque de grêle élevé (MétéoSuisse 2009a). Cette estimation se base sur les données des dégâts causés par la grêle récoltées pendant plusieurs années par l'Assurance suisse contre la grêle et s'oriente sur la valeur des sinistres. Les valeurs des sinistres présentent actuellement une tendance à la hausse, parce que de plus en plus de matériaux sensibles à la grêle sont utilisés dans la construction conventionnelle. Tout au moins pour les bâtiments à prendre en considération pour la sécurité d'une centrale nucléaire, de tels matériaux et méthodes de construction n'entrent pas en ligne de compte.

Dans la directive IFSN-A05 (IFSN 2009a), aucune importance n'est attachée au phénomène de grêle du point de vue de la sécurité, car la grêle n'est pas à considérer dans l'analyse probabiliste de sécurité (PSA).

3.4.9.7 Foudre

Selon MétéoSuisse 2009a, la densité moyenne d'impacts de foudre nuage-sol sur le site de la CNN pour la période de 2000 à 2007 est de 1.4 impacts de foudre par km² et par an. Cette valeur est la moyenne des 25 points voisins du quadrillage à 1 km² autour du site, dont les valeurs varient entre 0.5 et 2.4 impacts de foudre/a/km². MétéoSuisse considère la distribution des impacts de foudre pour la période 2000 à 2007 comme représentative pour les conditions de foudrolement en Suisse.

La densité de foudrolement sur le site correspond environ à la moyenne suisse de 1.5 impacts de foudre par km² et par an. Les densités de foudrolement les plus élevées sont observées dans la partie méridionale du Tessin (environ 4 impacts de foudre/a/km²), le long des Préalpes septentrionales ainsi que dans le Jura (respectivement 2 à 3.5 impacts de foudre/a/km²).

Les lignes aériennes et les postes électriques extérieurs sont aujourd'hui protégés par des mesures spéciales contre la foudre. La tendance à des postes électriques intérieurs blindés contribuera à une protection encore plus élevée à l'avenir.

La protection de la centrale contre la foudre, en particulier des bâtiments et unités importants pour la sécurité, est effectuée, indépendamment de la densité de foudrolement, de manière déterministe par des mesures anti-foudre internes et externes conformément aux règles correspondantes de la technique, entre autres SEV, KTA. Le concept de protection anti-foudre de l'ensemble de l'installation sera établi dans le cadre de la documentation G1 conformément à l'annexe 4 (OENu 2004) et à l'annexe 3 de la directive HSK-R-30 (HSK 1992a) et soumis de pair à la demande d'autorisation de construire. Les détails des mesures de protection antifoudre seront spécifiés dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

3.4.9.8 Neige

L'institut WSL pour l'étude de la neige et des avalanches SLF a déterminé pour le rapport MétéoSuisse 2009a les hauteurs maximales de neige par an à appliquer au site de la CNN pour les années 1960 à 2008. Pour ce faire, des enregistrements de hauteurs de neige pendant les années correspondants aux stations de Bâle, de Buchs, d'Hallau, de Rheinfelden, de Wynau et de Zurich ont été utilisés et appliquées spatialement au site de la CNN. La série des maxima annuels des hauteurs de neige ainsi obtenues pour le site de la CNN a été évaluée par analyse statistique des valeurs extrêmes dont la méthode a été présentée plus haut. La figure 3.4-27 présente la distribution des valeurs extrêmes des hauteurs de neige avec l'intervalle de confiance de 90 %.

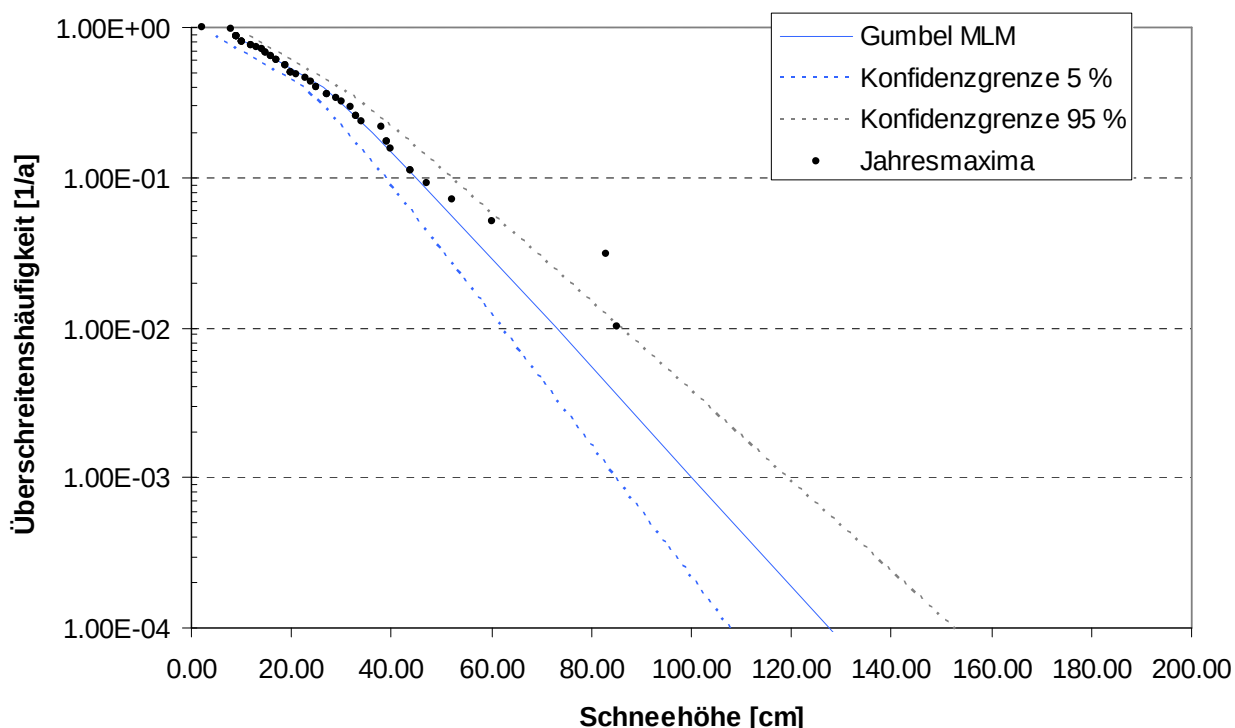


Figure 3.4-27 *Évaluation des valeurs extrêmes des hauteurs de neige sur le site de la CNN: fonction de distribution de Gumbel ajustée avec l'intervalle de confiance de 90 %*

Pour la fréquence de dépassement de $10^{-4}/a$, on obtient une valeur de 127 cm avec un intervalle de confiance de 90%, de 108 cm à 153 cm.

La conception contre les charges de neige est traitée dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

3.4.9.9 Givrage

Le givrage se produit dans des situations d'humidité de l'air élevée ou encore de pluie ou de neige humide et à des températures autour du point de congélation ou en-dessous. Durant la période évaluée, des moyennes horaires de la température de l'air atteignant $-15,4\text{ °C}$ (à une hauteur de 10 m) ont été documentées sur le site de la CNN (chapitre 3.4.8). L'humidité de l'air n'a pas été mesurée sur le site de la CNG jusqu'au lancement de la nouvelle station SwissMetNet. La température la plus basse du thermomètre mouillé mesurée sur la station de Buchs/Aarau, environ 8 km à l'Est-Nord-Est du site de la CNN, a été de $-16,2\text{ °C}$ (janvier 1998 à décembre 2007). Des évaluations de MétéoSuisse (2009a) ont montré qu'il faut s'attendre sur le site de la CNN à environ 10 situations par an présentant des conditions météorologiques requises pour l'apparition de givre.

A des températures nettement en-dessous du point de congélation, le givre peut compromettre le fonctionnement des systèmes d'exploitation et de sécurité importants. Des mesures permettant d'assurer leur disponibilité sont donc requises.

L'alimentation en air pour les systèmes importants pour la sécurité - comme p. ex. les groupes électrogènes de secours ou, si disponibles, les cellules de réfrigération pour le refroidissement de l'eau du système de refroidissement auxiliaire - est assurée par des mesures de construction ou techniques (disposition des ouvertures d'aspiration, faible vitesse d'aspiration, chauffage). Ces mesures dépendent du type d'installation et du fournisseur, et seront abordées dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire. D'autre part, des mesures permettant une exploitation sans perturbation à de très faibles températures seront également prises pour la tour aéroréfrigérante hybride, cette dernière qui ne remplissant toutefois aucune fonction de sécurité.

D'autres effets de givrage, comme par exemple le givrage des systèmes d'eaux pluviales, peuvent être empêchés par des mesures techniques appropriées et sont traités dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

En Suisse, contrairement à l'étranger, aucune défaillance dans le réseau à très haute tension n'est connue qui serait due au givre des lignes électriques. À la différence de l'étranger, le cablage souterrain très répandu de la distribution électrique régionale ne donne pratiquement pas lieu à des délestages brusques sur le réseau à très haute tension qui seraient dus au givre, et réduit ainsi considérablement le risque de givrage des câbles haute tension en raison des conditions de charge minimales.

Les bases des calculs statiques pour des lignes électriques aériennes à courant élevé, les structures portantes et les fondations sont réglementées dans l'ordonnance sur les lignes électriques (OLEI 1994). En raison de la situation topographique et géographique de la Suisse, les prescriptions relatives à la pose de lignes et conduites sont plus pénalisantes en Suisse qu'à l'étranger. Contrairement à d'autres pays, on ne trouve pas en Suisse de très longues distances de pose. Des perturbations dues au givrage des lignes à très haute tension peuvent donc être exclus en Suisse.

3.4.10 Perspectives concernant les modifications prévisibles des données météorologiques au futur

3.4.10.1 Situation générale pour le Nord de la Suisse

Les conséquences obtenues jusqu'à ce jour du changement climatique en Suisse peuvent être consultées par exemple dans les rapports de l'OFEV (OFEV 2007) et du DETEC (DETEC 2003).

Les derniers rapports OcCC/ProClim (OcCC 2007, OcCC 2008) présentent un bon aperçu des conséquences prévisibles des changements climatiques globaux futurs sur l'environnement en Suisse.

Par la suite, le réchauffement climatique attendu jusqu'en 2050 évolue encore en grande partie indépendamment des mesures mondiales de réduction des émissions, car celles-ci ne pourront avoir des répercussions déterminantes qu'à long terme. Si les émissions de gaz à effet de serre ne sont pas drastiquement réduites au cours des prochaines décennies, les conséquences du réchauffement pourraient être plus marquées au cours de la deuxième moitié de ce siècle que pendant la période jusqu'en 2050 présentée ci-dessous.

Pour la période jusqu'en 2050, le rapport OcCC (2007) pronostique un réchauffement dans la Suisse septentrionale d'environ 1.8 à 2.1 °C (avec un intervalle de confiance à 95% de 0.8 à 3.5°C) en automne, en hiver et au printemps ainsi que de 2.7°C en été (avec un intervalle de confiance à 95% de 1.4 à 4.7 °C) par rapport à 1990. En ce qui concerne les précipitations, une augmentation d'environ 8 % (intervalle de confiance à 95%, -1 à +21 %) en hiver et une diminution d'environ 17 % (intervalle de confiance à 95%, 7 à 31 %) en été sont pronostiquées. Il faut aussi s'attendre à une augmentation des précipitations extrêmes et donc des crues et des glissements de terrain, en particulier en hiver, mais éventuellement en été également, les précipitations totales moins élevées. La fréquence des vagues de chaleur ainsi que celle des périodes sèches, en été, connaîtra probablement une augmentation générale. En revanche, il faut s'attendre à une diminution de la fréquence des vagues de froid hivernales.

L'évolution pourrait être influencée de façon déterminante par des mesures de réduction des émissions, surtout dans la deuxième moitié du 21^{ème} siècle. De telles mesures ne sont pas prises en considération dans l'évolution future jusqu'en 2070 présentée dans la suite. Le rapport OcCC (2007) pronostique pour la période 2050 à 2070 un réchauffement supplémentaire d'environ 0.8°C dans la Suisse septentrionale (intervalle de confiance à 95%, de 0.3 à 1.7 °C) en automne, en hiver et au printemps ainsi que de 1.1°C en été (intervalle de confiance à 95%, de 0.5 à 2.3 °C). En ce qui concerne les précipitations, une autre augmentation d'environ 3 % (intervalle de confiance à 95%, de 0 à 9 %) en hiver et une diminution d'environ 6 % (intervalle de confiance de 95%, de 2 à 10 %) en été sont pronostiquées.

Dans la moyenne suisse, on s'attend à une augmentation des températures estivales jusqu'en 2100 d'environ 3.5 à 7 °C, par rapport au niveau de celles de 1990, ceci sous l'hypothèse de non-réduction des émissions de gaz à effet de serre (OcCC 2008). Par ailleurs, les précipitations moyennes en été pourraient diminuer de 30% jusqu'en 2100.

Évènements extrêmes

Le changement climatique aura également des répercussions sur la fréquence des événements météorologiques extrêmes. L'étendue et le caractère des changements seront différents selon le lieu et le type d'événements. Les estimations quantitatives sont encore très incertaines. L'état actuel des connaissances semble indiquer que les vagues de froid et les périodes de gel seront de plus en plus rares en Suisse. En revanche, les vagues de chaleur et la sécheresse d'été devraient être plus fréquentes. Les fortes précipitations devraient augmenter pendant toutes les saisons, sauf en été. Pour d'autres extrêmes météorologiques comme les orages ou la grêle, l'influence du changement climatique n'est pas encore suffisamment comprise (OcCC 2008).

Températures extrêmes

En raison de la hausse de la température moyenne en été, des périodes de chaleur avec des températures plus élevées apparaîtront. Selon les modèles climatiques, la variabilité des températures moyennes en été augmentera également, ce qui conduira également à plus de périodes de chaleur avec des températures plus élevées. Les modèles climatiques présentent une augmentation des températures maximales absolues supérieures au maximum journalier moyen.

Orages et tornades

Les déclarations faites et relatives à l'évolution future des orages violents et extrêmes, en particulier en ce qui concerne l'évolution des phénomènes à faible échelle et de nature plutôt locale, sont très incertaines (MétéoSuisse 2009a).

La manifestation de tornades violentes est fortement liée à la formation de foyers orageux intenses. La quantification de tels foyers est actuellement un sujet de recherche, sur lequel aucune donnée n'est actuellement disponible (MétéoSuisse 2009a). Dans les études relatives à l'occurrence des tornades (cf. chapitre 3.4.9.3), une éventuelle augmentation a été implicitement prise en compte de manière pénalisante.

Grêle

L'évolution future de la fréquence de grêle violente dépend de l'évolution future des foyers orageux intenses, car la grêle ne se manifeste pratiquement qu'en relation avec de tels événements (MétéoSuisse 2009a).

Pour des événements extrêmes comme des tempêtes orageuses et des orages avec grêle, l'influence du changement climatique sur leur fréquence n'est pas encore bien connue (OcCC 2008).

Périodes de froid, givre

La fréquence des périodes de froid et le nombre jours de gel diminueront à l'avenir. En hiver, les températures minimales augmenteront plus fortement que les températures moyennes (DETEC 2003, OFEV 2007, OcCC 2007).

Précipitations

Dans la région du Mittelland suisse, aucune tendance claire n'est actuellement reconnaissable pour la moyenne annuelle des précipitations (MétéoSuisse 2009a). Il semble toutefois qu'il y ait un décalage saisonnier des précipitations de l'été vers le l'automne et l'hiver. De plus, les événements de précipitations intenses ont augmenté pendant ces saisons. Les fortes précipitations devraient augmenter pour toutes les saisons, sauf en été (OcCC 2008).

Neige

Selon OcCC 2007, les précipitations tomberont à l'avenir plus souvent sous forme de pluie que de neige. L'isotherme à zéro degré en hiver et l'altitude de la limite des chutes de neige augmenteront également avec l'élévation de la température de l'air. Les hauteurs de neige et le nombre jours de neige diminueront dans la région du Mittelland (BAFU 2007).

3.4.10.2 Analyse des observations sur le site de la CNN

Les déclarations présentées ci-dessus et relatives au changement climatique jusqu'en 2050 se rapportent à l'année de référence 1990. Indépendamment de l'évolution temporelle exacte des changements climatiques observés, ce signal devrait se retrouver dans les séries de mesure enregistrées sur le site de Gösgen de 1988 à 2008. Par conséquent, les observations des températures de l'air et des précipitations seront groupées par année et représentées dans leur évolution annuelle et saisonnière. Une droite de régression linéaire complètera, à titre indicatif, cette représentation, afin d'obtenir une approximation de la tendance de leur évolution temporelle. Elle n'a pas de signification au sens d'une analyse de tendances statistique.

Températures de l'air

Les moyennes annuelles et saisonnières des températures sont représentées pour les années 1989 à 2008, en figures 3.4-28. Les hivers et les étés sont déterminés ici respectivement comme périodes de trois mois. L'hiver va de décembre de l'année précédente à février, tandis que l'été couvre les mois de juin à août. Dans cette analyse, l'année va de décembre de l'année précédente à novembre.

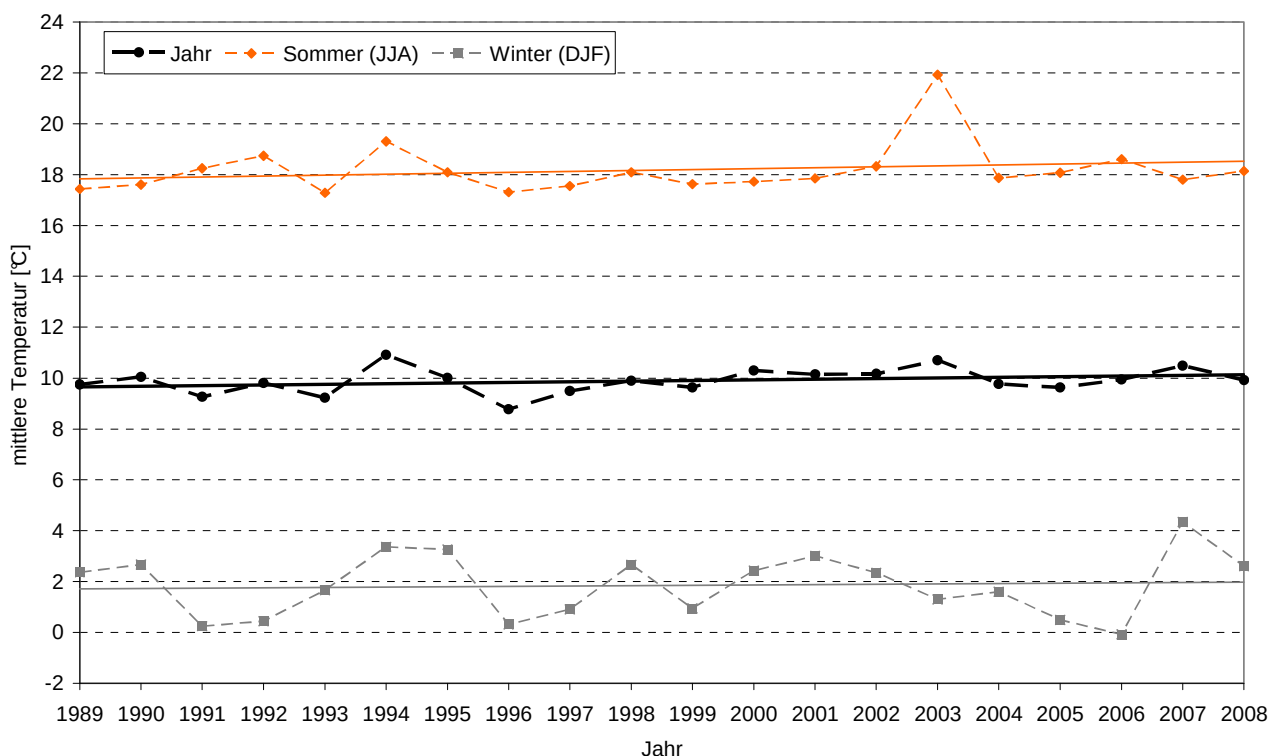


Figure 3.4-28 Température moyenne pour sur l'année entière ainsi que sur l'hiver (DJF) et sur l'été (JJA) avec des droites de régression linéaires à titre indicatif

La température annuelle moyenne sur le site de Gösgen semble avoir légèrement augmenté depuis 1989 suivant la figure 3.4-28. Ceci semble être dû à l'augmentation de la température moyenne en été. En revanche, la température moyenne en hiver semble n'avoir augmenté que très légèrement. Les prévisions climatiques considèrent que l'augmentation des températures est légèrement plus forte en été qu'en hiver (OcCC 2007).

Les précipitations

Le total des précipitations annuelles et saisonnières est représenté en figure 3.4-29 sur les années 1989 à 2008. Pour l'analyse, l'année commence par le semestre d'hiver d'octobre à mars, suivi du semestre d'été. L'année entière est d'octobre à septembre.

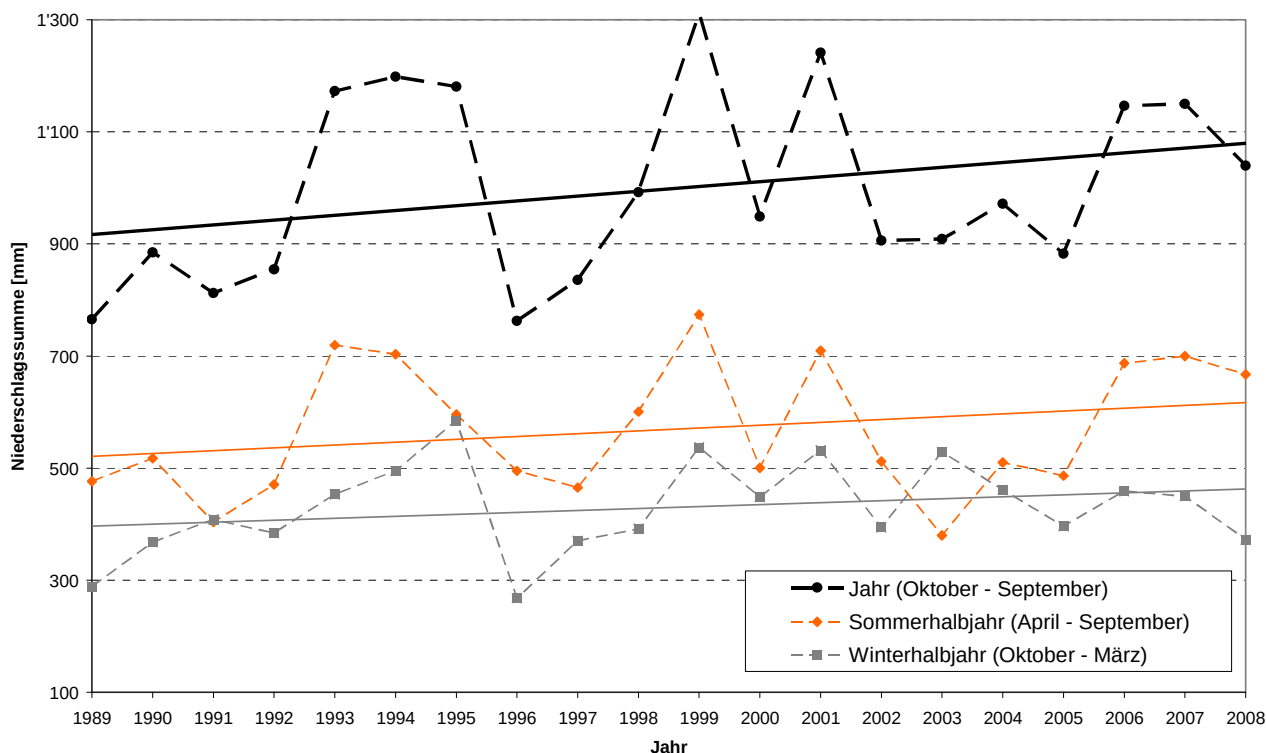


Figure 3.4-29 Précipitations moyennes sur l'année entière ainsi que sur le semestre d'hiver (octobre - mars) et le semestre d'été (avril - septembre) avec des droites de régression linéaires à titre indicatif

En ce qui concerne les précipitations dans la Suisse septentrionale, les pronostics climatiques prévoient une augmentation des précipitations hivernales et une diminution des précipitations estivales (OcCC 2007). Dans la période d'observation présentée sur la figure 3.4-29, on observe une augmentation des précipitations annuelles sur le site de la CNN en raison de l'augmentation des précipitations aussi bien en été qu'en hiver.

3.4.10.3 *Évaluation des changements prévisibles pour l'avenir*

Les changements climatiques prévisibles pour l'avenir, ne compromettent pas la qualification du site pour la mise en place de l'installation en projet.

Dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, les données alors d'actuelles et l'état actualisé de la recherche sur le climat et son évolution prévisible seront évalués.

En ce qui concerne la fixation des valeurs de conception dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, il n'est cependant pas prévu de superposer les conséquences des pronostics de changement climatique aux résultats des analyses des valeurs extrêmes.

3.5 Hydrologie

3.5.1 Généralités et hypothèses de base sur les risque

Le secteur d'étude se situe dans la large vallée de l'Aar. Il est également drainé par l'Aar. Au niveau du barrage de Winznau, une grande partie du débit de l'Aar est détournée dans le canal d'amenée de la centrale hydro-électrique (CHE) de Gösgen et turbinée dans celle-ci. Le débit d'eau de concession est de $380 \text{ m}^3/\text{s}$. Le tronçon à débit résiduel, appelé "Ancienne Aar" s'étend sur une longueur d'environ 8.2 km, du barrage de Winznau à Niedergösgen. L'Ancienne Aar ainsi que les zones de protection des rives des deux côtés du tronçon à débit résiduel séparent l'aire de projet, avec l'aire principale et l'aire partielle Sud d'un côté et l'aire partielle Nord de l'autre. Le débit résiduel appliqué depuis 2007 est échelonné selon les saisons et s'élève à des valeurs entre 7 et $15 \text{ m}^3/\text{s}$, et en moyenne $10 \text{ m}^3/\text{s}$ (Atel Hydro 2008).

Le fond de la vallée de l'Aar est constitué de graviers qui forment une nappe souterraine puissante. Cette dernière possède une importance régionale pour l'alimentation en eau potable des communes environnantes. Elle est par conséquent définie comme zone de protection. L'aire du projet se trouve dans le secteur de protection des eaux A_U. Elle est par conséquent soumise à des dispositions spéciales.

L'épaisseur de la nappe d'eau souterraine est de 20 à 30 m au centre de la vallée. Sa largeur la plus importante est d'environ 2 km dans un profil en travers situé près de Mülidorf - Däniken. Les eaux souterraines sont endiguées par le passage de l'Aar dans une brèche étroite dans le Malm au niveau de Schönenwerd ; Le gradient de la nappe est d'environ 0.2 % dans l'axe de la vallée.

Le régime d'écoulement des eaux souterraines est contrôlé par le niveau d'eau de l'Ancienne Aar. Il réagit rapidement aux variations soudaines de débit de l'Aar, tels qu'ils peuvent être produits par exemple par régulation au barrage de Winznau.

L'ordonnance du DETEC (2009) prescrit les hypothèses de risque spécifiques et l'évaluation de la protection contre des défaillances dans les installations nucléaires. Cette ordonnance (DETEC 2009) spécifie que les risques dont la fréquence d'occurrence est supérieure ou égale à 10^{-4} par an doivent être pris en compte et évalués, pour démontrer que la protection contre les défaillances dues à des causes naturelles est suffisante. Cette exigence sera prise en compte ci-après dans le cadre des considérations relatives aux périodes de crue et d'étiage, aux conditions de températures basses et élevées et de hautes et basses eaux de l'Aar (chapitre 3.5.2) ainsi qu'aux niveaux minima des eaux souterraines (chapitre 3.5.3).

3.5.2 Eaux de surface

Les chapitres suivants récapitulent les bases hydrologiques, y compris les conditions de crue et d'étiage ainsi que températures élevées et basses des eaux de l'Aar sur le site de la CNN. Un exposé détaillé et une discussion des thèmes traités sont contenus dans le rapport technique (AF-Colenco 2009d).

Les eaux souterraines sont traitées au chapitre 3.5.3.

3.5.2.1 Débits de l'Aar

Les débits de l'Aar en amont du barrage de Winznau sont déterminés à l'aide des enregistrements de la station limnimétrique de Murgenthal. Pour cette station, une période de mesure de 1916 à 2007 (débits maxima) resp. de 1935 à 2007 (moyennes journalières et moyennes annuelles des débits) est disponible (OFEV 2008a).

Le tableau 3.5-1 présente un résumé des valeurs statistiques essentielles des débits déterminés par l'OFEV.

Tableau 3.5-1 Débits de l'Aar à la station de Murgenthal (OFEV 2008a)

		Débit [m ³ /s]
Moyenne des moyennes annuelles (période)		289 (1916 - 2007)
Moyenne annuelle la plus élevée (année d'observation)		371 (1936)
Moyenne annuelle la plus faible (année d'observation)		179 (1976)
Pointe de débit maximale (jour d'observation)		1'262 (09.08.2007)
Statistiques des crues	HQ ₅₀	1'091
	HQ ₁₀₀	1'148
	HQ ₂₀₀	1'202
Moyenne journalière la plus élevée (jour d'observation)		896 (25.11.1944)
Moyenne journalière la plus faible (jour d'observation)		79.6 (03.12.1962)

Les débits sur le site de la CNN sont calculés à partir des valeurs mesurées à Murgenthal conformément au rapport des surfaces des bassins versants correspondants. En ce qui concerne le site de la CNN, le bassin versant est pris en compte au niveau du barrage de Winznau, c'est à dire à l'endroit où le débit total de l'Aar se répartit dans le débit du canal d'amenée de la centrale hydro-électrique de Gösgen et dans le débit de l'Ancienne Aar (tronçon à débit résiduel).

Le bassin versant de l'Aar à la station de Murgenthal couvre une superficie de 10'143 km², et la superficie du bassin versant au niveau du barrage de Winznau se monte à 10'888 km² (OFEV 2008b). La conversion suivante en résulte:

$$Q_{\text{barrage Winznau}} = Q_{\text{site CNN}} = Q_{\text{Ancienne Aar}} + Q_{\text{canal d'amenée}} = 1.073 Q_{\text{Murgenthal}}$$

Outre la procédure décrite ci-dessus, le débit $Q_{\text{site CNN}}$ a aussi été déterminé par interpolation des mesures limnimétriques de Murgenthal et de Brugg (bassin versant = 11'726 km²). Le débit de l'Aar au niveau de Brugg comprend aussi les débits de Wigger et de Dünner qui se jettent dans l'Aar entre Murgenthal et Winznau. Les valeurs de débit déterminées par les deux méthodes sur le site de la CNN ne varient que très peu les unes par rapport aux autres (< 5%).

Les moyennes annuelles et journalières calculées des débits de l'Aar sur le site de la CNN sont représentées sur la figure 3.5-1. Les moyennes annuelles ne présentent que de très faibles différences pendant cette période de mesure. En ce qui concerne les moyennes journalières, la fréquence des valeurs les plus élevées des pointes de débits a augmenté au cours des 30 dernières années.

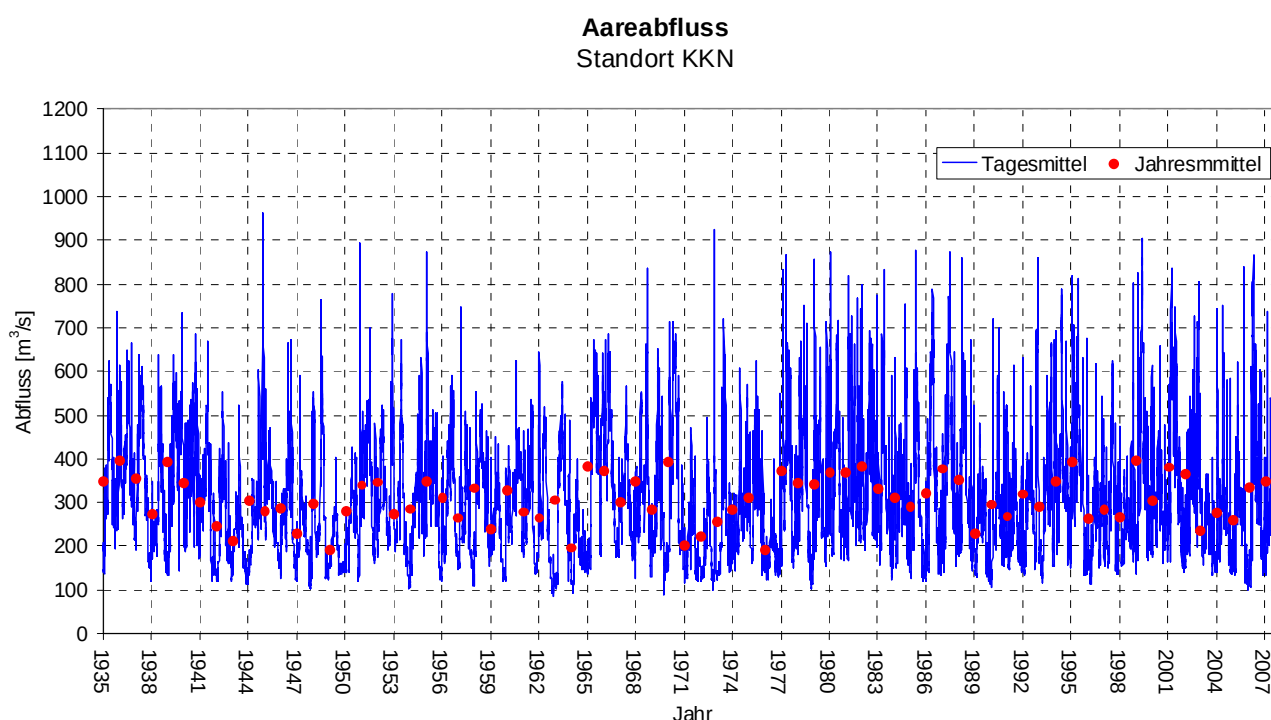


Figure 3.5-1 Moyennes journalières et annuelles des débits sur le site de la CNN (calculées à partir des mesures de Murgenthal)

Une série de longue date débits maxima (1916 à 2007) est également disponible à la station de mesure de Murgenthal. Il ressort de l'étude des maxima de débit (figure 3.5-2) que la fréquence des maxima annuels absolus supérieurs à 900 m³/s a augmenté de façon significative sur le site de la CNN depuis 1972.

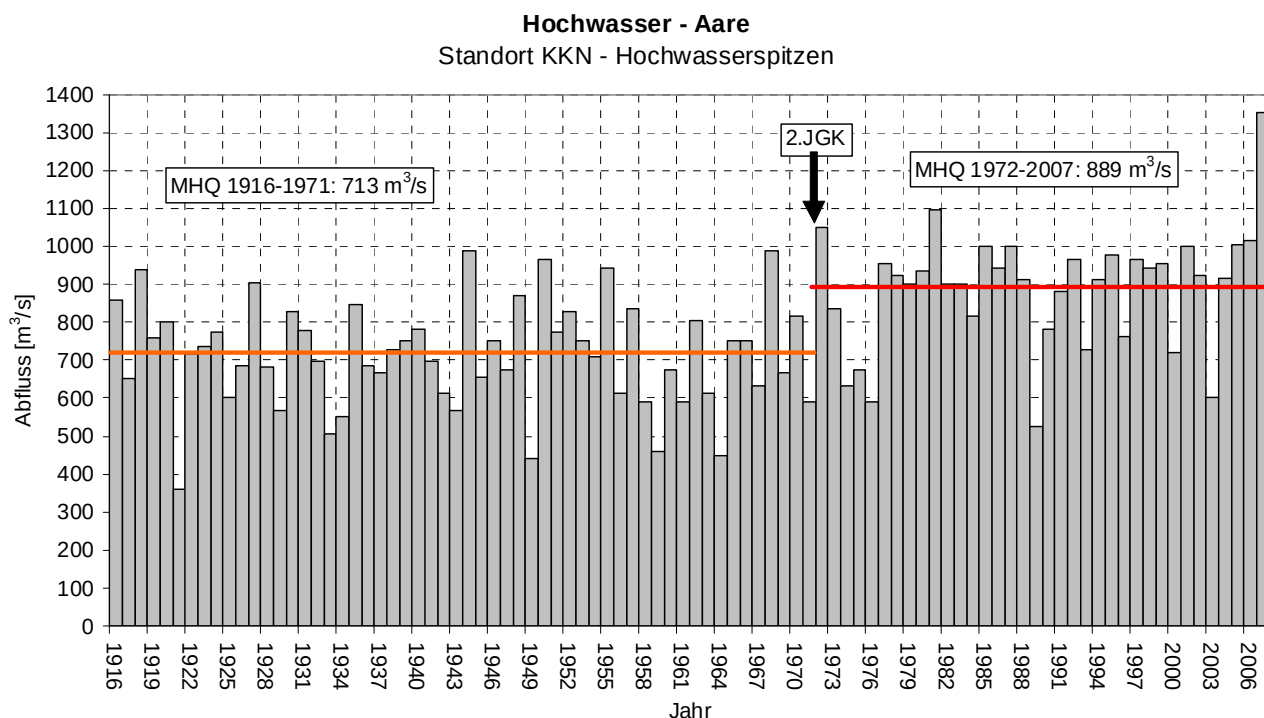


Figure 3.5-2 Maxima de débitsur le site de la CNN (calculés à partir des valeurs de mesure de Murgenthal)

La raison des différences significatives avant et après 1972 réside essentiellement dans la deuxième correction des eaux du Jura (2^e CEJ), lorsqu'un changement de l'exploitation a été initié par un nouveau règlement pour le barrage de Port. De plus, l'Aar a été aménagée jusqu'à Soleure ainsi que la zone d'embouchure de l'Emme. Ces mesures ont provoqué une augmentation de la fréquence des crues de 900 m³/s par rapport à la période précédente 1972. Le graphique indique que les crues moyennes (MHQ) de 713 m³/s (1916 - 1971) ont augmenté d'environ 25 % à 889 m³/s (1972 - 2007).

En résumé, on constate que les maxima de débits (pointes de crues) constituent une série de mesures non-homogène de 1916 à 2007. Le calcul des débits des crues se base donc sur la période à partir de 1972.

Pour l'analyse de la situation d'étiage, les moyennes journalières ainsi que les mesures absolues des minima de débit sont disponibles. Les débits minima absolus sont disponibles à partir de l'année 1974. La figure 3.5-3 présente les minima absolus de débit annuels et les moyennes journalières annuelles et minimales de l'Aar sur le site de la CNN.

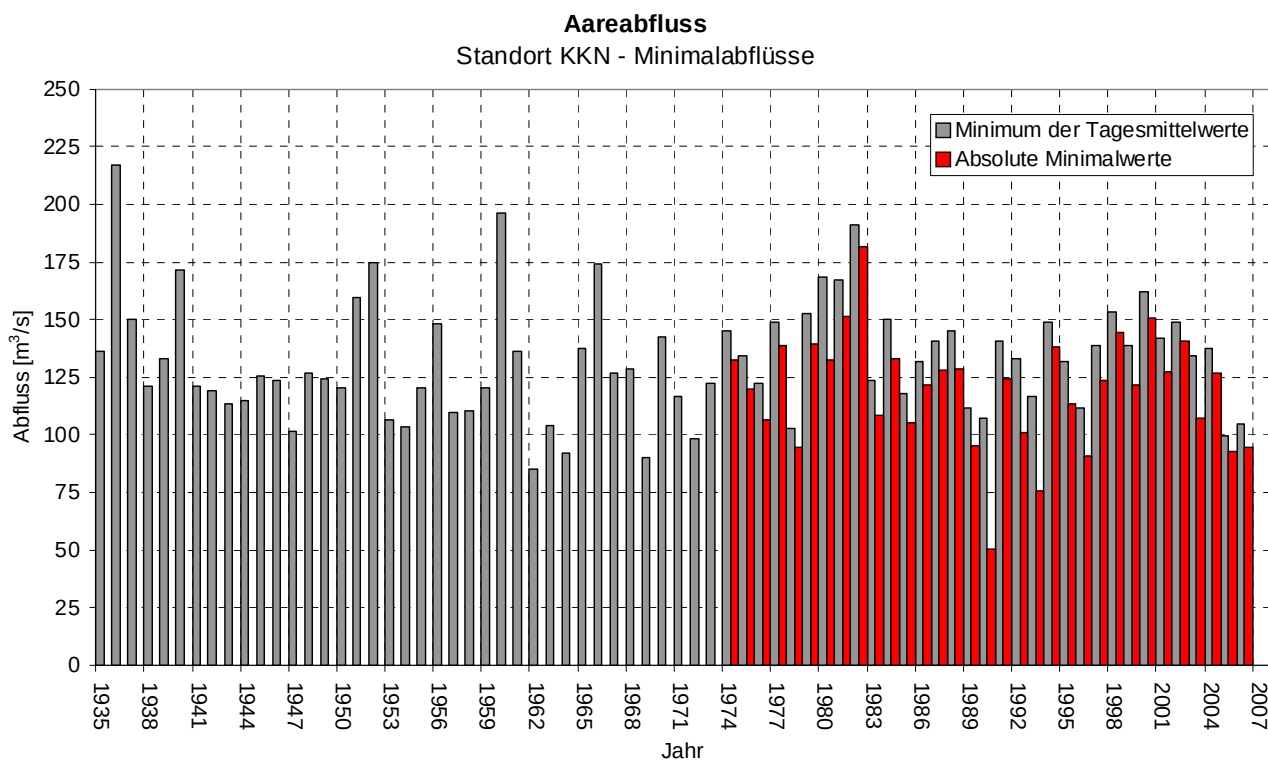


Figure 3.5-3 Minima de débits sur le site de la CNN (calculés à partir des valeurs de mesures de Murgenthal)

Les minima absolus de débit présentent un comportement très similaire à celui des moyennes journalières minimales. Les différences observées sont minimes. On constate des écarts plus importants sur les valeurs des années 1990 et 1993. Il s'agit de minima à court terme dus aux perturbations de l'exploitation dans les centrales hydro-électriques situées en amont (AF-Colenco 2009d).

Les conditions de crue et d'étiage de l'Aar sont des facteurs d'impact importants pour la sécurité et seront traitées de manière détaillée dans les chapitres suivants.

3.5.2.2 Conditions de crue extrêmes

Les débits des crues extrêmes sont déterminés ci-après par deux méthodes indépendantes l'une de l'autre:

- Méthode probabiliste: détermination du débit de crue à fréquence de dépassement de $10^{-4}/a$, comme prescrit pour les phénomènes naturels conformément à l'ordonnance (DETEC 2009).
- Méthode déterministe: détermination du paramètre de la "Crue Maximum Possible" dite PMF (Probable Maximum Flood) comme c'est d'usage dans la construction d'ouvrages d'accumulation.

Détermination de débits des crues extrêmes par méthode probabiliste

La détermination de débits des crues extrêmes avec une certaine fréquence d'occurrence⁴ est effectuée par des analyses de fréquence. Comme expliqué au chapitre 3.5.2.1, la période de 1972 à 2007 est utilisée pour les calculs.

Dans le cadre de la réalisation des analyses de fréquence, les fonctions de distribution suivantes ont été utilisées:

- Gumbel
- Pearson III
- Log-Pearson III
- Log-normale
- Distribution log-normale à 3 paramètres

Pour toutes les analyses de fréquence réalisées, des tests statistiques (tests du χ^2) ont été effectués avec un niveau de significativité de 5%. Le résultat des tests effectués sous ces conditions est que les distributions de Gumbel, Pearson III et log-Pearson III sont rejetées et les distributions log-normales sont acceptées. Le tableau 3.5-2 présente les résultats pour les distributions log-normales. A titre de comparaison, la valeur fixée par les cantons de Soleure et d'Argovie pour la crue à fréquence d'occurrence de $10^{-2}/a$ (HQ100) pour la centrale hydro-électrique de Gösgen y est également indiquée (canton SO, AG 2009). Pour le site de la CNN) et la crue de fréquence d'occurrence $10^{-4}/a$, la valeur maximale entre les deux distributions ($1'700 \text{ m}^3/s$) est retenue. Pour des raisons de compatibilité, les valeurs fixées pour la centrale hydro-électrique de Gösgen au barrage de Winznau (Atel Hydro 2009) pour les débits de crue pour des fréquences d'occurrence de $10^{-2}/a$ et $10^{-3}/a$, sont reprises ici. Ces valeurs se trouvent entre les valeurs des deux distributions log-normales.

⁴ La valeur inverse de la fréquence est connue dans l'hydrologie comme période de retour (annualité).

Tableau 3.5-2 Débits de crue déterminés pour différentes fréquences d'occurrence sur le site de la CNN (barrage de Winznau)

Fréquence d'occurrence [1/a]	10^{-1} (HQ ₁₀)	$2 \cdot 10^{-2}$ (HQ ₅₀)	10^{-2} (HQ ₁₀₀)	$5 \cdot 10^{-3}$ (HQ ₂₀₀)	10^{-3} (HQ _{1'000})	10^{-4} (HQ _{10'000})
Distribution log-normale	1'100	1'300	1'350	1'450	1'600	1'700
Distribution log-normale à 3 paramètres	1'100	1'225	1'275	1'300	1'400	1'500
Débits de crues pour le site de la CNN	1'100		1'300		1'450	1'700
Cantons de Soleure et d'Argovie (cantons SO, AG 2009)			1'400			

Les débits $2 \cdot 10^{-2}$ /a (HQ₅₀)-, 10^{-2} /a (HQ₁₀₀) et $5 \cdot 10^{-3}$ /a (HQ₂₀₀) indiqués dans le tableau 3.5-2 sont nettement supérieurs aux valeurs correspondantes du tableau 3.5-1 (après conversion avec le facteur 1.073 selon la formule de conversion indiquée au chapitre 3.5.2.1). Cette différence reflète l'influence des différentes périodes de référence, avec l'augmentation des maxima de débit à partir de 1972.

Pour les modélisations des inondations (chapitre 3.5.2.7) sur la base des événements de crue à fréquences de 10^{-2} /a, 10^{-3} /a et de 10^{-4} /a, les débits fixés pour le site de la CNN comme indiqués au tableau 3.5-2, sont utilisés.

La figure 3.5-4 présente la courbe déterminée par l'analyse de fréquences pour le site de la CNN (resp. le barrage de Winznau) selon la distribution log-normale à 3 paramètres avec un intervalle de confiance de 90%.

La distribution des valeurs extrêmes (courbe rouge sur la figure 3.5-4) est influencée essentiellement par l'événement extrême du 9 août 2007. Pour cet événement de crue, un débit maximal d'environ 1'350 m³/s est déterminé pour le site de la CNN à partir du débit maximal de 1'262 m³/s mesuré à Murgenthal.

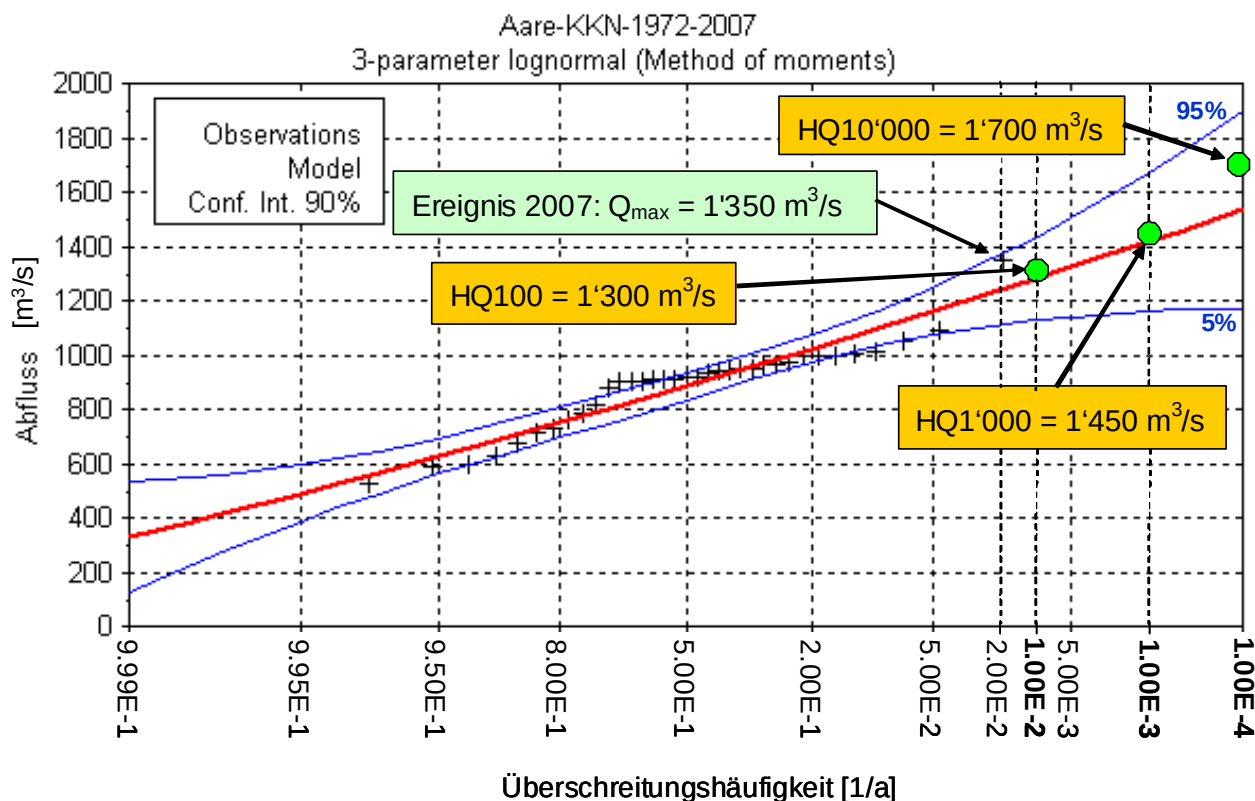


Figure 3.5-4 Distribution log-normale à 3 paramètres des maxima annuels sur le site de la CNN avec un intervalle de confiance de 90%

Perspective

Bien qu'il faille s'attendre à une augmentation des précipitations extrêmes dues à des facteurs climatiques, elle n'est pas quantifiable actuellement (cf. chapitre 3.4.10.1). L'impact d'une telle augmentation est présenté au chapitre 3.5.2.7 qui porte sur la modélisation des inondations, et où une augmentation de 10% du débit (soit $1'870 \text{ m}^3/\text{s}$) par rapport au débit de crue de fréquence d'occurrence de $10^{-4}/\text{a}$ est prise en compte.

Il n'est toutefois pas prévu, dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, de superposer les estimations des répercussions de changements climatiques aux résultats des analyses de valeurs extrêmes.

Détermination du PMF (Probable Maximum Flood)

Le PMF est calculé par approche déterministe. Il est déterminé, entre autres, à partir de "précipitations maximales probables" (PMP = Probable Maximum Precipitation). Pour la détermination du PMP et du PMF, des événements déclencheurs sans fréquences d'occurrence définies, ni limitatives sont postulées. Les fréquences d'occurrence non quantifiées peuvent même être inférieures à 10^{-4} par an.

Le débit des crues de l'Aar au niveau de Murgenthal est essentiellement déterminé par le débit de l'Emme (bassin versant de 939 km²), par l'écoulement du Lac de Bienne au barrage de Port (bassin versant de 8'293 km²) ainsi que par le débit du bassin versant intermédiaire entre le barrage de Port et Murgenthal (bassin versant sans l'Emme de 887 km²).

Pour déterminer le PMF, les trois composantes de débit exposées ci-dessus sont d'abord considérées séparément puis de manière combinée. Le résultat est comparé aux études sur les crues extrêmes dans le bassin versant de l'Aar (canton BE 2007), qui ont été réalisées en 2007 sur mandat du canton de Berne. Les résultats sont résumés ci-après. Des détails sont donnés dans le rapport technique (AF-Colenco 2009d).

Débit du bassin versant de l'Emme

Le plus grand canal d'amenée de l'Aar entre le barrage de Port (Lac de Bienne) et le site de la CNN est l'Emme. La totalité du bassin versant est de 939 km² à la station de Wiler et de 443 km² à celle d'Emmenmatt. Des observations sont disponibles depuis 1922 pour Wiler et depuis 1918 pour Emmenmatt. Les crues de l'Emme montrent des pointes typiques, nettes et à court terme.

Des évaluations statistiques pour les fréquences d'occurrence de 10⁻²/a (HQ₁₀₀), 10⁻³/a (HQ_{1'000}) et 10⁻⁴/a (HQ_{10'000}) donnent des débits de 565, 850 et 900 m³/s pour la station de Wiler. Le débit maximal de l'Emme a atteint en 2007 sa valeur maximale observée de 663 m³/s. La crue extrême de 2005 a atteint une valeur de 583 m³/s.

La détermination du PMF de l'Emme est tout d'abord basée sur la crue de 2005. Pour cet événement d'une durée de 2 à 3 jours, des cartes de précipitations détaillées sont disponibles. Les fortes précipitations ont surtout touché environ 675 km² en amont du bassin versant de l'Emme.

D'autre part, des cartes PMP de différentes durées de pluie dans toute la Suisse ont été établies par l'EPF Lausanne sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie (PMP 2007). Une évaluation de ces cartes PMP donne pour Emmenmatt des valeurs 1.4 à 1.5 fois supérieures à celles de l'événement de crue de 2005. Sur la base de ce résultat, un PMF d'environ 1'000 m³/s est déterminé par mise à l'échelle pour la station de Wiler.

Débit du Lac de Bienne au niveau du barrage de Port

Lors d'événements de longue durée, en particulier de précipitations à grande échelle, il faut limiter du débit de l'Aar vers le Lac de Bienne au niveau du barrage de Port, la crue de l'Emme devant pouvoir être évacuée dans le cours de l'Aar en aval de leur confluence (OEH 1980/82).

Dans le cadre de la deuxième correction des cours d'eau du Jura (2^e CEJ), il a été décidé de recourir à la régulation des barrages, afin que le débit de l'Aar au niveau de Murgenthal ne dépasse pas 850 m³/s dans le cas normal (il s'agit de la condition dite de Murgenthal). Ce débit doit garantir que le risque de crue dans les secteurs sous-jacents ne s'intensifie pas encore en plus dans des situations déjà critiques.

Pour respecter le débit de 850 m³/s à Murgenthal, le débit au barrage de Port doit être considérablement réduit à une valeur inférieure à 650 m³/s.

Si on considère les dernières grandes crues des années 2005, 2006 et 2007, on constate certes d'une part que la condition de Murgenthal n'a pas pu être respectée en raison des pointes de crue de l'Emme (débits du Murgenthal: 937, 946 et 1'262 m³/s). D'autre part, les enregistrements de l'OFEV montrent qu'au moment des maxima de débits de l'Emme, le débit au niveau du barrage de Port a toujours été nettement inférieur à 650 m³/s (cf. chiffres en gras dans le tableau 3.5.-3 ci-dessous).

Tableau 3.5-3 Débits maxima mesurés de l'Emme et de l'Aar à Murgenthal et écoulement de l'Aar au barrage de Port (Brügg Ägerten)

Date de la crue	Débit maximal de l'Emme [m ³ /s]	Débit maximal à Murgenthal [m ³ /s]	Écoulement au barrage de Port le (date de crue) /1 jour plus tard (moyenne journalière) [m ³ /s]
22.08.2005	583	937	328 / 567
10.04.2006	179	946	445 / 616
09.08.2007	663	1'262	343 / 631

En raison de ces données, on tiendra compte - pour la détermination du PMF pour le site de la CNN - du fait que le débit du Lac de Bienne (barrage de Port), qui doit être superposé au PMF de l'Emme, s'élève au maximum à 650 m³/s.

Débit du bassin versant intermédiaire (ZE, Brügg - Murgenthal)

Contrairement à l'Emme, avec ses pointes à court terme, les débits du bassin versant intermédiaire sont compensés. Ils peuvent donc être reconstruits avec une précision suffisante à partir des moyennes journalières (MJ) des débits de Murgenthal et la déduction des moyennes journalières d'Emme et de Brügg:

$$Q_{MJ-ZE} = Q_{MJ-Murgenthal} - Q_{MJ-Emme} - Q_{MJ-Brügg}$$

La valeur maximale ainsi calculée des moyennes journalières de Q_{TM-ZE} s'élève à 240 m³/s. Elle a été atteinte pendant la crue de 2007. Des analyses de fréquence donnent un débit de crue de fréquence 10⁻³/a de 300 m³/s et un débit de crue de fréquence 10⁻⁴/a de 350 à 400 m³/s. Les débits du bassin versant intermédiaire sont superposés aux débits maxima de l'Emme. En ce qui concerne la détermination du PMF pour le site de la CNN, il est fait l'hypothèse que le débit du bassin versant intermédiaire n'est pas supérieur au débit de crue de fréquence 10⁻³/a 300 m³/s en cas de PMF simultané de l'Emme (1'000 m³/s). La combinaison de ces deux événements très rares pour la détermination du PMF pour le site de la CNN est pessimiste, car, pour des raisons hydrologiques resp. météorologiques, il est peu probable qu'ils se produisent simultanément.

Détermination du PMF pour le site de la CNN

Sur la base des considérations exposées ci-dessus, on obtient le PMF suivant pour le bassin versant de Murgenthal:

- Débit du Lac de Bienne 8barrage de Port)	650 m ³ /s
- Débit du bassin versant intermédiaire (10 ⁻³ /a)	300 m ³ /s
- PMF dans le bassin versant de l'Emme	1'000 m ³ /s
- PMF à Murgenthal = 650 + 300 + 1'000 m ³ /s	1'950 m ³ /s

Le PMF pour le site de la CNN se calcule proportionnellement à la dimension du bassin versant avec un facteur de 107.3 % du PMF à Murgenthal.

PMF pour le site de la CNN:	2'100 m ³ /s

Le rapport technique (AF-Colenco 2009d) montre que 2'100 m³/s peuvent effectivement être transportés par l'Aar en direction du barrage de Winznau.

Comparaison avec l'étude "Crues extrêmes dans le bassin versant de l'Aar"(Étude EHW)

Dans l'étude EHW (canton BE 2007), la totalité du bassin versant de l'Aar jusqu'à Murgenthal, y compris ses affluents les plus importants, a été analysée du point de vue des événements de crue extrêmes. Différents groupes de scénarios hydrométéorologiques (GSC) ont été développés:

- GSC 1: La fonte des neiges intense dans les Préalpes et les Alpes au printemps/au début de l'été et les précipitations intenses entraînent des niveaux d'eau élevés dans les lacs du Jura.
- GSC 2: La fonte des neiges dans le Mittelland, déclenchée à la fin de l'automne ou en hiver par un vent chaud ou des pluies intensives, entraîne un très grand apport d'eau du Mittelland
- GSC 3: Succession de plusieurs événements de précipitation de plusieurs jours à grande échelle et de forte intensité

Un modèle hydrologique a été développé dans l'étude EHW pour le bassin versant de l'Aar, sur la base des scénarios ci-dessus,. Pour le groupe de scénarios GSC 3, on obtient pour le débit à Murgenthal une moyenne journalière maximale de $1'355 \text{ m}^3/\text{s}$. Sur la base d'une analyse de l'ensemble des données de crue disponibles à Murgenthal, un débit maximal de $1.2 \times 1'355 = 1'626 \text{ m}^3/\text{s}$ a été déterminé (AF-Colenco 2009d).

Le débit maximal correspondant de l'Emme est déterminé comme suit:

- Débit maximal à Murgenthal	$1'626 \text{ m}^3/\text{s}$
- Débit maximal au Lac de Bienne (Etude EHW)	$-650 \text{ m}^3/\text{s}$
- Débit du bassin versant intermédiaire sans l'Emme	$-300 \text{ m}^3/\text{s}$
- Débit maximal de l'Emme	$676 \text{ m}^3/\text{s}$

Une évaluation de ces cartes PMP donne des valeurs 1.2 à 1.4 fois supérieures à celles des précipitations régionales utilisées pour le GSC (AF-Colenco 2009d). Sur la base de ce résultat, un PMF de $1.4 \times 676 \approx 950 \text{ m}^3/\text{s}$ est déterminé par mise à l'échelle pour l'Emme à la station de Wiler. On obtient ainsi pour le site de la CNN un PMF de $1.073 \times (950 + 300 + 650) \approx 2'040 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le PMF de $2'040 - 2'100 \text{ m}^3/\text{s}$ déterminé par deux méthodes est comparé ci-après avec la crue de sécurité qui doit être considérée pour l'analyse de sécurité des ouvrages d'accumulation. Conformément aux directives de l'OFEV 2002a, la crue de sécurité correspond à 1.5 fois HQ1'000 ou $1.5 \times 1'450 \text{ m}^3/\text{s} = 2'175 \text{ m}^3/\text{s}$. Dans beaucoup d'autres pays, la crue de sécurité pour les ouvrages d'accumulation correspond au PMF.

Le PMF de $2'100 \text{ m}^3/\text{s}$ déterminé plus haut pour le site de la CNN est confirmé par ce calcul de comparaison.

Perspective

Par une modification du règlement de régulation, une régulation sur prévision à nouvellement été introduite pour le Lac de Bienne (OFEV 2009). Elle devrait permettre un meilleur respect de la condition de Murgenthal à l'avenir, à savoir la valeur cible de $850 \text{ m}^3/\text{s}$ pour le débit maximal de l'Aar à la station de Murgenthal.

3.5.2.3 Conditions d'étiage extrêmes

L'analyse de fréquence des moyennes journalières minimales annuelles pendant la période de mesure de 1935 à 2006 donne - pour la fréquence d'occurrence de $10^{-4}/\text{a}$ - un débit d'étiage de $66 \text{ m}^3/\text{s}$ à la station de Murgenthal avec un intervalle de confiance de 90% (figure 3.5-5). Le débit d'étiage pour le site de la CNN est calculé à $71 \text{ m}^3/\text{s}$, suivant le rapport des bassins versants de la station de Murgenthal et du site de la CNN.

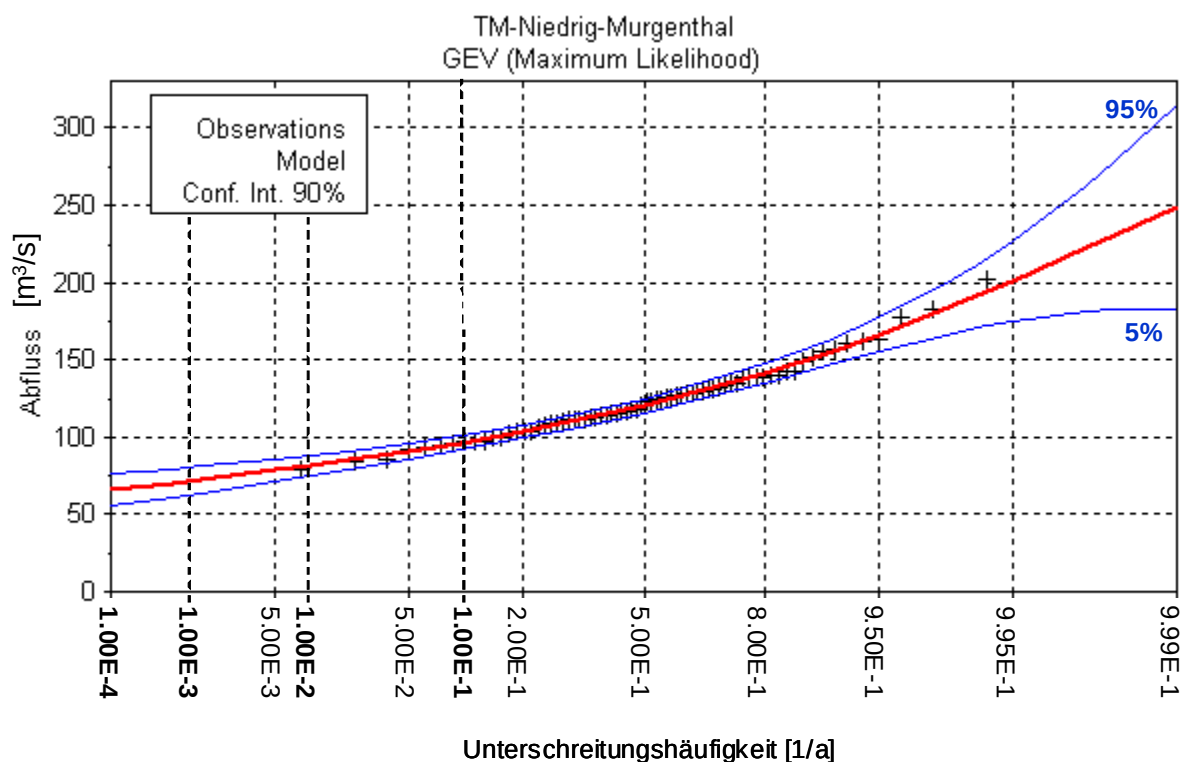


Figure 3.5-5 Analyse de fréquences des minima annuels sur à Murgenthal avec un intervalle de confiance de 90%

Les débits d'étiage déterminés se basent sur les moyennes journalières minimales. Depuis 1974, les débits minima absolus sont également déterminés (figure 3.5-3). Le rapport entre les moyennes journalières minimales et les débits minima absolus peut être représenté par une régression linéaire (figure 3.5-6).

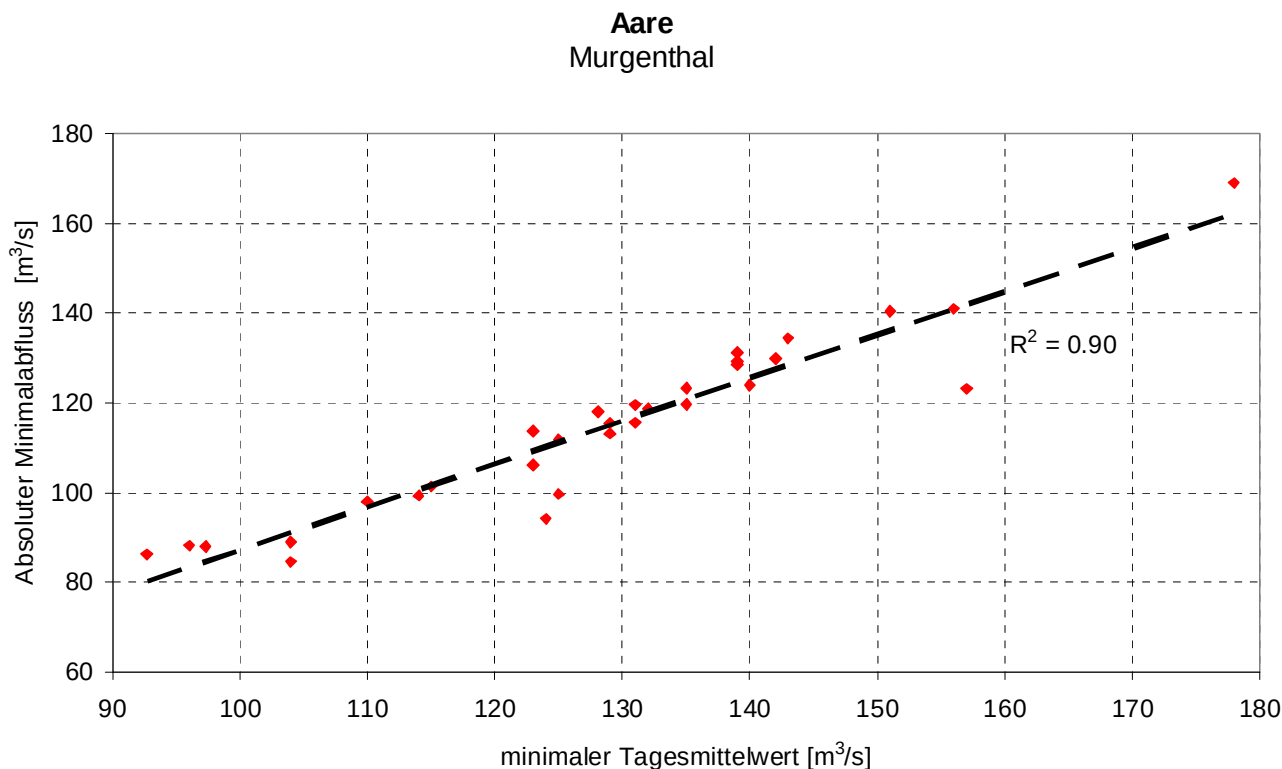


Figure 3.5-6 Rapport entre les débits minima absolus et les moyennes journalières minimales

Le débit d'étiage de 71 m³/s peut être déterminé par conversion à partir de la régression et sur la base des débits minima absolus. Le débit d'étiage extrême à fréquence d'occurrence de 10⁻⁴/a sur le site de la CNN s'élève donc à 59 m³/s.

En tenant compte du débit résiduel maximal dans l'Ancienne Aar de 15 m³/s (Atel Hydro 2008), au moins 44 m³/s restent disponibles dans le canal d'amenée de la centrale hydro-électrique de Gösgen, même en cas d'étiage extrême de 59 m³/s. L'alimentation en eau d'environ 5 m³/s pour le système d'eau de refroidissement auxiliaire est donc assurée.

Dans la base de données utilisée pour la régression linéaire, les débits minima absolus extrêmes de 1990 et 1993 ne sont pas pris en compte (cf. figure 3.5-3). La valeur de 59 m³/s exposée ci-dessus peut donc être interprétée comme le débit d'étiage extrême, qui peut se produire dans des conditions "naturelles" dans l'Aar. Comme mentionné au chapitre 3.5.2.1, on peut observer des valeurs plus faibles à court terme, qui s'écartent fortement de la moyenne journalière correspondante. Ces écarts à court terme sont dus à des perturbations de l'exploitation dans les centrales hydro-électriques situées en amont (barrage de Port, Flumenthal, Bannwil, Wynau, Ruppoldingen) et ne sont que de courte durée. Le rapport technique (AF-Colenco 2009d) montre que, dans des cas extrêmes et tout au plus pour une durée de quelques heures dans des conditions de débit résiduel maximal dans l'Ancienne Aar, au moins 30 m³/s peuvent s'écouler par le canal d'amenée.

L'alimentation en eau d'environ 5 m³/s pour le système d'eau de refroidissement auxiliaire est assurée dans tous les cas.

Perspective

Si on considère les 35 dernières années, on ne constate ni une augmentation ni une diminution marquée des moyennes journalières minimales par année. La valeur moyenne des moyennes journalières minimales par année s'élève sur le site de la CNN à environ 135 m³/s (figure 3.5-3), pendant la période de 1972 à 2006. Il n'y a pas de raison de supposer que cette moyenne à long terme des moyennes journalières minimales annuelles changera de façon significative au cours des prochaines décennies, surtout parce qu'on ne s'attend pas à ce que le changement climatique influence les conditions d'étiage.

En ce qui concerne les perturbations d'exploitation mentionnées ci-dessus avec des débits plus faibles à court terme, il est probable que ceux-ci se produisent plus rarement à l'avenir en raison de l'amélioration continue des conditions d'exploitation et de la coordination des centrales hydro-électriques.

3.5.2.4 Substrat du lit

Dans le cadre de l'étude de faisabilité pour la réactivation de matériaux charriés sur l'Aar, une vaste étude a été réalisée sur le thème des matériaux charriés entre l'Emme et le Rhin (cantons AG, BE, SO 1996). Il en ressort que les sédiments du lit entre Wynau et Olten - Gösigen ne sont mobilisés et charriés en aval de l'Aar que lors des événements de crue de grande ampleur ou extrêmes. La figure 3.5-7 présente le diamètre moyen d_m et le diamètre moyen d_{90} (90 % en poids des grains sont plus fins que d_{90}) du substrat du lit.

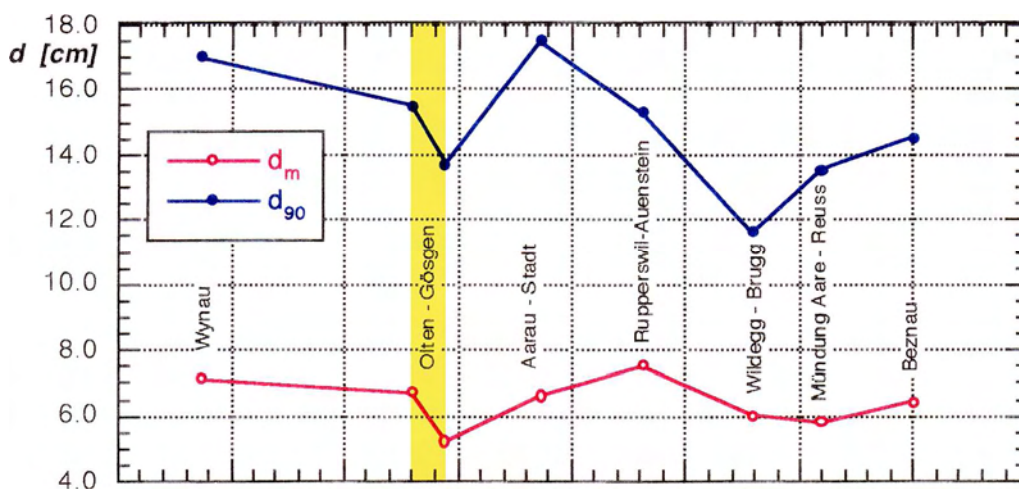


Figure 3.5-7 Diamètres granulométriques caractéristiques d_m et d_{90} du substrat du lit de l'Aar dans le profil longitudinal (cantons AG, BE, SO 1996)

La figure 3.5-8 présente la composition des matériaux charriés sur l'Aar entre Wynau et Aarau. La granulométrie des matériaux charriés est plus fine que celle du substrat du lit. Il est donc probable que les matériaux charriés dans l'Aar dans le secteur analysé viennent essentiellement des affluents (Emme et Wigger). Le fait que le lit de l'Aar soit très fortement pavé et puisse à peine être mobilisé confirme cette hypothèse. Les diamètres granulométriques sont pris en considération lors des calculs morphologiques (cf. chapitre 3.5.2.7).

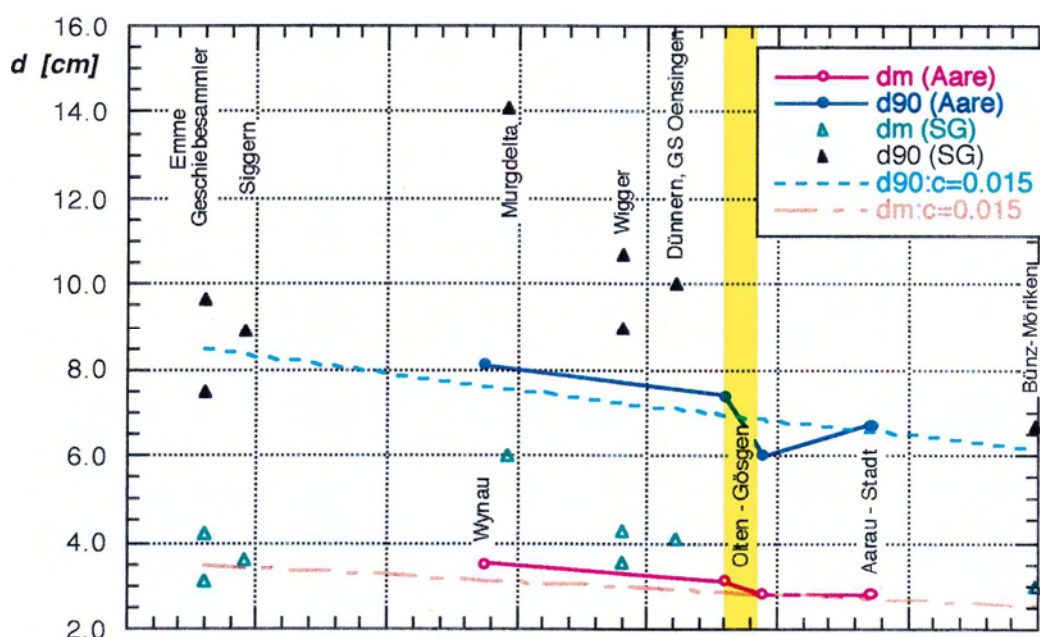


Figure 3.5-8 Diamètres granulométriques caractéristiques dm et $d90$ des matériaux charriés de l'Aar dans le profil longitudinal (cantons AG, BE, SO 1996) (c : facteur de frottement, SG: affluents)

3.5.2.5 Matériaux charriés

Comme déjà mentionné, le substrat du lit de l'Aar est très grossier et la couche extérieure (figure 3.5-7) peut à peine être mobilisée. Le charriage des matériaux est effectué essentiellement à partir des affluents. Les apports principaux des matériaux charriés sur l'Aar viennent de l'Emme et de Wigger.

Sur la base de la période d'observation disponible de 10 ans (1981 - 1990) (canton AG, BE, SO 1996) et dans l'hypothèse que les matériaux sont charriés essentiellement dans l'Aar lors d'événements de crue, les matériaux charriés sont estimés à 90'000 m³ pour le débit de crue de fréquence de 10⁻⁴/a (1'700 m³/s). Il est présumé qu'en cas d'événement de crue de fréquence de 10⁻⁴/a, ces matériaux sont charriés jusqu'au barrage de Winznau sur l'Aar.

3.5.2.6 Température de l'eau de rivière

Valeurs de mesure

Les valeurs de mesure disponibles indiquent une hausse des températures de l'eau dans les rivières suisses, qui va de pair avec le réchauffement de l'air (figure 3.5-9, source: OcCC 2007).

La température de la rivière de l'Aar est enregistrée par la CNG depuis le 17.12.2002 dans le déversoir ZM00 du canal d'amenée (KKG 2009a). La température la plus faible mesurée pendant cette période est de 2.35 °C, la température la plus élevée a atteint une valeur de 24.73 °C.

Des séries de mesure de longue date de la température de la rivière sont disponibles pour le niveau Aar-Brugg (1970 - 2008), la station hydrométrique la plus proche dans la région du site. La série chronologique de cette station montre une augmentation de température d'environ 0.5 K tous les 10 ans (figure 3.5-10). La température annuelle moyenne de l'Aar s'élève actuellement à environ 12.5 °C. Les températures journalières moyennes varient depuis 1970 entre 2 °C et 23 °C. Ces valeurs montrent que les températures de l'eau entre la station ZM00 de la KKG et le niveau Aar - Brugg ne présentent pas de différence notable. Au cours de la période considérée depuis 1990, le nombre de jours à températures supérieures à 20°C augmente, alors que le nombre de jours à températures inférieures à 5°C diminue. Il est probable que le comportement observé, des périodes plus longues avec des températures d'eau plus élevées, perdure au long terme.

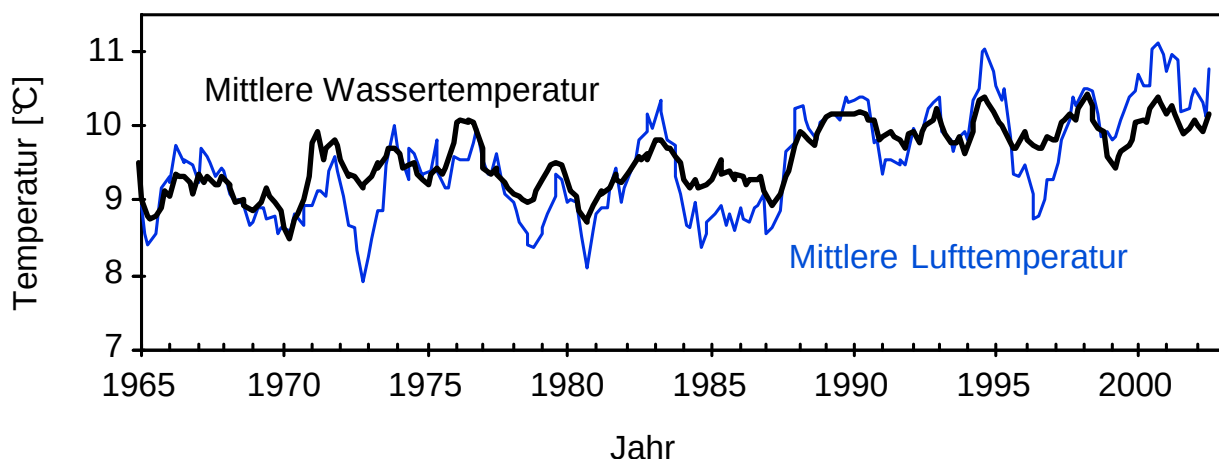


Figure 3.5-9 Augmentation de longue date de la température moyenne de l'eau dans les rivières en Suisse (courbe noire) depuis 1965, évolution parallèle à l'augmentation de la température de l'air (courbe bleue) (OcCC 2007)

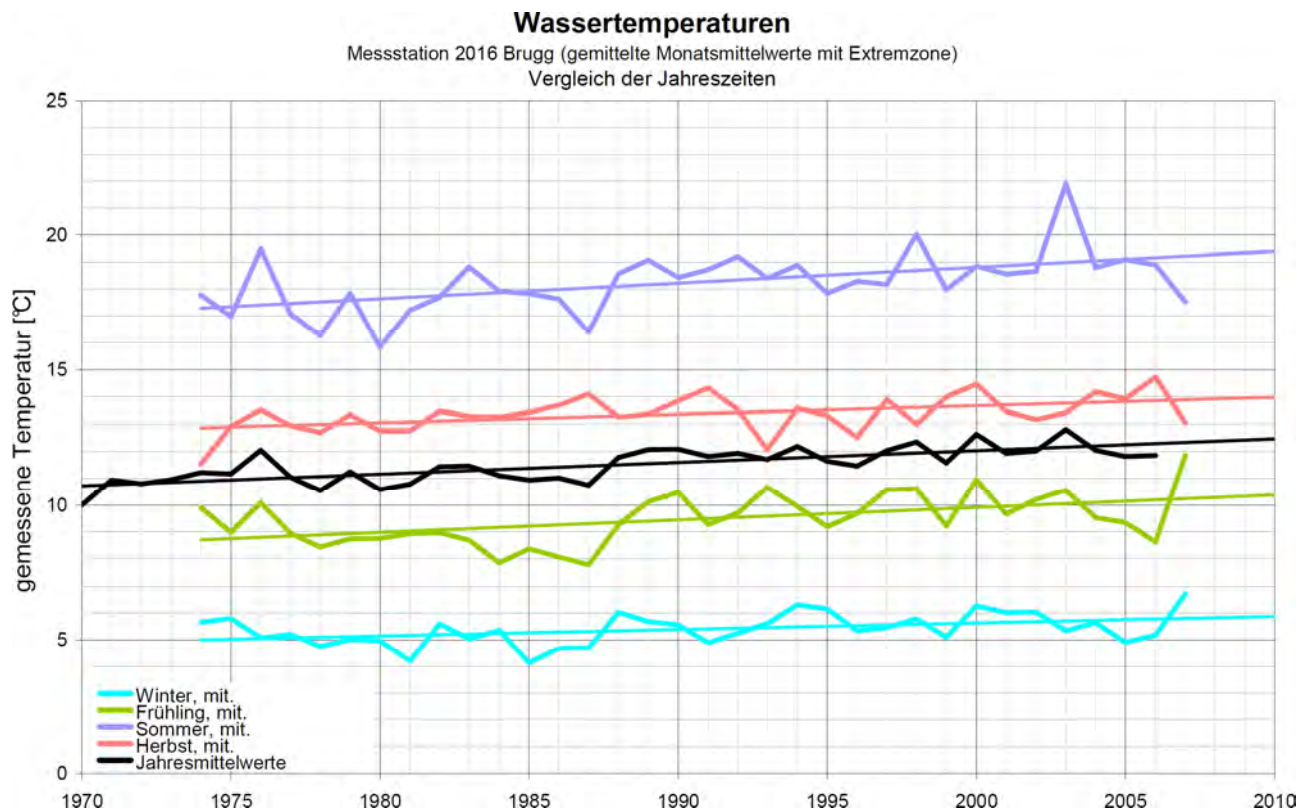


Figure 3.5-10 Moyennes des moyennes mensuelles des températures de l'eau de l'Aar, station de mesure Aar - Brugg. Moyennes annuelles et comparaison avec les saisons à l'aide de droites de régression à titre indicatif

La comparaison des températures moyennes d'eau montre une différence de température entre l'hiver et l'été d'environ 12 - 14 K.

Gel des captages d'eau du fleuve

Le retour d'expériences de la centrale nucléaire existante CNG montrent qu'il n'y a jamais eu de blocage d'une amenée d'eau de refroidissement auxiliaire par gel ou par arrivée de glace flottante au cours de l'exploitation de plus de 30 ans déjà. Malgré tout, à des températures ambiantes continuellement basses et, par conséquent, des températures d'eau très basses en hiver, il est possible que les grilles d'entrée de l'eau de refroidissement auxiliaire provenant des canaux d'amenée et/ou de fuite, prévues en option pour la CNN, gèlent. Dans le cas extrême, ceci pourrait entraîner le blocage complet de l'afflux.

Dans des conditions météorologiques normales, le gel des régions périphériques dans la zone du niveau d'eau de l'orifice d'entrée dans l'ouvrage de prélèvement n'est pas critique, car le prélèvement d'eau de refroidissement auxiliaire pour la CNN sera conçu de manière à ce qu'il s'arrête également en cas d'étiage en-dessous du niveau d'eau.

La formation de la glace de frazil pourrait constituer un point critique. Ce phénomène a été observé dans les régions climatiques du nord (USACE en 1991). En raison des très faibles températures de l'air, -6°C et moins, la surface d'un cours d'eau se refroidit fortement et rapidement jusqu'au point de congélation. Dans l'eau refroidie, la formation des cristaux de glace commence p. ex. sur les matières en suspension existantes dans l'eau. Le courant turbulent d'une rivière resp. du vent soutient l'échange thermique et provoque le mélange des cristaux de glace et de l'eau qui n'est pas encore gelée, produisant ainsi de la glace de frazil. Le courant de la rivière entraîne en outre une répartition relativement homogène de la glace de frazil dans la section d'écoulement, contrairement à la glace gelée qui flotte à la surface des eaux en raison de sa densité. Il est donc possible que de la glace de frazil soit aspirée dans l'ouvrage de captage et qu'une couche de glace se forme à l'étape de nettoyage mécanique, qui pourrait entraîner la perte de l'alimentation en eau de refroidissement.

Pour l'évaluation du risque de givrage d'un prélèvement d'eau de refroidissement auxiliaire du canal d'amenée et/ou de fuite, la série chronologique 1974 à 2008 des températures journalières en-dessous du niveau de la station Aar - Brugg est utilisée en raison de sa longueur. Étant donné qu'il n'y a pas d'afflux important entre les deux endroits, on peut supposer que la température de l'eau entre les deux points ne change pas de manière notable. L'admissibilité de cette hypothèse a été confirmée par une comparaison des valeurs de mesure Aar - Brugg avec les enregistrements de la température dans le déversoir de la CNG sur le canal d'amenée pendant les années 2003 à 2008 (KKG 2009a). La température minimale observée à Aar - Brugg s'élève à 0.71°C et a été enregistrée en 1985, c'est-à-dire après le démarrage de la CNG, et n'a pas entraîné de givrage de l'alimentation en eau de refroidissement auxiliaire de la CNG. On peut supposer qu'un prélèvement d'eau de refroidissement auxiliaire pour la CNN à des températures de l'eau supérieures à 0.71°C n'entraînera pas de givrage. Aucune observation n'est disponible, pour des températures inférieures à 0.71°C . Il est donc tout à fait possible que le givrage ne commence qu'à partir de températures plus faibles.

La distribution de Gumbel des minima, ajustée à l'aide de la méthode du maximum de vraisemblance (Maximum-Likelihood-Method), permet de déterminer la fréquence de sous-dépassement de la température d'eau de 0.71°C . La figure 3.5-11 montre l'évolution de la fonction des probabilités totales obtenue avec un intervalle de confiance de 90%. En-dessous de 0°C , l'eau devient la glace, et c'est la raison pour laquelle le diagramme s'arrête à cette valeur.

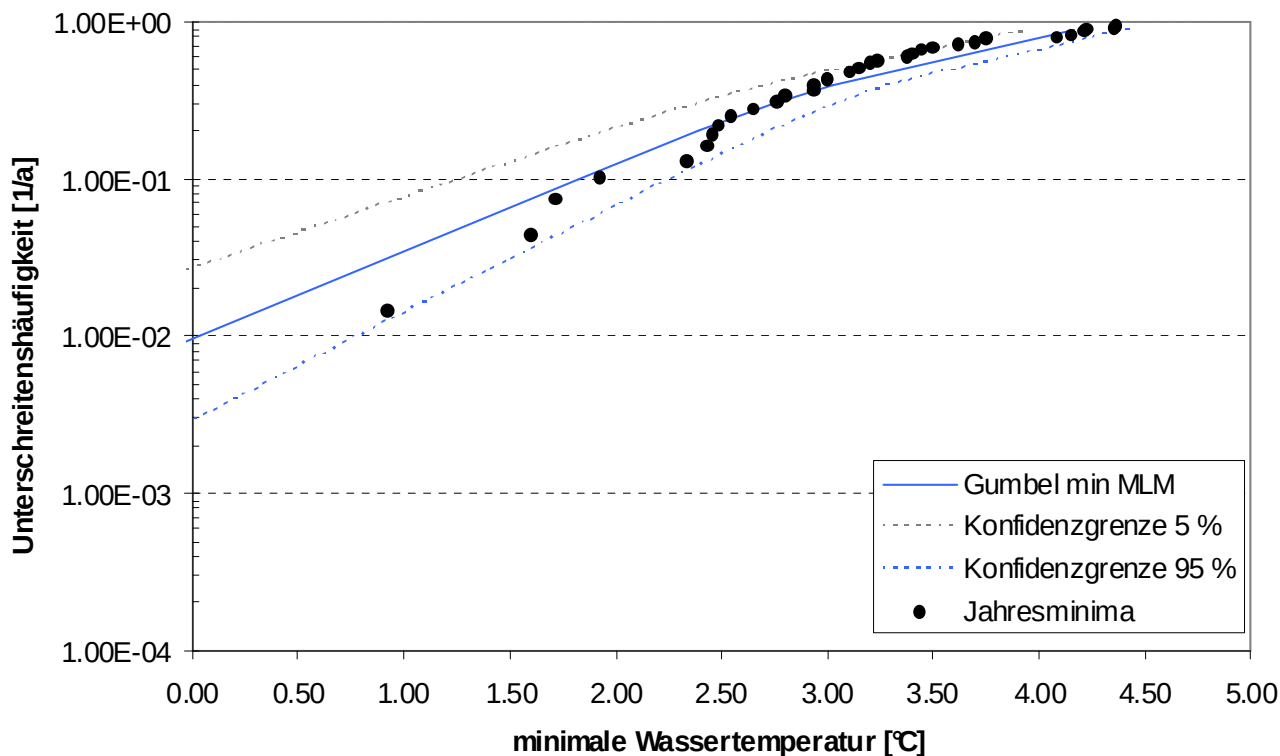


Figure 3.5-11 *Fonction de répartition de la température minimale annuelle de l'eau au niveau Aar - Brugg, adaptée aux températures journalières minimales des années 1974 - 2008, avec un intervalle de confiance de 90 %*

Les évaluations montrent que la température passe sous 0.71 °C à une fréquence de $2.4 \cdot 10^{-2}/\text{a}$. Le point de congélation de l'eau est atteint avec une fréquence de $9.6 \cdot 10^{-3}/\text{a}$.

D'éventuelles mesures à prendre contre le gel dépendent du concept du système d'eau de refroidissement auxiliaire. Ce dernier sera traité de manière détaillée dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, en tenant compte des systèmes diversitaires (cellules de réfrigération, eaux souterraines pour les cas d'urgence).

Le gel peut être maîtrisé par des mesures appropriées comme la recirculation de l'eau de refroidissement chaude dans le captage d'eau de refroidissement, le rétrolavage des étages d'épuration mécaniques, des grilles de retenue et des cribles avec un revêtement spécial ainsi que par des mesures organisationnelles.

Températures extrêmement élevées

Pour déterminer la température devant être considérée comme maximale avec une fréquence d'occurrence de $10^{-4}/a$, on aura recours à la chronique de mesures de longue durée de la température journalière moyenne de l'eau de la rivière au niveau Aar - Brugg.

La distribution de Gumbel est ajustée à cette série de mesures à l'aide de la méthode maximum de vraisemblance (Maximum-Likelihood-Method). La figure 3.5-12 présente l'évolution qui en résulte et l'intervalle de confiance de 90%.

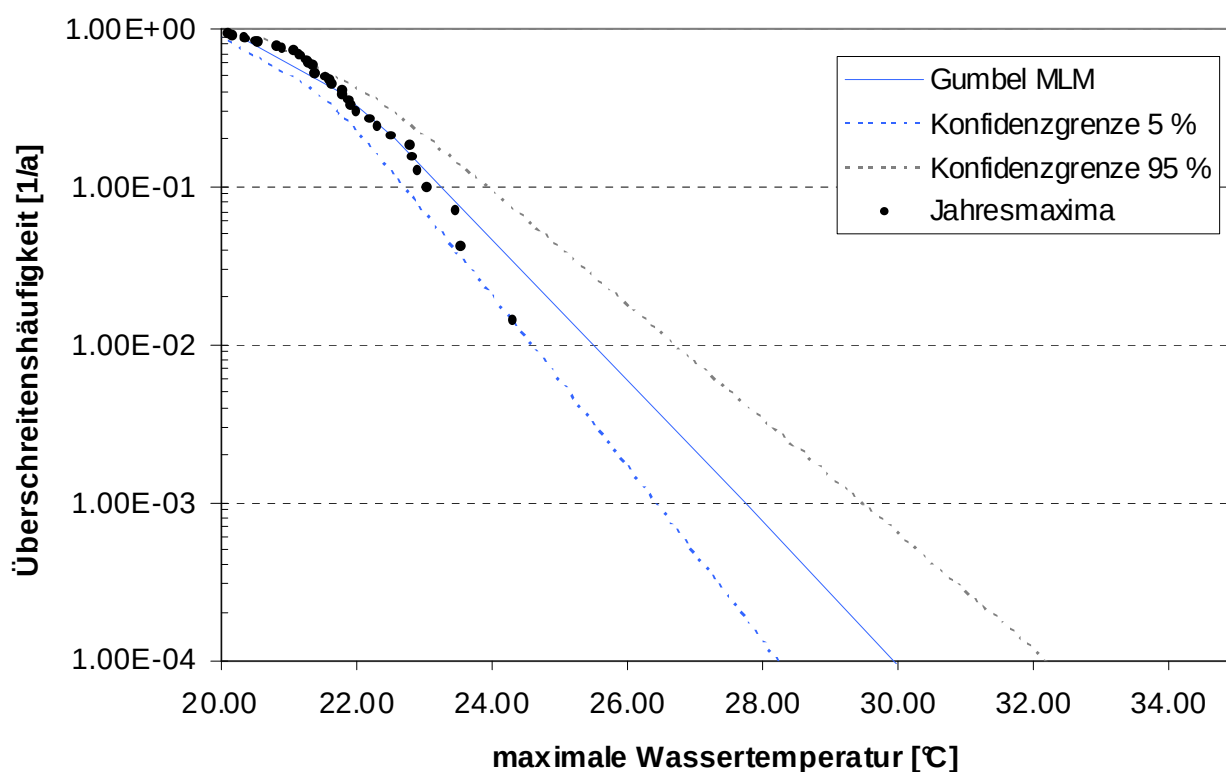


Figure 3.5-12 *Fonction de répartition de la température maximale annuelle de l'eau au niveau Aar - Brugg, adaptée aux températures journalières maximales des années 1974 - 2008, avec un intervalle de confiance de 90%*

Selon la distribution de Gumbel, la valeur de température (intervalle de confiance de 90%, 28°C - 32°C) correspondant à une fréquence de dépassement de $10^{-4}/a$ est de 30°C.

Évaluation

Les températures de l'eau seront prises en compte lors de la conception des systèmes d'eau de refroidissement.

Pour le choix des options d'eau de refroidissement auxiliaire dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, il sera clarifié de manière définitive, en tenant compte des systèmes diversitaires (cellules de réfrigération, eaux souterraines pour les cas d'urgence), dans quelle mesure les valeurs extrêmes de température de l'eau de rivière doivent être prises en compte de manière déterministe.

Perspective

Il ressort d'une analyse des observations au niveau Aar - Brugg que la température de l'eau de l'Aar augmente d'environ 0.5 K tous les 10 ans. A moyen terme, une poursuite de cette tendance est probable, c'est-à-dire à des périodes plus longues de températures d'eau plus chaudes (OcCC 2007). Il ressort de la figure 3.5-10 que cette évolution dans les observations au niveau Aar - Brugg est moins marquée en hiver (1 K en 35 ans).

En ce qui concerne un risque de givrage potentiel, il est probable que celui-ci diminue encore à l'avenir en raison du réchauffement climatique et en conséquence de l'augmentation des températures de l'eau.

3.5.2.7 Modélisations des inondations

Les inondations résultant de crues sur le site de la CNN sont simulées par voie numérique sur la base de différents scénarios.

Sur la base des hauteurs d'inondation calculées, les cotes minimales de l'aire principale sont déterminées pour les événements respectifs (cf. tableau 3.5-9).

Dans le modèle d'inondation, l'aire principale de la CNN est simulée comme île non inondable. Ainsi, en hypothèse pénalisante, il est considéré que l'écoulement de l'eau sur le terrain n'est pas pris en compte. Il est en outre postulé que le débit total des crues passe par l'Ancienne Aar, c.-à-d. qu'il n'y a pas de décharge par le canal d'amenée de la centrale hydro-électrique de Gösgen. Pour les scénarios comportant l'hypothèse de ruptures de la digue latérale du canal d'amenée, une approche pénalisante est utilisée: le débit via le canal n'est pas déduit du débit total de crue dans l'Ancienne Aar.

Les simulations ont été effectuées en deux étapes. Lors de la première étape, différents scénarios avec différents débits et conditions aux limites sont considérés. La simulation des scénarios permet d'identifier l'évènement de crue déterminant pour le site de la CNN. Au cours de la deuxième étape, une analyse de sensibilité est effectuée pour l'évènement de crue déterminant. De plus, les phénomènes morphologiques (lit mobile avec et sans charriage de matériaux) sont simulés dans deux scénarios distincts.

Le modèle, les conditions aux limites, le calage, les scénarios et les simulations effectuées sont décrits ci-dessous. Des informations détaillées sont contenues dans le rapport technique (AF-Colenco 2009d).

Outil de calcul

Le système de programmes HYDRO_AS-2D (Nujic 2008) est utilisé pour les calculs hydrauliques. Les calculs avec un lit mobile (calculs morphologiques) sont réalisés avec BASEMENT-1D (BASEMENT 2008).

Conditions aux limites

Débit amont

Les calculs des inondations avec le modèle 2D sont effectués avec une condition à la limite de débit amont permanente, ce qui est une condition pénalisante; les résultats correspondants des calculs sont donc pessimistes. Les valeurs de débit amont du modèle correspondent aux débits de pointes de crues déterminés au chapitre 3.5.2.2.

Pour les calculs de morphologie, une condition à la limite permanente n'a pas de fondement physique. Aussi, ces calculs sont effectués en écoulement transitoire avec un hydrogramme de crue généré sur la base des données historiques (figure 3.5-13).

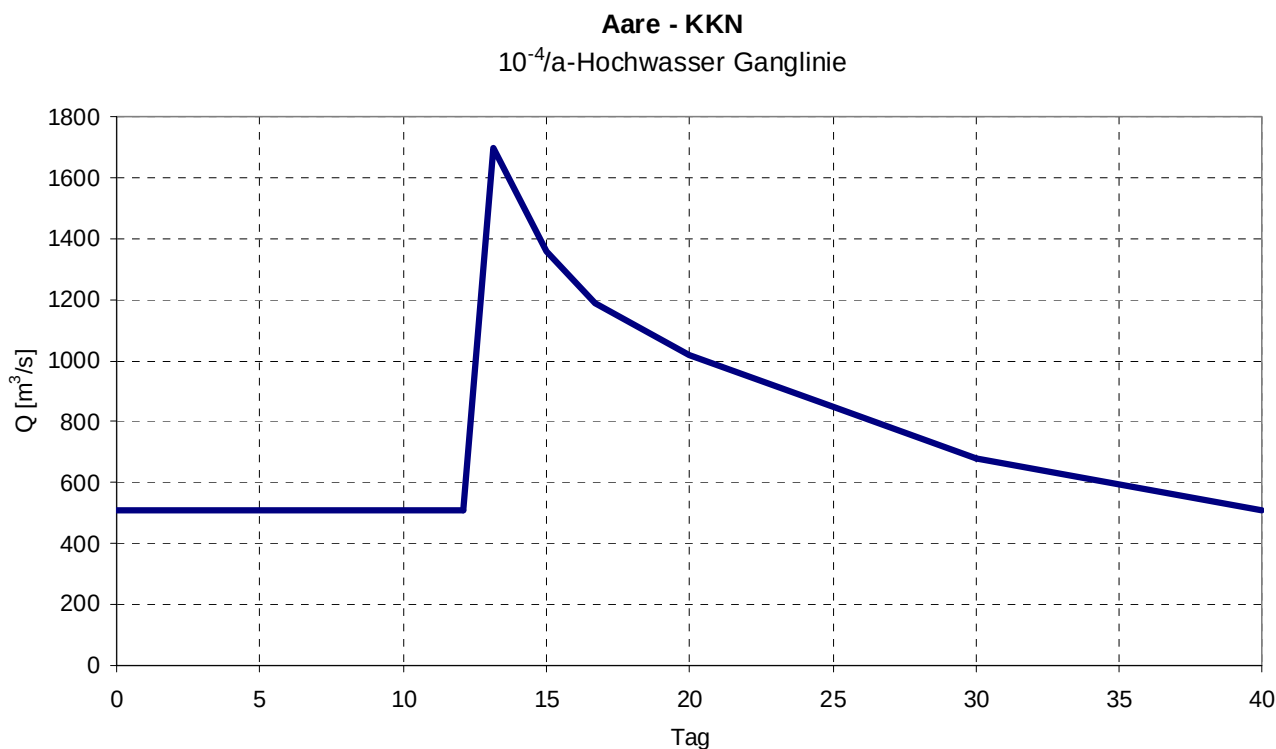


Figure 3.5-13 hydrogramme de crue pour le débit de crue de fréquence de $10^{-4}/a$ sur le site de la CNN

Matériaux charriés

Pour les calculs d'évolution morphologique, les matériaux charriés doivent être définis sous la forme d'un limnigramme sur le bord supérieur. A cette fin, un limnigramme des matériaux d'un volume de $90'000 \text{ m}^3$ charriés dans l'Aar a été déterminé sur la base du limnigramme de la crue de fréquence de $10^{-4}/a$ (figure 3.5-14).

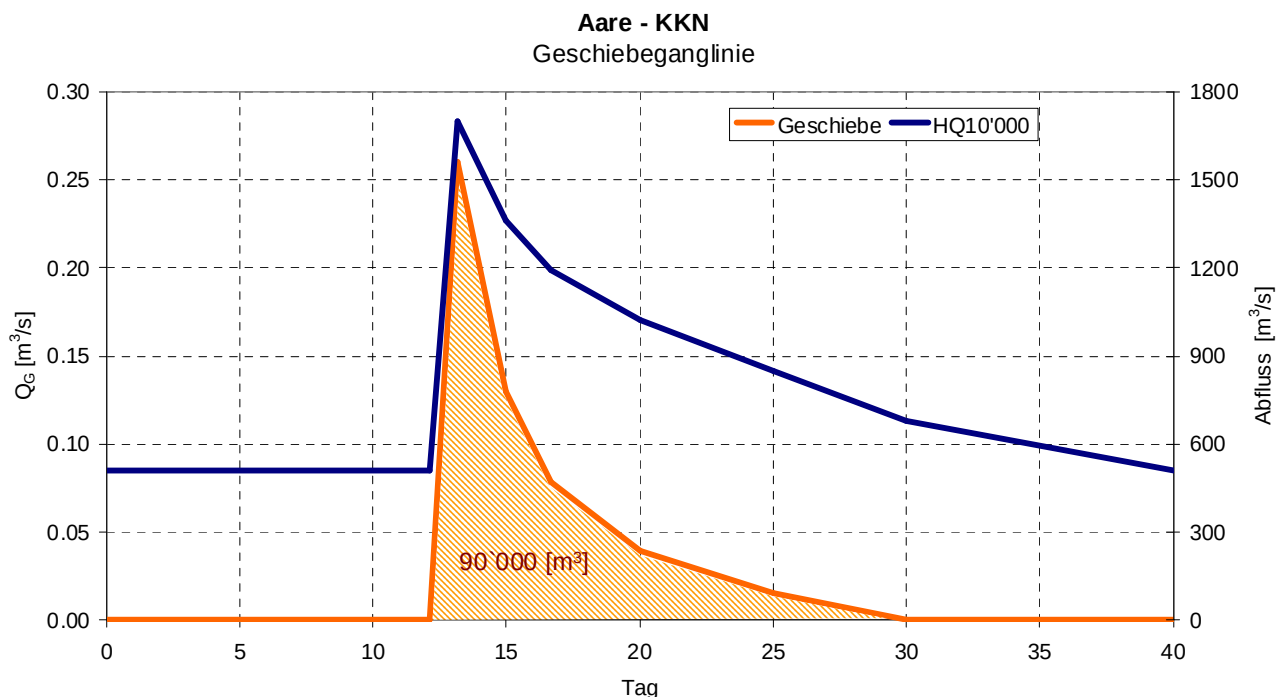


Figure 3.5-14 Hydrogramme de charriage (QG) pour un débit de crue de fréquence de $10^{-4}/a$

Structure du modèle de terrain

Le modèle de terrain pour les calculs d'inondations est généré sur la base des données topographiques numériques existantes sous la forme d'un réseau numérique. La figure 3.5-15 présente le modèle de terrain utilisé.

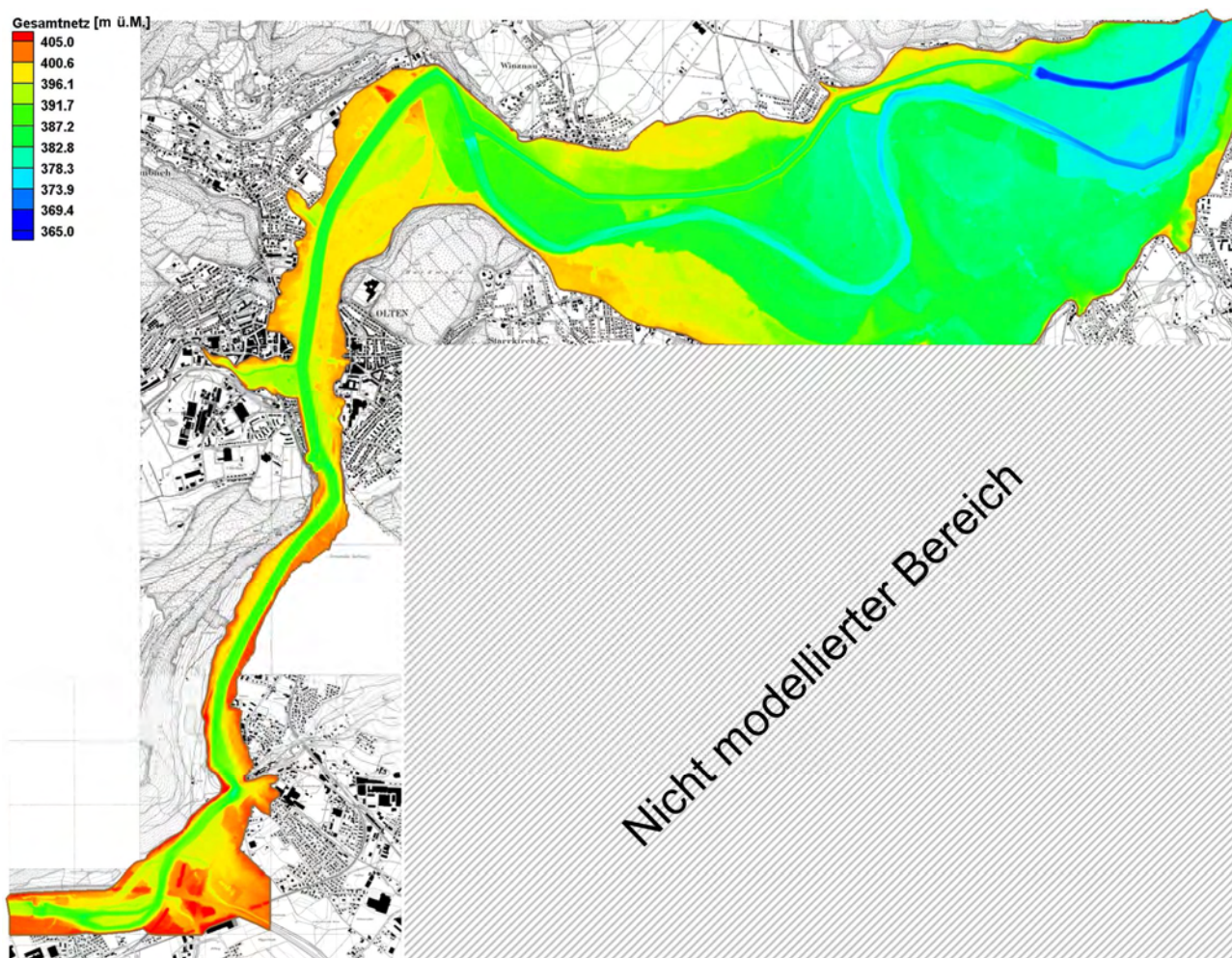


Figure 3.5-15 *Modèle de terrain pour le modèle bidimensionnel*

Pour les calculs d'évolution morphologique, des profils en travers sont établis à faibles intervalles à partir du modèle de terrain 2D (figure 3.5-16).

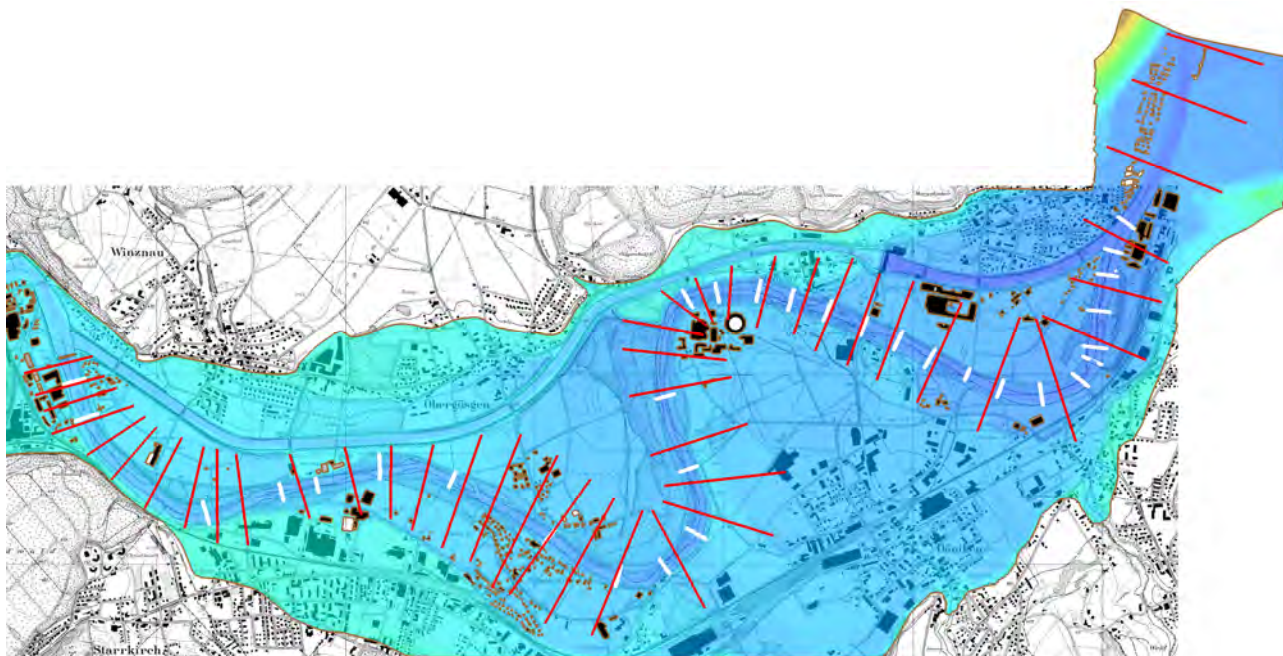


Figure 3.5-16 *Position des profils en travers déterminés à partir du modèle de terrain 2D (rouge) pour le modèle 1D et les profils en travers déterminés sur place sur le terrain (blanc)*

Calage

Calage du modèle bidimensionnel

Le modèle a été calé sur la base des mesures du niveau d'eau aval au barrage de Winznau (figure 3.5-17). De plus, l'évènement de crue de 2007 a été simulé et comparé à des prises de vues aériennes correspondantes. On constate une bonne concordance aussi bien en ce qui concerne les surfaces inondées que les profondeurs d'eaux. La figure 3.5-18 et la figure 3.5-19 comparent à titre d'exemple, les résultats des calculs et les prises de vues aériennes lors de la crue de 2007 en aval de la bifurcation Ancienne Aar - canal d'amenée.

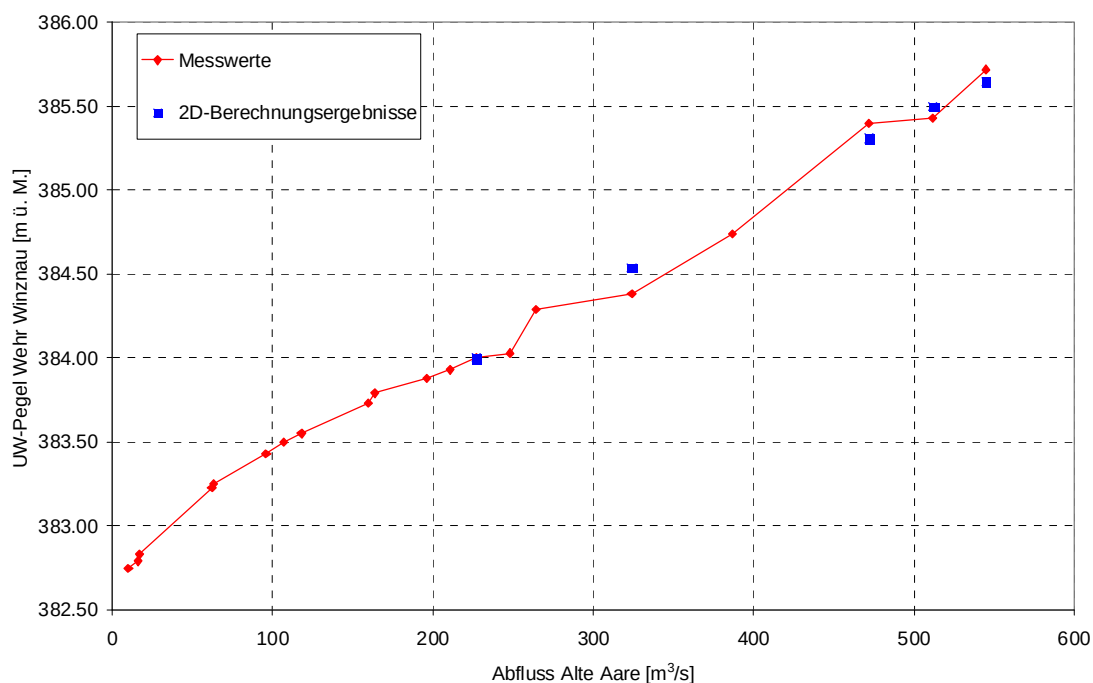


Figure 3.5-17 Niveaux d'eau mesurés et calculés en aval immédiat du barrage de Winznau

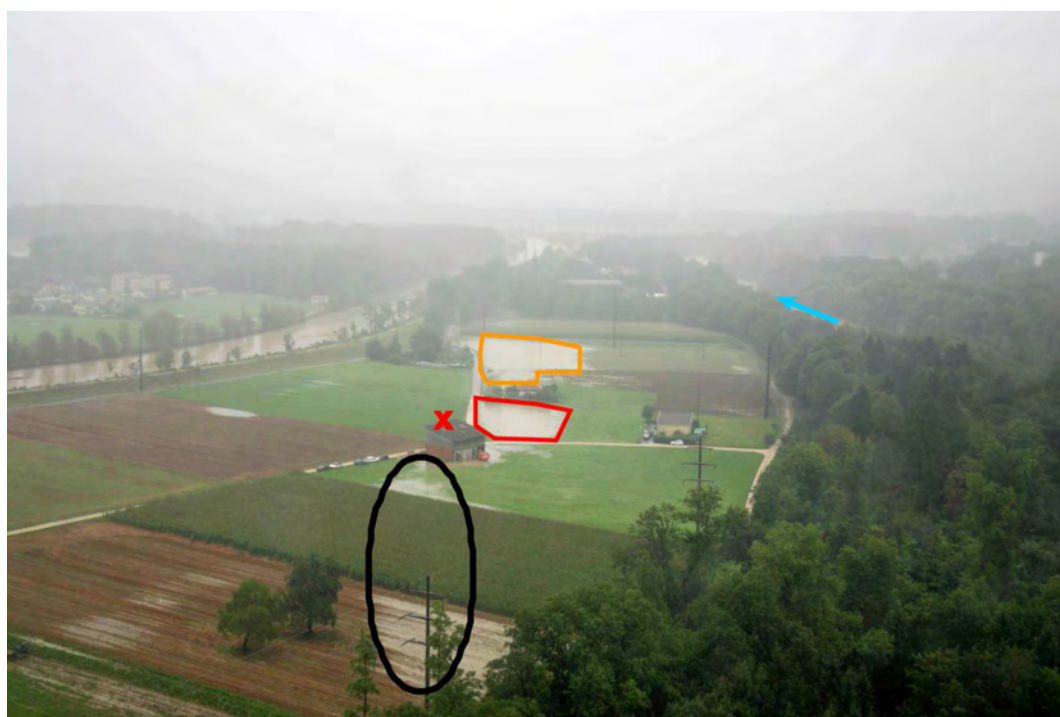


Figure 3.5-18 Prises de vues aériennes lors de la crue de 2007 (X est une aide à l'orientation pour la comparaison avec la figure 3.5-19. La flèche indique la direction d'écoulement dans l'Ancienne Aar)

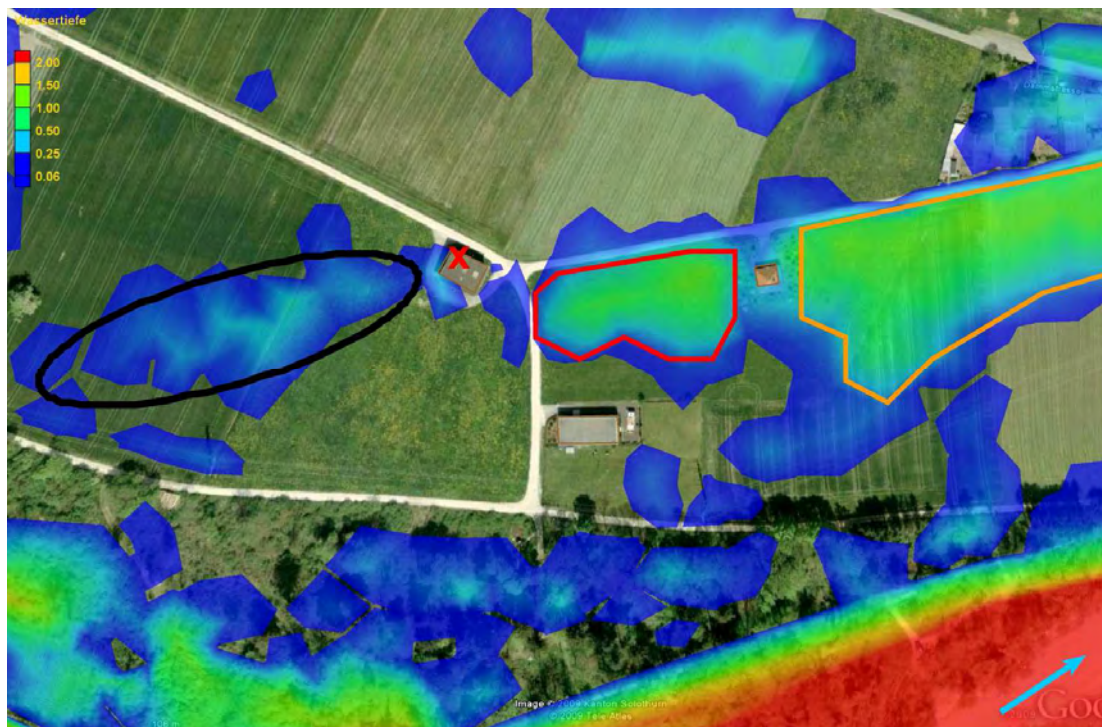


Figure 3.5-19 Résultat des simulations de la crue de 2007 (X est une aide à l'orientation pour la comparaison avec la figure 3.5-18.
La flèche indique la direction d'écoulement dans l'Ancienne Aar)

Calage du modèle à une dimension

Le modèle 1D a également été calibré sur la base des mesures de niveau des eaux en aval au barrage de Winznau (figure 3.5-20).

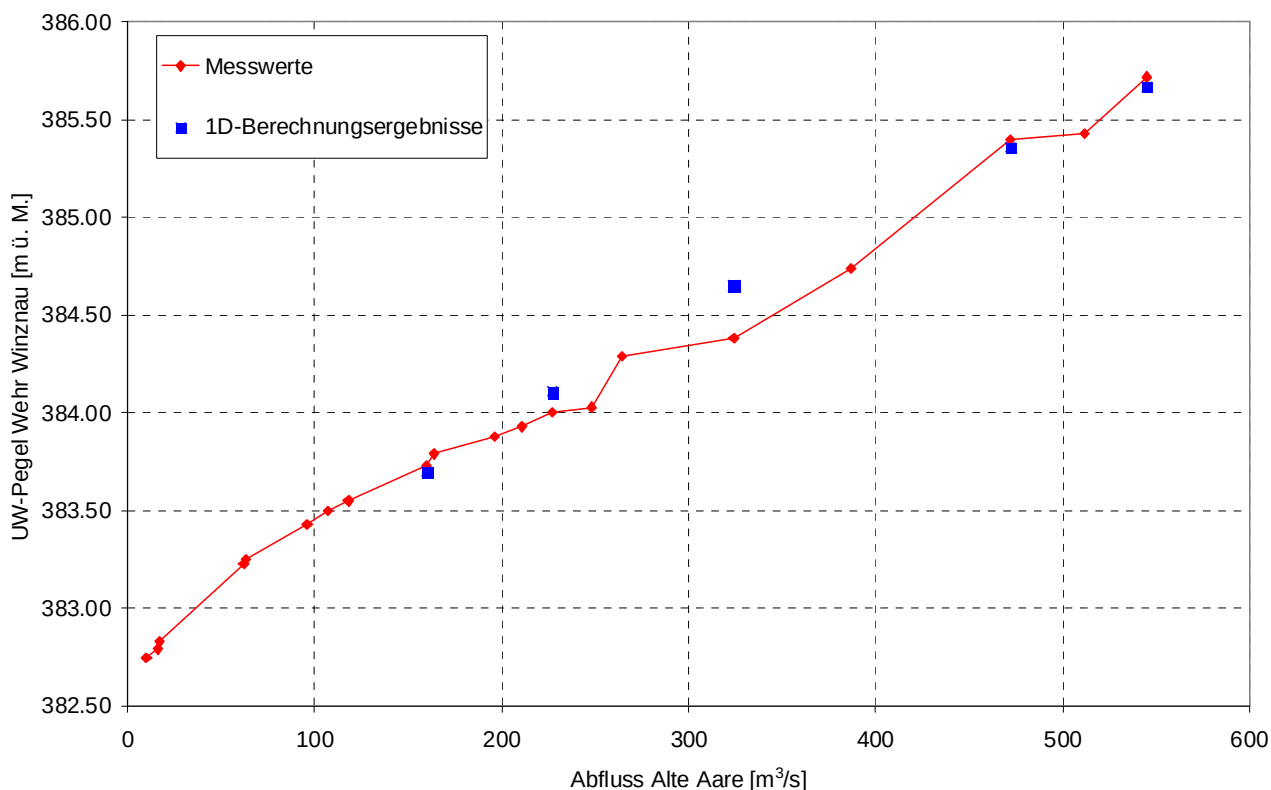


Figure 3.5-20 Niveaux d'eau mesurés et calculés en aval immédiat du barrage de Winznau

Scénarios de calcul

Les calculs sont répartis en deux groupes de scénarios distincts.

Groupe de scénarios N°1 - Détermination de la crue déterminante

Pour le groupe de scénarios N°1, différents débits et conditions aux limites sont considérés et l'évènement de crue déterminant est déterminé.

Les scénarios pris en considération sont résumés au tableau 3.5-4.

Tableau 3.5-4 Groupe de scénarios N°1

Scénario	Événement principal	Débit de l'Aar [m ³ /s]	Évènement supplémentaire	
			Rupture momentanée barrage Winznau	Brèche dans le barrage
1 - 1	Q _{extension} (débit équipé de la centrale hydro-électrique de Gösgen, 2008)	380	oui	non
1 - 2	Débit de crue de fréquence 1/a	780	oui	non
1 - 3	Débit de crue de fréquence 10 ⁻² /a	1'300	oui	non
1 - 4	Débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a	1'700	oui	non
1 - 5	Débit de crue de fréquence 1/a	780	non	oui
1 - 6	Débit de crue de fréquence 10 ⁻³ /a	1'450	non	non
1 - 7	Débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a	1'700	non	non
1 - 8	Rupture des ouvrages d'accumulation dans le bassin versant de l'Aar	---	non	non

Pour tous les événements, la règle (n-1) est prise en compte pour le barrage de Winznau, c.-à-d. la fermeture des passes les plus puissantes du barrage avant la rupture du barrage. Tous les scénarios, à l'exception du numéro (1 - 8), sont simulés à l'aide d'un modèle 2D. Les calculs de l'ancien Office fédéral des eaux et de la géologie sont quant à eux utilisés pour le scénario (1 - 8) (OFEG) (OFEN 2009). Conformément aux indications de l'OFEG, les calculs 1D effectués se basent sur des hypothèses extrêmement pénalisantes. La superposition d'une combinaison particulièrement défavorable comprenant la rupture de tous les barrages en béton sur la Saane et l'Aar (Hongrin + Montsalvens + Rossens + Schiffenen + Wohlensee) est analysée. Les résultats correspondants des calculs d'inondation de l'OFEG sont donc également pessimistes.

Résultats des calculs du groupe de scénarios N°1

Les niveaux d'eau calculés sont présentés dans le rapport technique (AF-Colenco 2009d).

Le *tableau 3.5-5* présente les niveaux d'eau maxima au point dit critique de l'Aar (*figure 3.5-21*). Au point critique, les berges présentent une cote de 382.00 m s. m. Si la crue dépasse cette cote, l'eau entraîne une inondation de la zone plus basse, située plus basse à l'arrière côté rive est, là où se trouve l'aire principale de la CNN. Les cotes minimales de l'aire principale respectivement requises pour éviter une inondation de l'aire principale sont indiquées dans le *tableau 3.5-9* en fonction des scénarios étudiés.

Tableau 3.5-5 Niveaux d'eau maxima calculés au point critique (figure 3.5-21)

Scénario	Événement principal	Niveau d'eau max. [m s. m.]
1 - 1	Q _{extension}	377.95*
1 - 2	Débit de crue de fréquence 1/a	380.30*
1 - 3	Débit de crue de fréquence 10 ⁻² /a	381.95*
1 - 4	Débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a	382.70
1 - 5	Débit de crue de fréquence 1/a	380.05*
1 - 6	Débit de crue de fréquence 10 ⁻³ /a	382.35
1 - 7	Débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a	382.65
1 - 8	Rupture des ouvrages d'accumulation dans le bassin versant de l'Aar	381.50*

* Pas d'inondation du secteur à l'est du point critique (aire principale de la CNN incluse)

La figure 3.5-21 indique la brèche dans la digue pour le scénario (1 - 5) et le point critique.

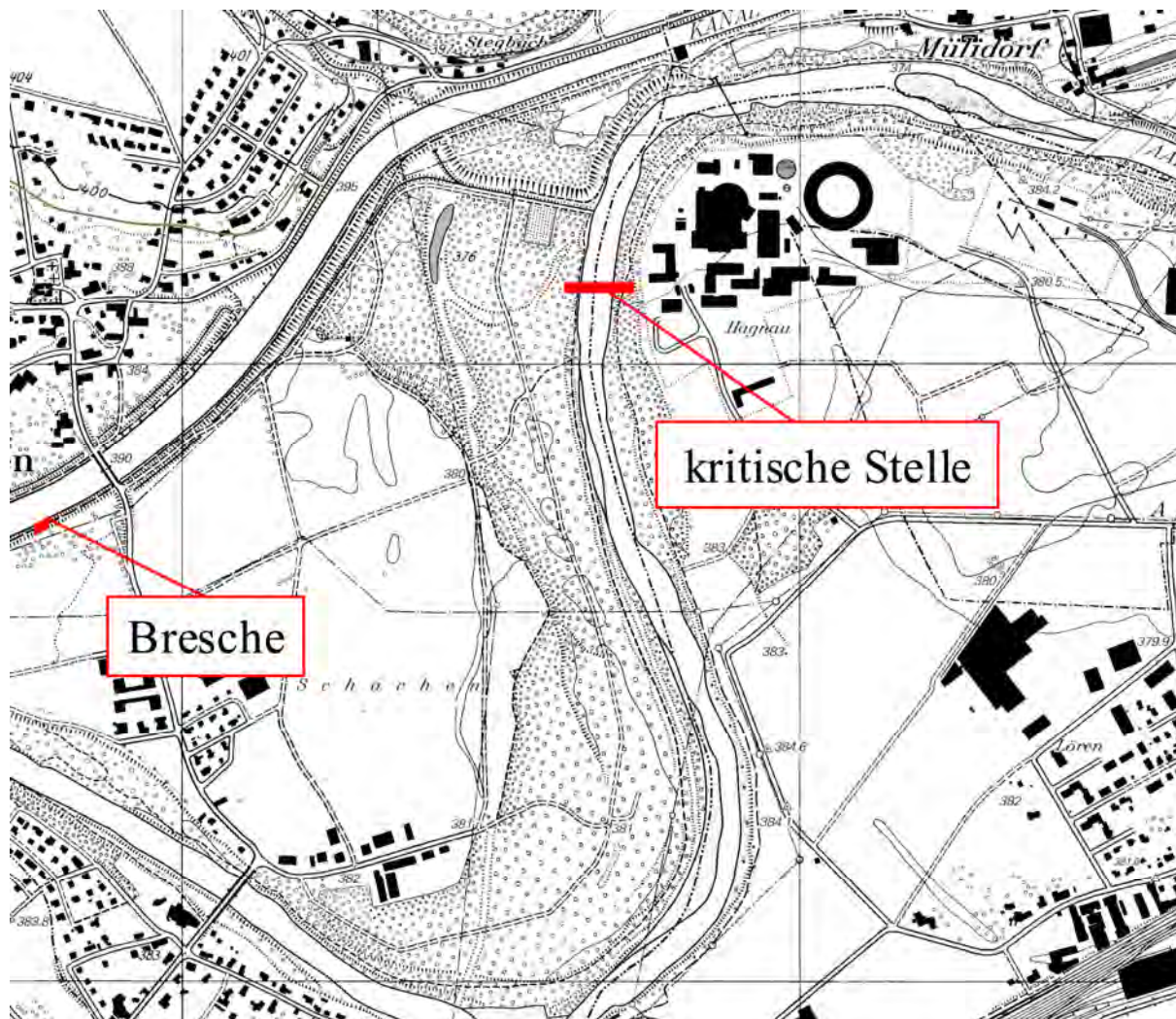


Figure 3.5-21 Brèche dans la digue latérale du canal d'amenée et position du point critique pour les niveaux d'eau calculés

Sur la base des résultats de calcul de l'ensemble des scénarios et de la très faible différence entre le cas du débit de crue de fréquence $10^{-4}/a$ avec rupture de barrage (scénario 1 - 4) et le cas identique sans rupture de barrage (scénario 1 - 7), l'évènement isolé du débit de crue à fréquence de $10^{-4}/a$ sans rupture de barrage est considéré comme évènement de crue déterminant. La figure 3.5-22 indique les niveaux d'eau calculés et la surface inondée suite au débit de crue de fréquence de $10^{-4}/a$. Sur la base de cet évènement de crue déterminant, les autres scénarios (groupe de scénarios 2) sont définis et, parmi ceux-ci, ceux à ruptures de barrage sont pris en compte.

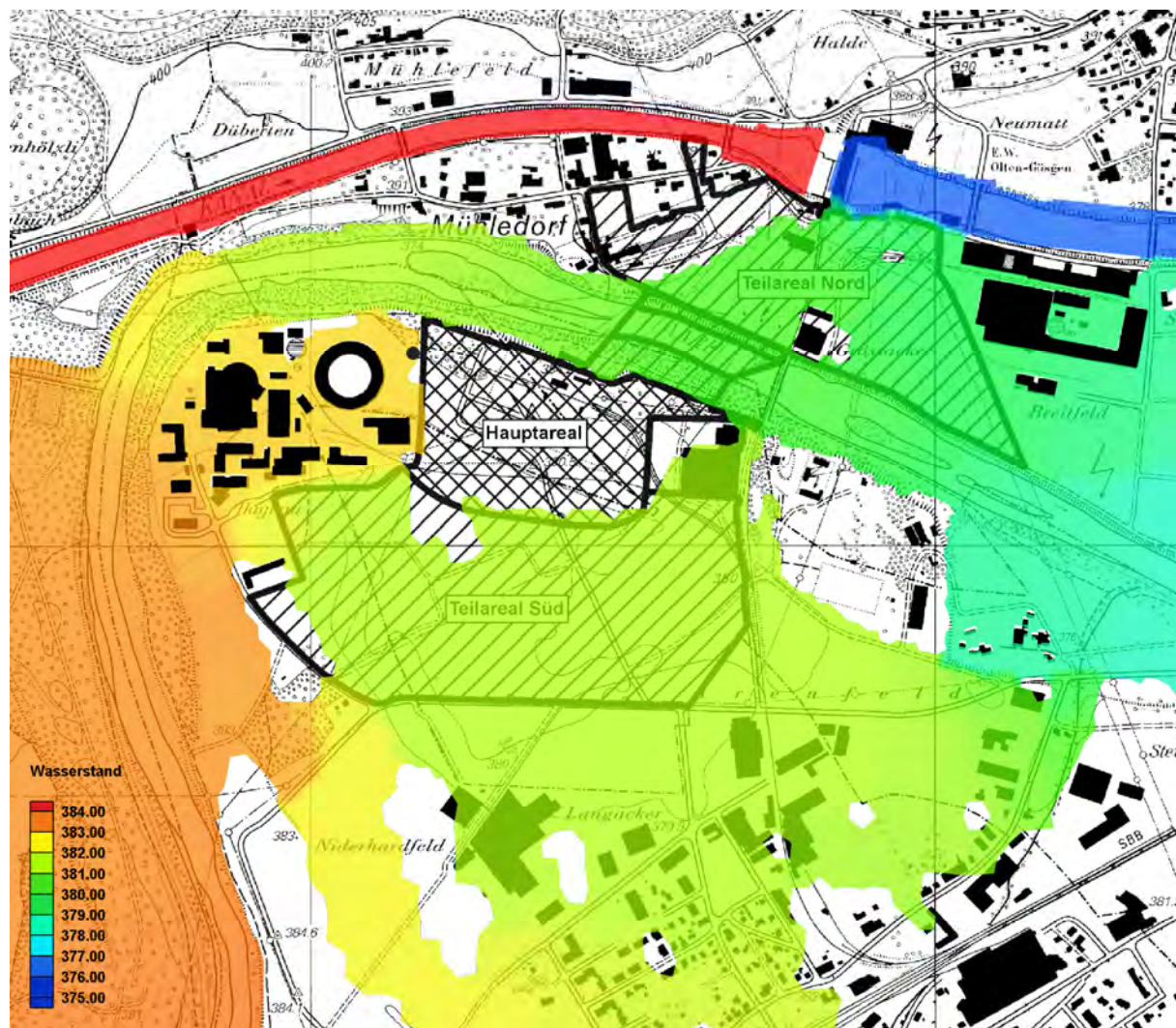


Figure 3.5-22 Niveaux d'eau calculés et la surface inondée suite au débit de crue de fréquence $10^{-4}/a$ (scénario 1 - 7)

Groupe de scénarios N°2 - Analyse de sensibilité à la crue déterminante

Le groupe de scénarios N°2 sert essentiellement à l'analyse de sensibilité pour l'évènement de crue déterminant à fréquence d'occurrence de $10^{-4}/a$. Un scénario avec une inondation au PMF est également considéré.

Les cas de calcul sont résumés dans le tableau 3.5-6.

Ils sont répartis en deux catégories principales:

1. Scénarios hydrauliques qui ont été étudiés à l'aide du modèle bidimensionnel (scénarios 2 - 1 à 2 - 13). L'augmentation de dix pour cent du débit pour le scénario (2 - 2) prend également en compte une augmentation du débit amont pour les événements extrêmes, causée par une augmentation des précipitations due aux changements climatiques (cf. chapitre 3.5.2.2). L'impact des obstructions du pont de l'Aar à Gösgen, par exemple par le bois flottant, est analysé au moyen des scénarios (2 - 6) et (2 - 7) (figure 3.5-23).
2. Scénarios d'évolution morphologiques qui ont été étudiés au moyen du modèle monodimensionnel (scénarios 2 - 14 à 2 - 15)

Dans les scénarios d'évolution morphologiques, le lit de la rivière est considéré comme mobilisable (lit mobile) contrairement aux scénarios hydrauliques. Le substrat du lit et les matériaux charriés peuvent ainsi être érodés, transportés et déposés par le courant. On déterminera si le lit mobile a des répercussions importantes sur les hauteurs d'inondation calculées.

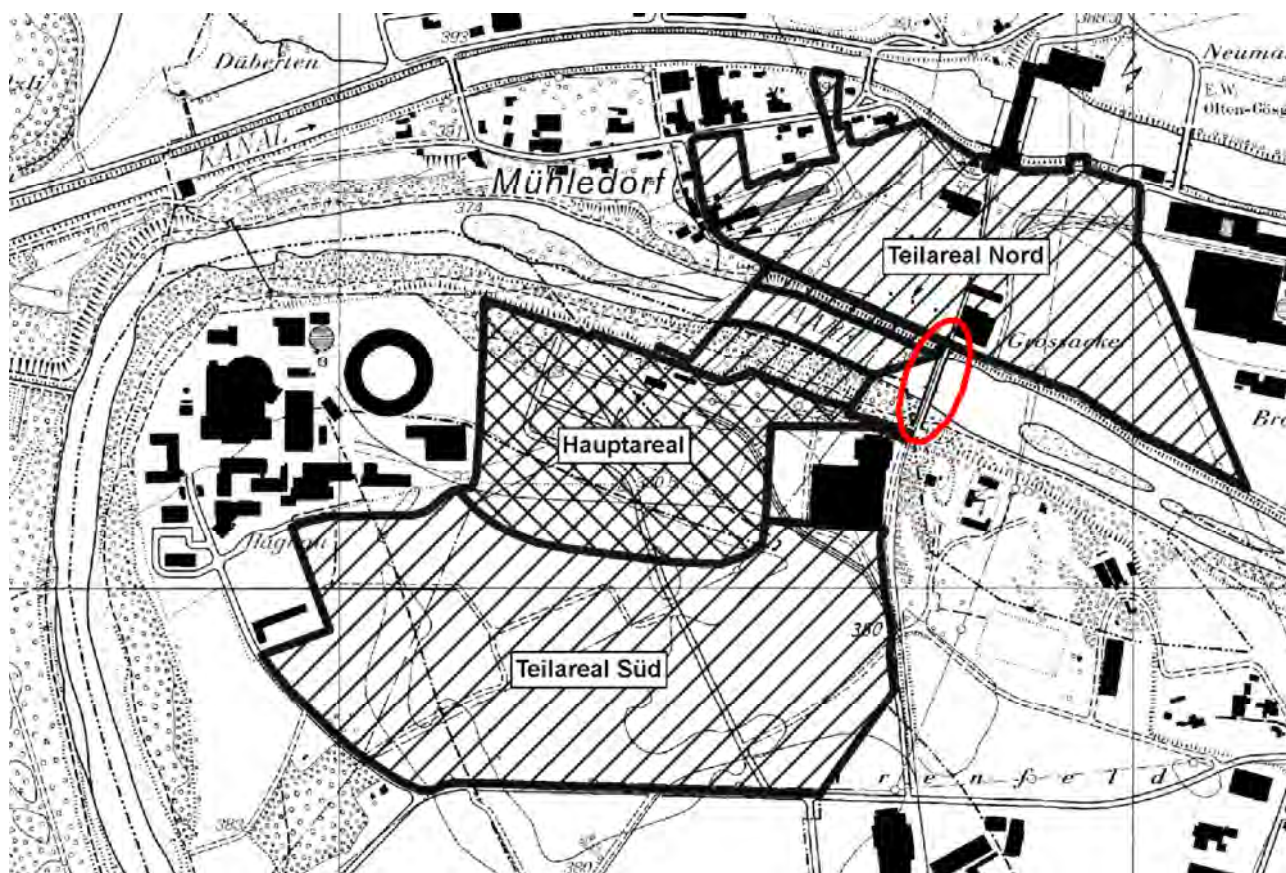


Figure 3.5-23 Point d'obstruction - Pont sur l'Aar Gösgen

Tableau 3.5-6 Groupe de scénarios N°2

Scénario	Évènement	Débit de l'Aar [m³/s]	Modèle
2 - 1	Débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a (= scénario 1 - 7)	1'700	Modèle bidimensionnel (2D)
2 - 2	> Débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a (Q x 110 %)	1'870	
2 - 3	< Débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a (Q x 90 %)	1'530	
2 - 4	PMF	2'100	
Scénario	Débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a 1 évènement supplémentaire	Débit de l'Aar [m³/s]	
2 - 5	Obstruction de pont 0 % (= scénario 2 - 1)	1'700	
2 - 6	Obstruction de pont 50 %		
2 - 7	Obstruction de pont 100 %		
2 - 8	Rupture de barrage Winznau (n-1) (= scénario 1 - 4)	1'700	
2 - 9	Rupture de barrage Winznau (n-2)		
2 - 10	Rupture de barrage Winznau (n-n)		
2 - 11	Rupture de digue - brèche 1	1'700	
2 - 12	Rupture de digue - brèche 2		
2 - 13	Rupture de digue - brèche 3		
2 - 14	Lit mobile sans charriage de matériaux	1'700	Modèle 1D
2 - 15	Lit mobile avec charriage de matériaux		

En ce qui concerne la règle (n-x), il est fait l'hypothèse que sur un total de n passes du barrage Winznau, les x passes les plus puissantes sont fermées avant la rupture du barrage.

La figure 3.5-24 montre la position des brèches le long du canal d'amenée pour les scénarios (2 - 11 à 2 - 13).

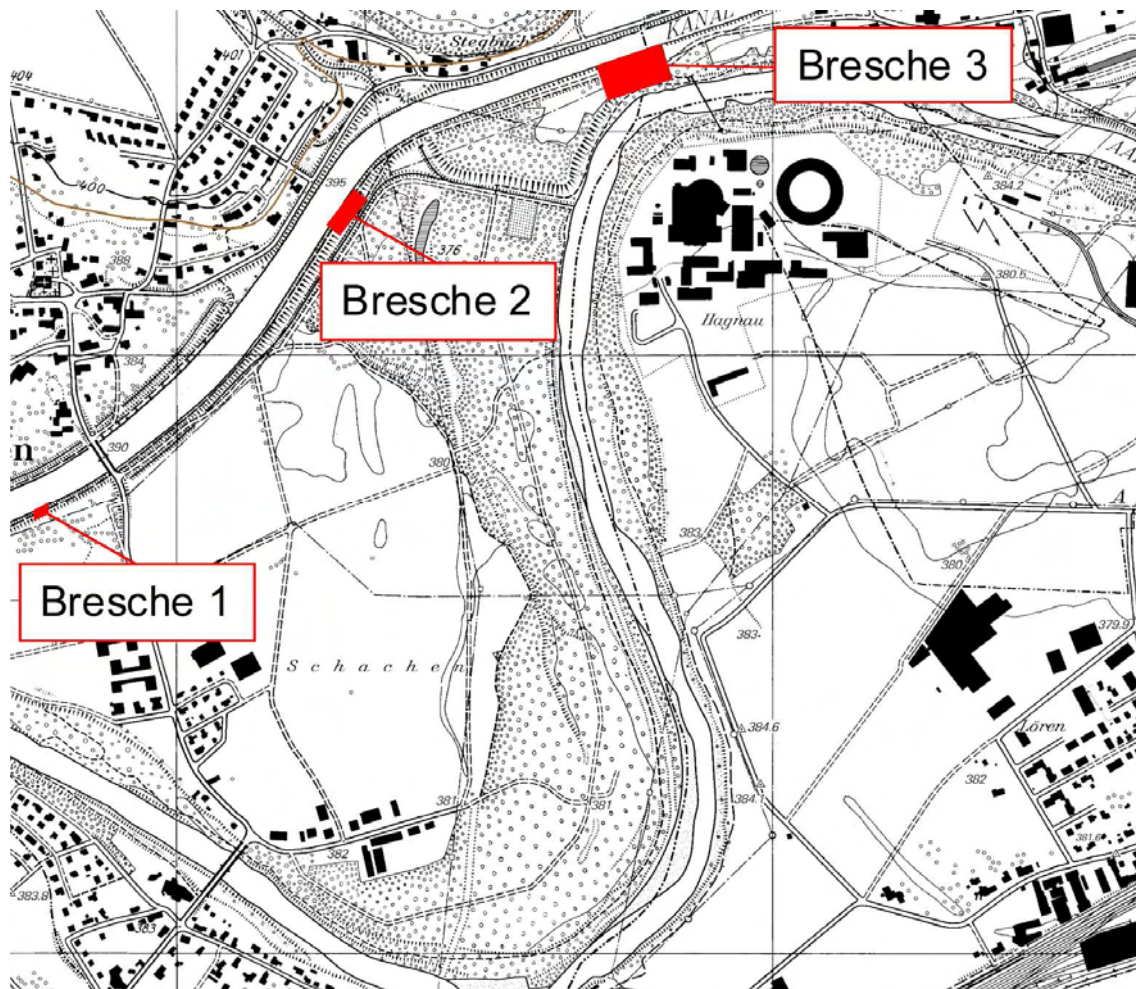


Figure 3.5-24 Emplacement des brèches sur la digue latérale du canal d'amenée

Les largeurs respectives des brèches ont été fixées conformément aux données de l'OFE (2002b) et sont indiquées au tableau 3.5-7.

Tableau 3.5-7 Largeur des brèches

Brèche	1	2	3
Largeur [m]	7	21	23

Résultats des calculs selon le groupe de scénarios N°2

Les niveaux d'eau calculés d'après les scénarios sont présentés dans le rapport technique (AF-Colenco 2009d). Le tableau 3.5-8 présente les niveaux d'eau maxima au point dit critique de l'Aar (figure 3.5-21).

Tableau 3.5-8 Niveaux maxima calculés pour le groupe de scénarios N°2 au point critique

Scénario	Évènement	Niveau d'eau max. [m s.m.]	Modèle
2 - 1	Débit de crue de fréquence 10^{-4} /a (= scénario 1 - 7)	382.65	Modèle bidimensionnel (2D)
2 - 2	> Débit de crue de fréquence 10^{-4} /a ($Q \times 110 \%$)	382.90	
2 - 3	< Débit de crue de fréquence 10^{-4} /a ($Q \times 90 \%$)	382.35	
2 - 4	PMF	383.20	
Scénario	Débit de crue de fréquence 10^{-4} /a 1 évènement supplémentaire	Niveau d'eau max. [m s.m.]	
2 - 5	Obstruction de pont 0 % (= scénario 2 - 1)	382.65	
2 - 6	Obstruction de pont 50 %	382.80	
2 - 7	Obstruction de pont 100 %	383.15	
2 - 8	Rupture de barrage Winznau (n-1) (= scénario 1 - 4)	382.70	
2 - 9	Rupture de barrage Winznau (n-2)	382.75	
2 - 10	Rupture de barrage Winznau (n-n)	382.75	
2 - 11	Rupture de digue - brèche 1	382.65	
2 - 12	Rupture de digue - brèche 2	382.75	
2 - 13	Rupture de digue - brèche 3	382.60	
2 - 14	Lit mobile sans charriage de matériaux	382.25	Modèle 1D
2 - 15	Lit mobile avec charriage de matériaux	382.35	

Les résultats des calculs d'évolution morphologiques (scénarios 2 - 14 et 2 - 15) sont représentés sur la figure 3.5-25 et la figure 3.5-26. La situation approximative de la CNN est indiquée sur les figures. La figure 3.5-25 présente la position du lit de l'Aar après l'évènement de crue sans charriage de matériaux. Le lit n'est quasiment pas mobilisé et reste stable même en cas de débit de crue de fréquence de 10^{-4} /a. La situation du niveau d'eau change à peine en comparaison avec celle du cas de calcul avec un lit fixe.

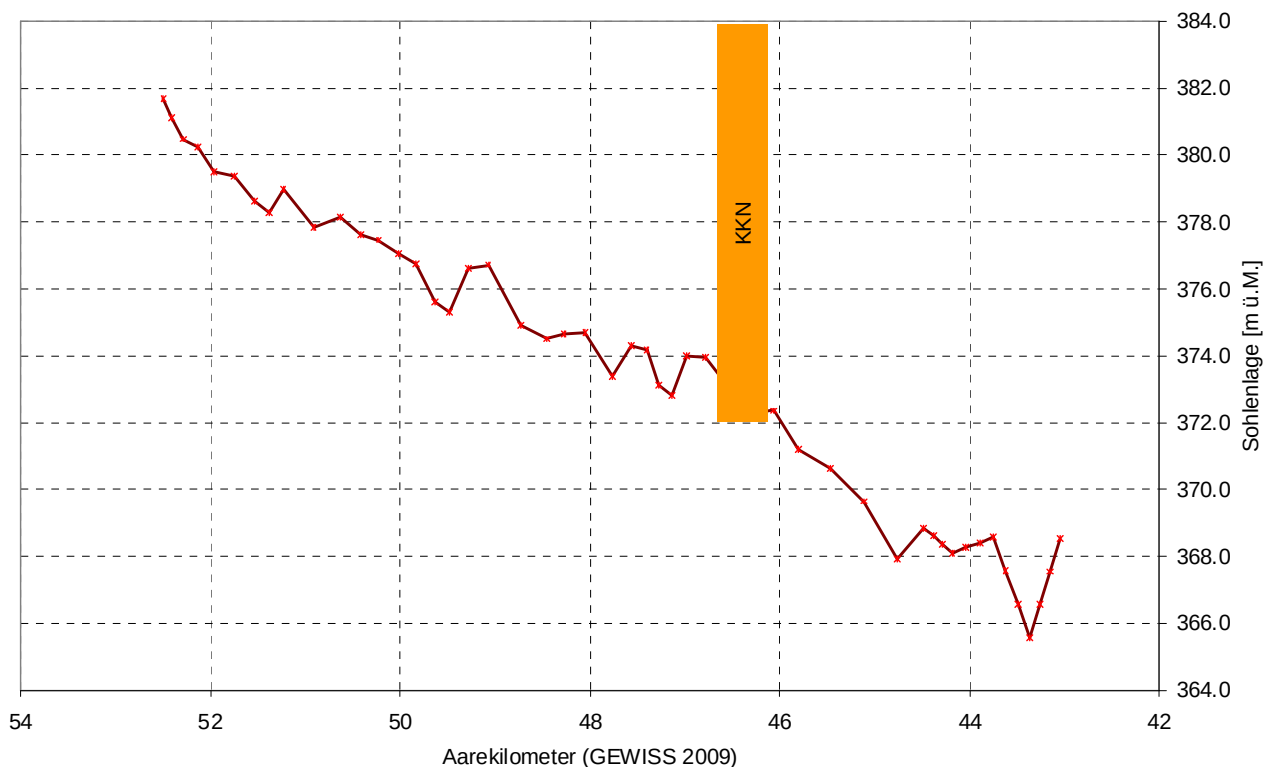


Figure 3.5-25 Lit du cours d'eau avant (marron) et après (rouge) la crue sans charriage de matériaux (pas de changement notable)

La figure 3.5-26 présente les dépôts d'alluvions maximaux dans l'Aar. Les calculs simplifiés montrent que les dépôts importants au kilomètre 47.6 de l'Aar ont une faible influence sur le niveau d'eau maximum de l'Aar déterminant pour le site de la CNN, car les dépôts d'alluvions maxima apparaissent avec retard sur la pointe du débit.

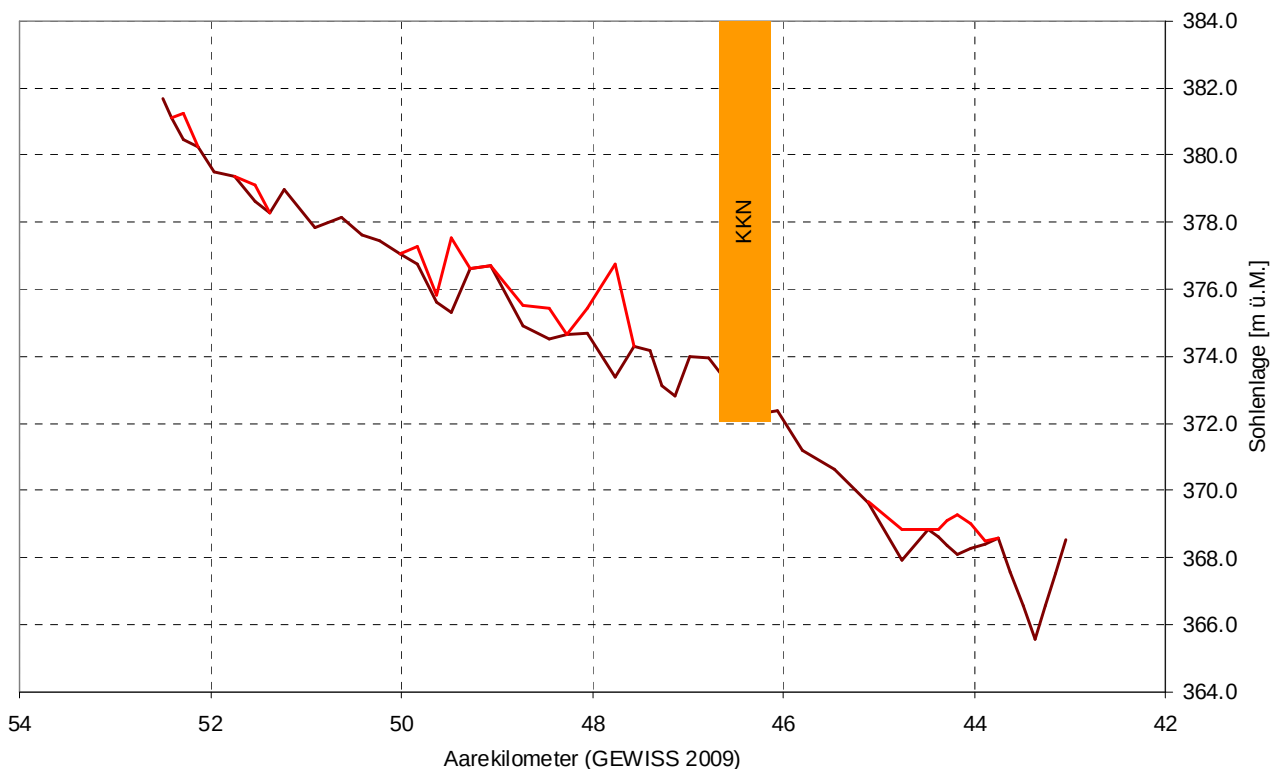


Figure 3.5-26 Dépôt d'alluvions maximaux (rouge) après la crue avec charriage de matériaux (marron: lit initial)

Érosion des berges

Le potentiel d'érosion des berges peut être estimé sur la base des forces de tractions exercées sur le lit. La figure 3.5-27 indique les forces de traction exercées sur le lit dans le cas du débit de crue de $10^{-4}/a$. Les érosions éventuelles du lit de l'Aar indiquent un certain risque potentiel d'érosion des berges. Ceci n'est toutefois que local. Sur la figure 3.5-27, les parties touchées en rive droite sont marquées en rouge. Les berges peuvent être protégées à ces endroits par des mesures architecturales, afin de réduire au minimum leur risque d'érosion.

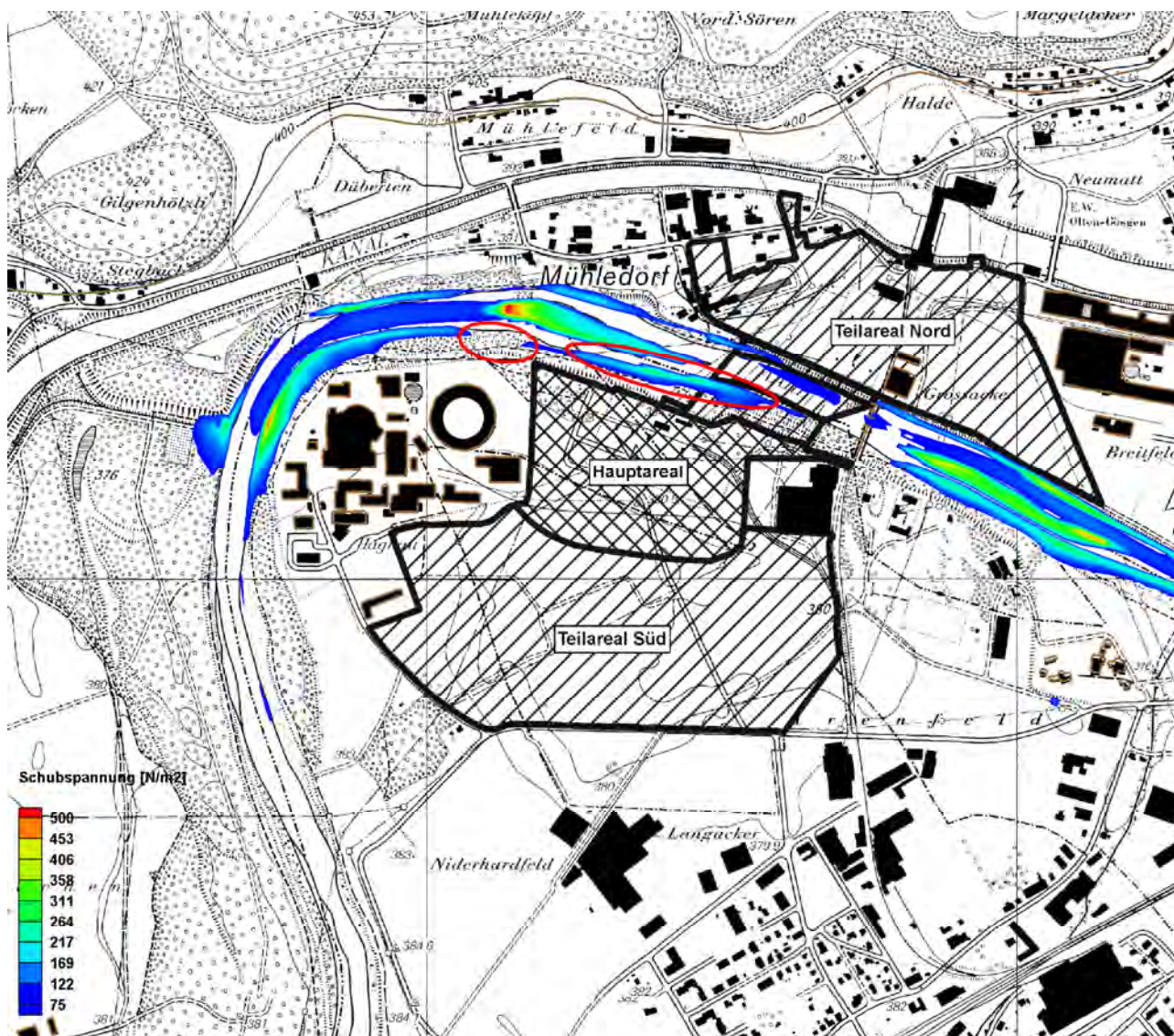


Figure 3.5-27 Forces tractrices maximales sur le lit pour un débit de crue de fréquence $10^{-4}/a$ (les parties en rive droite présentant un potentiel de risque local sont encadrées en rouge)

Cote minimale requise pour l'aire principale

Sur la base des calculs, la cote minimale de remblai nécessaire pour éviter une inondation de l'aire principale de la CNN en cas d'événements de crue a été déterminée (tableau 3.5-9). La cote minimale la plus élevée requise de 382.45 m au-dessus du niveau de la mer est atteint en cas de crue de fréquence de $10^{-4}/a$ avec une obstruction complète du pont en aval de l'aire principale (scénario 2 - 7). Les niveaux d'eau correspondants calculés sont représentés sur la figure 3.5-28.

Il ressort du tableau 3.5-9 que le remblai sur une cote d'environ 382.5 m s. m. permet d'éviter que l'aire principale ne soit inondée dans tous les cas d'événements de crue.

La hauteur effective de remblai et l'étendue de l'aire à remblayer seront fixées dans le cadre de la procédure de demande de construire, en tenant compte de la disposition de l'installation.

Tableau 3.5-9 Cote minimale requise de l'aire principale de la CNN

Scénario	Évènement	Cote minimale [m s. m.]
1 - 1	Q _{extension}	---*
1 - 2	Débit de crue de fréquence 1/a	---*
1 - 5	Débit de crue de fréquence 1/a avec brèche de digue	---*
1 - 3	Débit de crue de de fréquence 10 ⁻² /a	---*
1 - 8	Rupture d'un ouvrage d'accumulation dans le bassin versant de l'Aar	---*
1 - 6	Débit de crue de fréquence 10 ⁻³ /a	382.15
2 - 3	90% du débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a	382.15
2 - 11	Débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a avec brèche de digue 1	382.20
1 - 7 2 - 1 2 - 5	Débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a Débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a (obstruction de pont 0 %)	382.25
1 - 4 2 - 8	Débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a avec rupture de barrage (n-1)	382.25
2 - 9	Débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a avec rupture de barrage (n-2)	382.25
2 - 10	Débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a avec rupture du barrage Winznau (n-n)	382.25
2 - 12	Débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a avec brèche de digue 2	382.25
2 - 13	Débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a avec brèche de digue 3	382.25
2 - 14	Débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a (lit mobile sans charriage de matériaux)	382.25
2 - 15	Débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a (lit mobile avec charriage de matériaux)	382.25
2 - 2	110% du débit de crue de fréquence 10 ⁻⁴ /a	382.30
2 - 6	Débit de crue de 10 ⁻⁴ /a avec obstruction de pont 50 %	382.30
2 - 4	PMF	382.40**
2 - 7	Débit de crue de 10 ⁻⁴ /a avec obstruction de pont 100 %	382.45**

* Pas d'inondation du secteur à l'est du point critique (figure 3.5-21), où est située l'aire principale de la CNN.

** Pour le scénario (2 - 7) avec l'obstruction du pont sur l'Aar à Gösgen (figure 3.5-23), le niveau d'eau au point critique est inférieur d'environ 5 cm à celui du scénario (2 - 4) avec le PMF (tableau 3.5-8). La hauteur d'inondation autour de l'aire principale de la CNN et donc la cote minimale requise de l'aire principale sont donc supérieures d'environ 5 cm au PMF. Ceci est dû au fait que dans ce cas, le secteur autour de l'aire principale est inondé non seulement à partir de l'ouest via le point critique (figure 3.5-21), mais aussi à partir du nord en raison de l'hypothèse d'obstruction du pont.

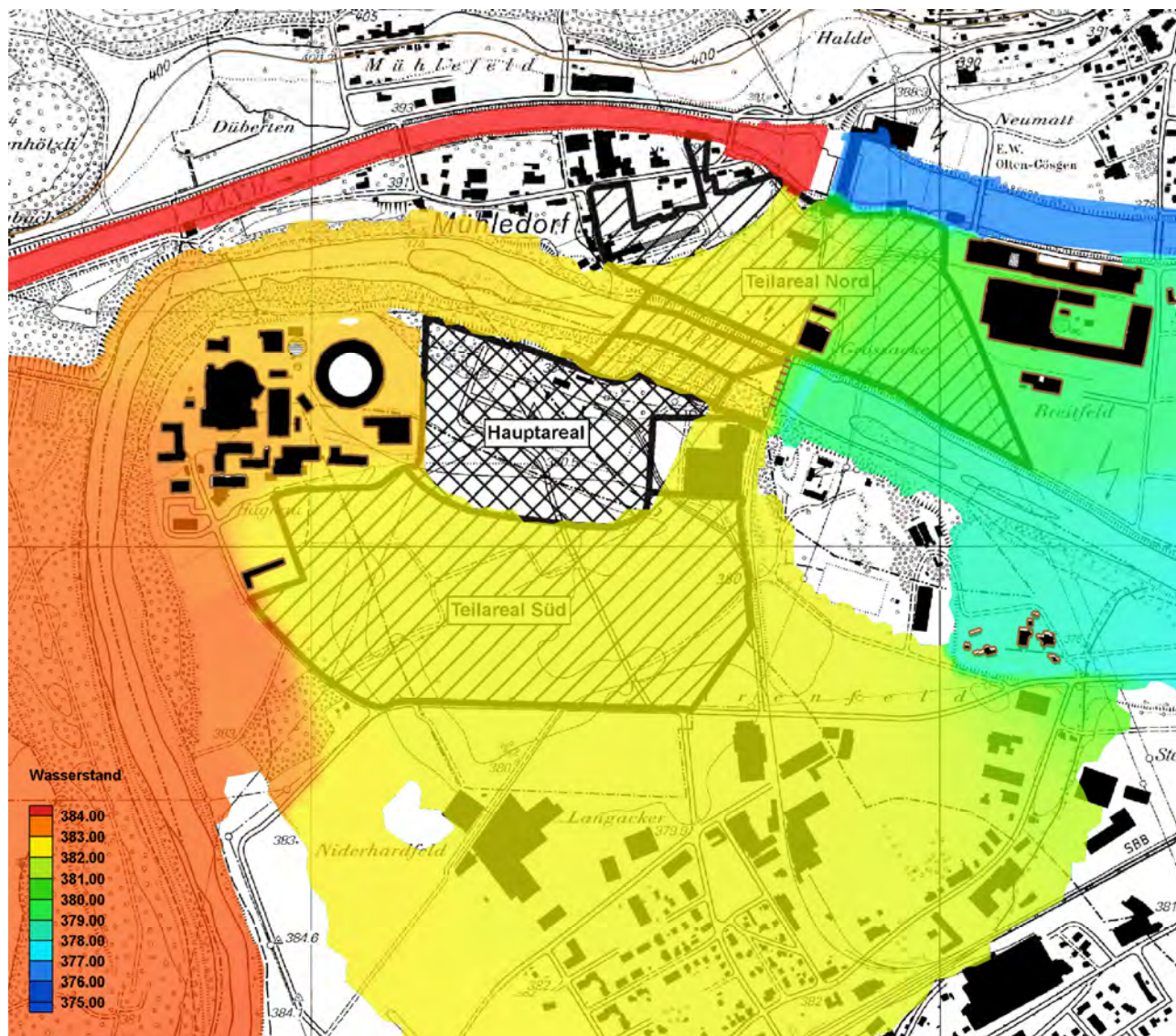


Figure 3.5-28 Niveaux d'eau calculés pour le scénario (2 - 7)

3.5.2.8 Bouchage des captages d'eau de rivière

Outre les situations d'inondation, d'étiage et d'érosion, le bouchage des grilles d'entrée et des filtres d'admission de l'alimentation en eau de refroidissement auxiliaire est un événement important pour la sécurité. L'évaluation de ce potentiel de risque dans le cadre du présent rapport s'appuie par analogie sur la situation de la CNG.

Les captages d'eau de refroidissement auxiliaire sont contrôlés régulièrement une fois par équipe de roulement, pour s'assurer qu'ils sont dans un état de fonctionnement impeccable. Le contrôle est plus fréquent lorsque le risque de bouchage est élevé, comme par exemple en cas de crue ou dans d'autres situations à risque. Jusqu'à aujourd'hui, c.-à-d. après une phase d'exploitation de plus de 30 ans, il n'y a eu sur le site de la CNG aucun bouchage qui n'ait pu être éliminé à temps par des mesures appropriées.

Le risque de bouchage des captages d'eau de refroidissement auxiliaire de la centrale CNG à partir du canal d'amenée et du canal de fuite de la centrale hydro-électrique Gösgen a été soumis par la CNG à une analyse probabiliste dans le cadre de l'analyse PSA. Plusieurs scénarios ont été considérés, avec présence de différentes tailles et sources des matériaux flottants aux captages d'eau.

Les résultats de l'analyse PSA montrent que la fréquence d'occurrence de la perte du captage d'eau de refroidissement auxiliaire du canal d'amenée, déterminée de manière conservatrice, est de $1.4 \cdot 10^{-2}/a$. Pour la perte des deux captages d'eau de refroidissement auxiliaire à partir du canal d'amenée et du canal de fuite, une fréquence d'occurrence de $2 \cdot 10^{-3}/a$ est calculée. Il est postulé de façon pénalisante et par simplification que si le déblocage du captage d'eau de refroidissement auxiliaire au canal d'amenée échoue avant son bouchage, le déblocage du captage d'eau de refroidissement auxiliaire au niveau du canal de fuite échouera également pour des raisons de temps.

Les fréquences d'occurrence certes pénalisantes, mais relativement élevées pour la défaillance de l'alimentation en eau de refroidissement auxiliaire à partir du canal d'amenée et/ou de fuite à cause d'un bouchage seront prises en compte lors du choix d'options et de la considération des systèmes diversitaires (cellules de réfrigération, eaux souterraines pour des cas d'urgence) dans le concept d'eau de refroidissement auxiliaire au moment de la procédure d'autorisation de construire.

La perte des captages d'eau de refroidissement auxiliaire due à d'autres causes ou leur combinaisons est traitée au chapitre 3.8.7.1 "Combinaison de tremblements de terre avec des événements externes liés aux tremblements de terre" et au chapitre 3.8.7.3 "Combinaison d'une inondation externe (crue/rupture de digue/rupture de barrage) avec des événements potentiels externes consécutifs".

En cas de perte d'un ou éventuellement des deux captages d'eau de refroidissement auxiliaire, les systèmes d'eau de refroidissement auxiliaire redondants et/ou diversitaires importants pour la sécurité sont utilisés. Dans l'ensemble, au stade actuel de planification, les options et combinaisons suivantes sont possibles:

- Alimentation en eau de refroidissement auxiliaire à partir du canal d'amenée (à l'identique de la CNG)
- Alimentation en eau de refroidissement auxiliaire à partir du canal de fuite (à l'identique de la CNG)
- Cellules frigorifiques sur le terrain de la centrale
- Puits d'eau souterraine pour des cas d'urgence (à l'identique de la CNG)

3.5.3 Eaux souterraines

3.5.3.1 Généralités

Le site de la CNN se trouve dans le secteur de protection des eaux A_u (annexe 4, chiffre 111 OEaux 1998) sur le bord gauche de la vallée de l'Aar. Dans le Niederamt, l'écoulement des eaux souterraines est d'extension horizontale importante et suit le cours de l'Aar dans sa direction ouest-est. Le gradient d'écoulement est d'environ 2 ‰ (Fröhlicher 1969). Le niveau piézométrique est contrôlé par le niveau de l'Ancienne Aar. Dans sa section orientée nord-sud à l'ouest de la CNG, l'Aar est infiltrante et alimente la nappe. En aval de Mülidorf⁵, l'Aar fonctionne en drainage de la nappe. Dans le cadre du renouvellement de la concession de la centrale hydro-électrique de Gösgen, le débit d'eau résiduel a été provisoirement redéfini. Pour sa mise en œuvre, la quantité octroyée à partir de novembre 2007 a été augmentée selon la saison de 7 à 15 m³/s, soit 10 m³/s en moyenne (Atel Hydro 2008). En cas de dépassement du débit de dimensionnement $Q_{KW\ Gösgen} = 380\text{ m}^3/\text{s}$, qui se produit actuellement env. 90 jours par an, le niveau piézométrique de la nappe augmente pratiquement simultanément avec le niveau d'eau de l'Ancienne Aar. Ceci est le signe d'une bonne connexion hydraulique entre les eaux souterraines et l'Aar, dans le secteur du site.

Le canal de fuite de la centrale hydro-électrique de Gösgen fonctionne également en drainage pour la nappe alluviale. En revanche, le canal d'amenée est en grande partie étanche; une faible exfiltration des eaux du canal dans les eaux souterraines a toutefois été démontrée par des essais de traçage effectués en 1994.

Sur le flanc de la vallée au nord du canal d'amenée, un écoulement d'eaux souterraines indépendant s'effectue au travers des alluvions de "haute terrasse". Il est capté par la station de pompage de Düberten. Le niveau piézométrique se situe à environ 15 - 20 m au-dessus de l'écoulement de fond de vallée et n'est pas significatif pour l'appréciation du site.

Les eaux souterraines dans la section concernée de la vallée de l'Aar sont représentées sur la figure 3.5-29. La représentation de l'extension horizontale de la nappe et des isopièzes correspond à la carte des eaux souterraines et de la protection des eaux du canton de Soleure, feuille 4, situation de 2003 (AfU Soleure 2003). L'extension de la nappe est indiquée à son niveau maximum⁶ ainsi que son niveau piézométrique maximum associé en m s.m.

⁵ Localité également désignée « Mühledorf », selon la source et le matériel cartographique. Les deux manières d'écrire seront utilisées ci-après selon la source respective.

⁶ « Niveau maximum » est une citation tirée de la carte officielle de protection des eaux du canton de Soleure, éditée par le Département de construction du canton de Soleure, 2003.

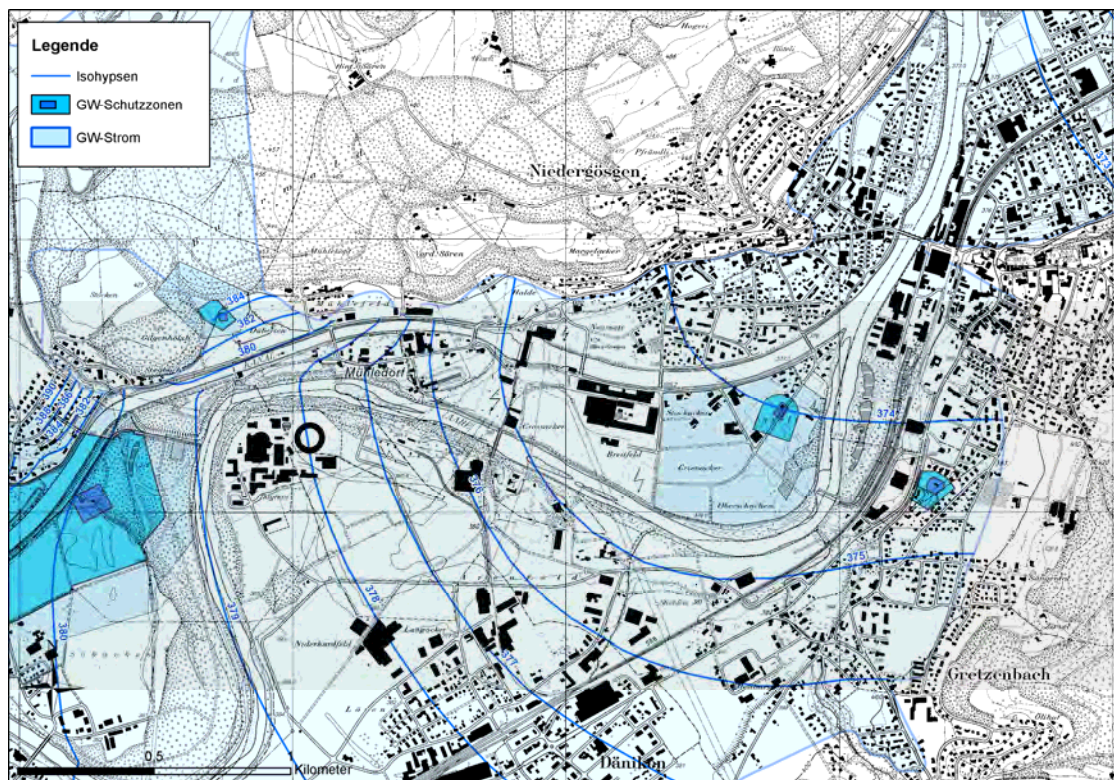


Figure 3.5-29 Eaux souterraines dans la région du site, avec indication des zones de protection autour des captages publics. Représentation de l'extension horizontale des eaux souterraines et des isopièzes au niveau maximum (AfU Soleure 2003)

3.5.3.2 Surface piézométrique

La surface piézométrique de la nappe souterraine est étroitement liée au niveau des eaux de l'Ancienne Aar. Le niveau moyen de la surface piézométrique se trouve au niveau de l'aire principale, entre la cote 375.5 m s.m. (en amont de l'aire de la CNG) et 374 (en aval de Cartaseta). Dans sa section orientée nord-sud à l'est de la CNG, l'Aar est infiltrante et alimente l'aquifère. En aval de Müllidorf, l'Aar est drainante. Les rives de l'Ancienne Aar ne sont généralement pas colmatées, raison pour laquelle le niveau piézométrique réagit rapidement aux fluctuations du niveau de la rivière. En cas d'augmentation du débit de l'Ancienne Aar (c.-à-d. pour $Q > 380 \text{ m}^3/\text{s}$), l'interaction avec les eaux souterraines peut entraîner un passage temporaire de conditions de drainage à des conditions d'alimentation (inversion de la direction du courant).

Dans le cadre de la surveillance des eaux souterraines, le canton de Soleure exploite 8 stations de mesure ; l'une d'elle est la station de pompage (SP) Insel⁷ qui se trouve directement en aval hydraulique de l'aire partielle Nord (figure 3.5-30).

⁷ Également désignée « Insel », selon la source. Les deux manières d'écrire seront utilisées ci-après selon la source respective.

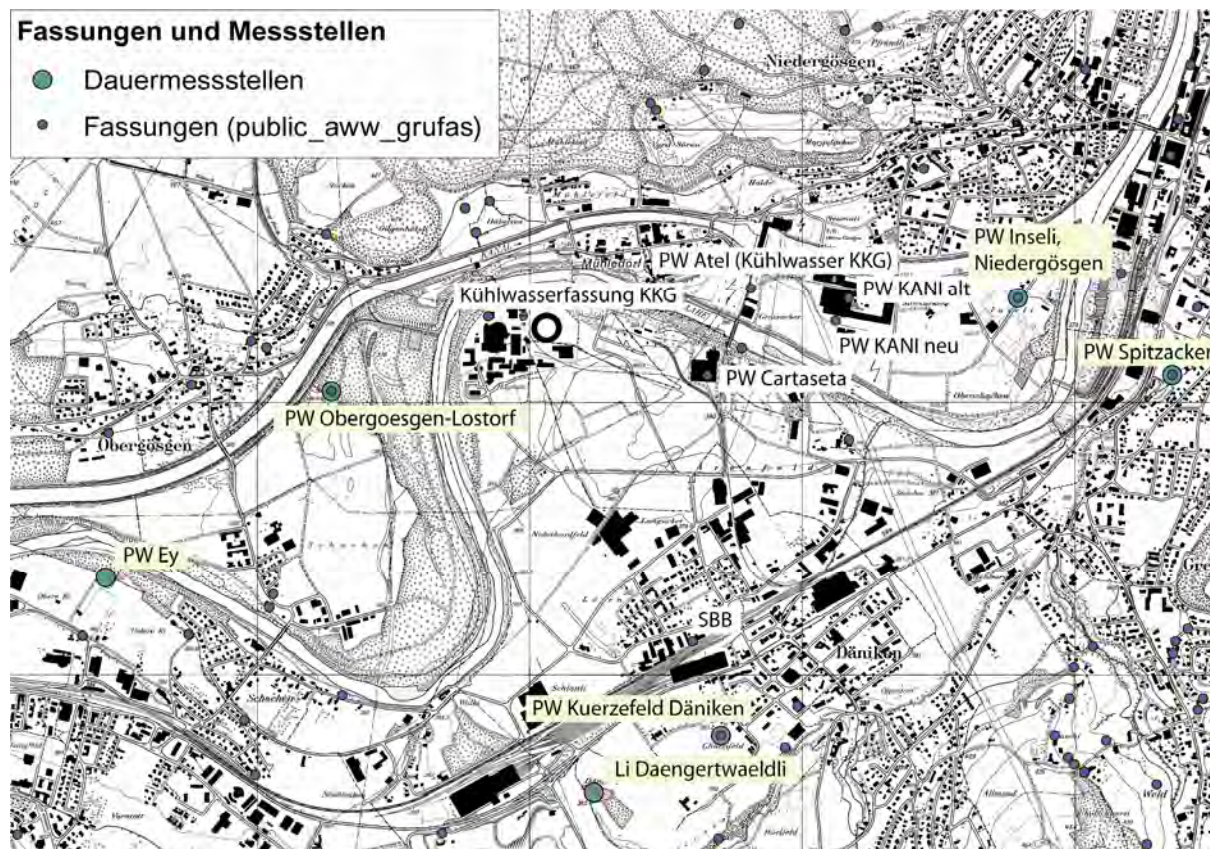


Figure 3.5-30 Emplacements des piézomètres (vert) et des captages d'eau selon le système SIG de l'AfU de Soleure (bleu) (AfU Solothurn 2007). Différentes stations de pompage servent aussi de stations de mesure (bleu/vert)

Le niveau piézométrique est enregistré en continu depuis 1979 au piézomètre 0VX01L001 dans le bâtiment d'urgence de la CNG (CNG 2009a). À partir de juin 2006, les données sont enregistrées sous forme numérique toutes les 5 minutes. Le niveau piézométrique maximum de cette station de mesure a été enregistré le 19 novembre 1985 avec une valeur de 381.30 m s.m. Le niveau piézométrique moyen est de 375.70 m s.m. (valeur médiane) et le niveau minimal de 374.75 m s.m. Pour des raisons de plausibilité, les mesures isolées de niveau supérieures à 380.50 m s.m. sont considérées par l'exploitant comme erronées. Des crues extrêmes ont été observées en juin 1970, en février 1972 et au mois août des années 1975, 2005 et 2007.

Sur le terrain de la centrale CNG, le niveau piézométrique a augmenté à chaque fois jusqu'à hauteur d'environ 379 m s.m. De manière générale, le niveau maximum atteint par la nappe au droit de l'aire de la centrale correspond au niveau maximal des eaux de l'Aar à l'ouest immédiat de l'aire. La réaction des eaux souterraines à l'évènement de crue d'août 2005 est indiquée en figure 3.5-31..

Les variations de niveau piézométrique par rapport à la moyenne à long terme dans les piézomètres et le rapport du débit de l'Aar à Murgenthal à la moyenne à long terme sont représentées. La réaction la plus marquée est observée au piézomètre de la CNG.

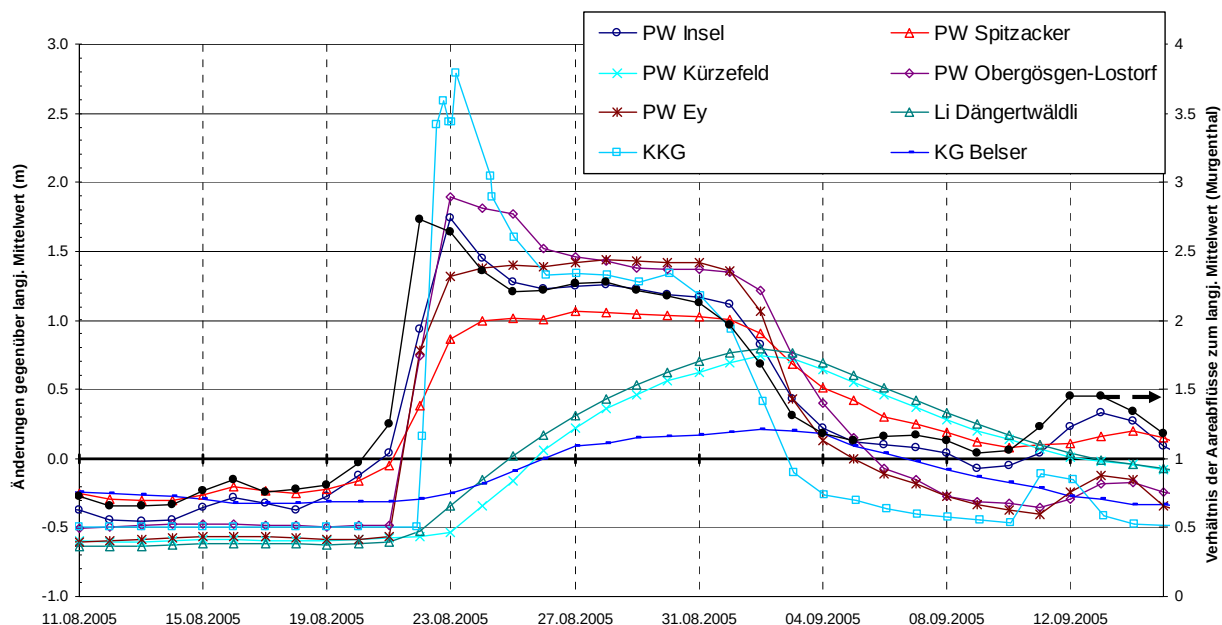


Figure 3.5-31 Variation des niveaux piézométriques (lignes en couleur) et comportement du débit de l'Aar (ligne noire, axe droit) lors de la crue d'août 2005 par rapport aux moyennes à long terme

Un enregistrement à long terme des valeurs journalières à 12 h indique le niveau piézométrique minimal entre 374.5 m s.m. et 375.5 m s.m. dans le secteur de la CNG (figure 3.5-32). Il était élevé dans les années 1990 et a de nouveau baissé depuis. Selon le niveau d'eau de l'Ancienne Aar, il faut s'attendre à une hausse à court terme de 3 à 4 m max. (pointes de crues).

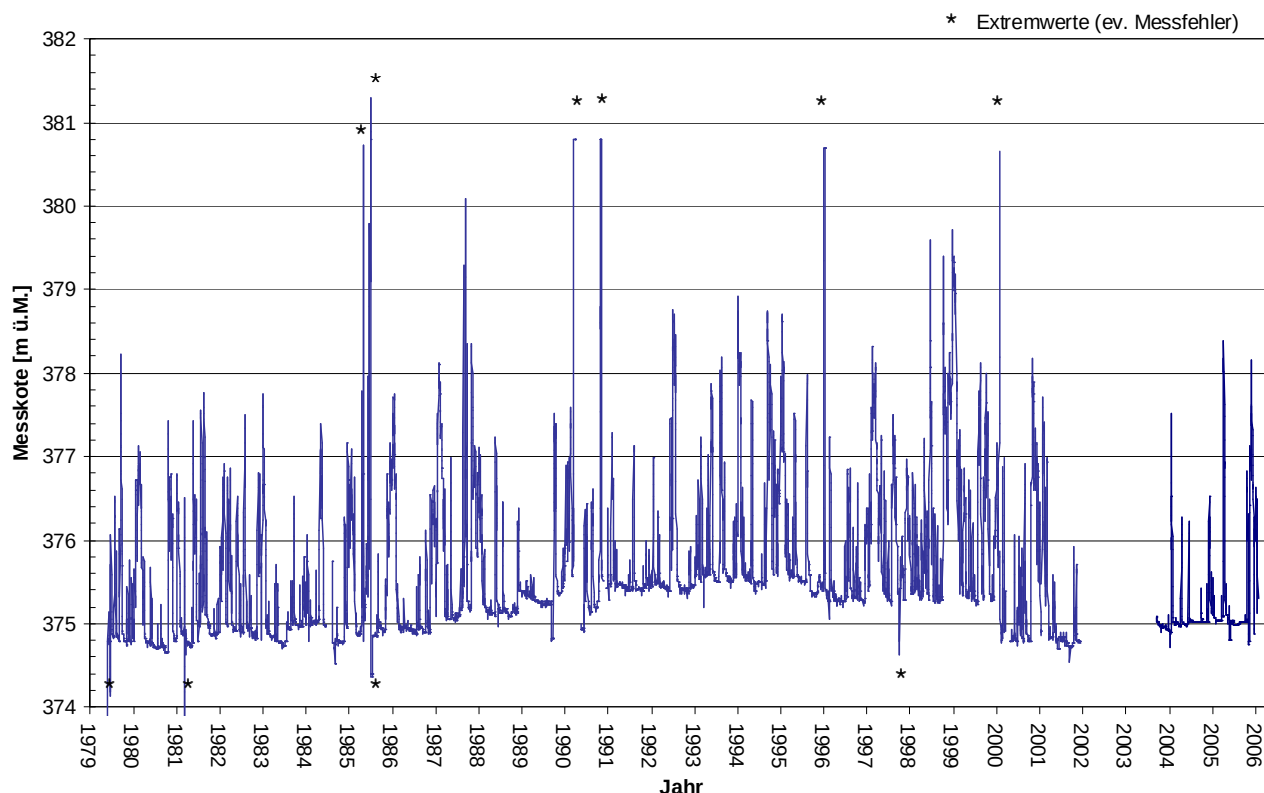


Figure 3.5-32 Enregistrement des valeurs journalières à 12 h au piézomètre 0VX01L001 de la CNG (KKG 2009a)

Sur l'aire du projet de la CNN, des sondes combinées de température et de pression ont été installées dans les nouveaux forages PRP (figure 3.6-1), pour la surveillance des eaux souterraines. Les niveaux piézométriques mesurés en continu depuis mai 2009 sont autour de 374.5 m s.m en moyenne. Les fluctuations du niveau piézométrique de la nappe sont d'environ 1 m pendant les trois mois d'observation précédents. Le niveau minimal mesuré pendant cette période était de 374.1 m s.m. à KB05, sur le bord situé en aval hydraulique de l'aire.

3.5.3.3 Epaisseur de la nappe

L'épaisseur de la nappe est d'une importance particulière non seulement du point de vue de l'étude d'impact sur l'environnement, mais également en ce qui concerne l'utilisation sécurisée des eaux souterraines (p. ex. en cas de refroidissement d'urgence par eau de nappe). L'aire du projet se trouve dans le secteur de protection des eaux A_u et à proximité de captages d'eaux souterraines. De manière générale, il est admis que plus la transmissivité hydraulique effective est grande (produit de l'épaisseur et de la perméabilité de l'aquifère), moins le système hydrodynamique réagit de manière sensible aux interventions et aux perturbations engendrées par des ouvrages de construction atteignant les eaux souterraines ou par des captages d'eau. L'influence des ouvrages projetés atteignant une profondeur située en-dessous du niveau piézométrique moyen ainsi que des scénarios d'utilisation possible sur les eaux souterraines et sur les captages d'eau voisins a été analysée à l'aide d'un modèle numérique hydrodynamique des eaux souterraines (cf. chapitre 3.5.3.8).

Une représentation actuelle de l'épaisseur de la nappe est présentée sur la figure 3.5-33 (AfU Soleure 2008a). Cette carte présente une extension réduite de l'aquifère dans la région de Mühledorf par rapport à la carte des eaux souterraines présentée sur la figure 3.5-29.

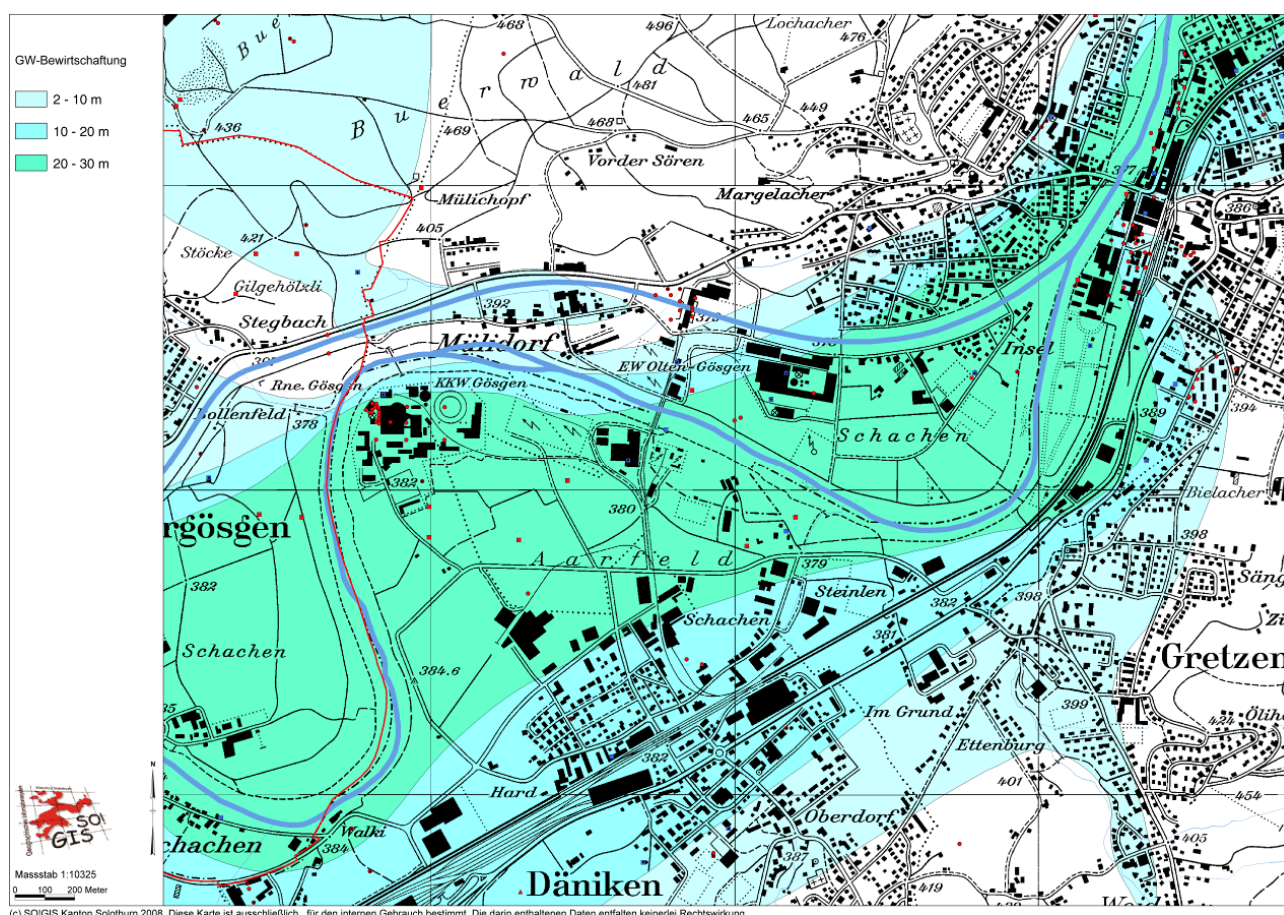


Figure 3.5-33 Carte de l'épaisseur de la nappe dans la vallée de l'Aar (Niederamt) correspondant à un niveau piézométrique moyen (AfU Solothurn 2008a)

La représentation actuelle sur la figure 3.5-33 correspond à un niveau piézométrique moyen. La limite d'extension du remplissage quaternaire a été confirmée par de nombreux sondages dans le secteur de la centrale hydro-électrique de Gösgen (Sieber Cassina + Partner 1996). Ces résultats montrent que la limite d'extension de l'aquifère passe sur l'île au sud de la centrale hydro-électrique et touche la partie nord-ouest de l'aire partielle Nord. De plus, une faible épaisseur de la nappe en bordure nord de l'aire partielle Nord est discernable.

Le site de la CNG et l'aire principale de la CNN se trouvent au bord du chenal central avec des épaisseurs de nappe de 20 m à 25 m. Il faut s'attendre à des épaisseurs maximales jusqu'à 30 m au droit de l'aire partielle Sud.

3.5.3.4 Qualité et température des eaux souterraines

Le canton de Soleure exploite depuis 1998 un réseau de surveillance pour la qualité des eaux souterraines. La station de pompage Inseli - un captage public d'eau potable à Schachen, à environ 1 km en aval hydraulique de l'aire partielle Nord est représentative pour le bassin des eaux souterraines du Niederamt. À partir de 2005, les mesures sont prises 2 fois par an, au printemps et en automne.

Pour contrôler la qualité de l'eau potable, des paramètres chimiques et sanitaires (saturation en oxygène, cations, anions, métaux lourds, pesticides, hydrocarbures halogénés volatils HHV et autres) sont suivis conformément à l'ordonnance sur la protection des eaux (OEaux 1998). Un paramètre indicatif important pour la qualité de l'aquifère alluvionnaire est la teneur en nitrate. L'évolution correspondante des valeurs mesurées à la SP Inseli montre une concentration stable pendant la période de 2004 à 2007, à un niveau relativement faible entre 14 et 17 mg/l (AfU Soleure 2008c). L'exigence quantitative (c.-à-d. la valeur limite admissible) selon l'OEaux est de 25 mg/l NO₃. Tous les paramètres de contrôle attestent sans réserve une qualité d'eau potable. La teneur en sulfate, dont les valeurs élevées sont responsables de l'agressivité chimique de l'eau, est de 26 mg/l (valeur limite 40 mg/l). Du reste, le programme de contrôle ne renseigne pas sur la qualité "technique" de l'eau (potentiel de corrosion, entartrage). L'utilisation de longue durée comme eau non potable par des entreprises industrielles témoigne de la qualification "technique" des eaux souterraines.

Concernant les températures de la nappe, deux sources de données sont disponibles. Dans le cadre du programme de mesure par le canton de Soleure, des données de températures sont saisies de façon continue à la station de mesure Li (Limnigraph) Dängertwäldli depuis début 1995 (figure 3.5-30). La figure 3.5-34 en présente les fluctuations saisonnières. Aucune tendance à long terme n'est détectable depuis le début des enregistrements.

Sur l'aire de projet de la CNN, les températures de l'air et de la nappe sont mesurées continuellement depuis mai 2009 dans les forages PRP KB01-KB05 (figure 3.6.1). Les premières mesures enregistrées pendant les mois d'été 2009 indiquent des températures moyennes de la nappe de l'ordre de 11.4 à 12.2°C. Cet intervalle de valeurs correspond aux pointes estivales mesurées au long terme dans la station de Dängertwäldli, illustré par la figure 3.5-20.

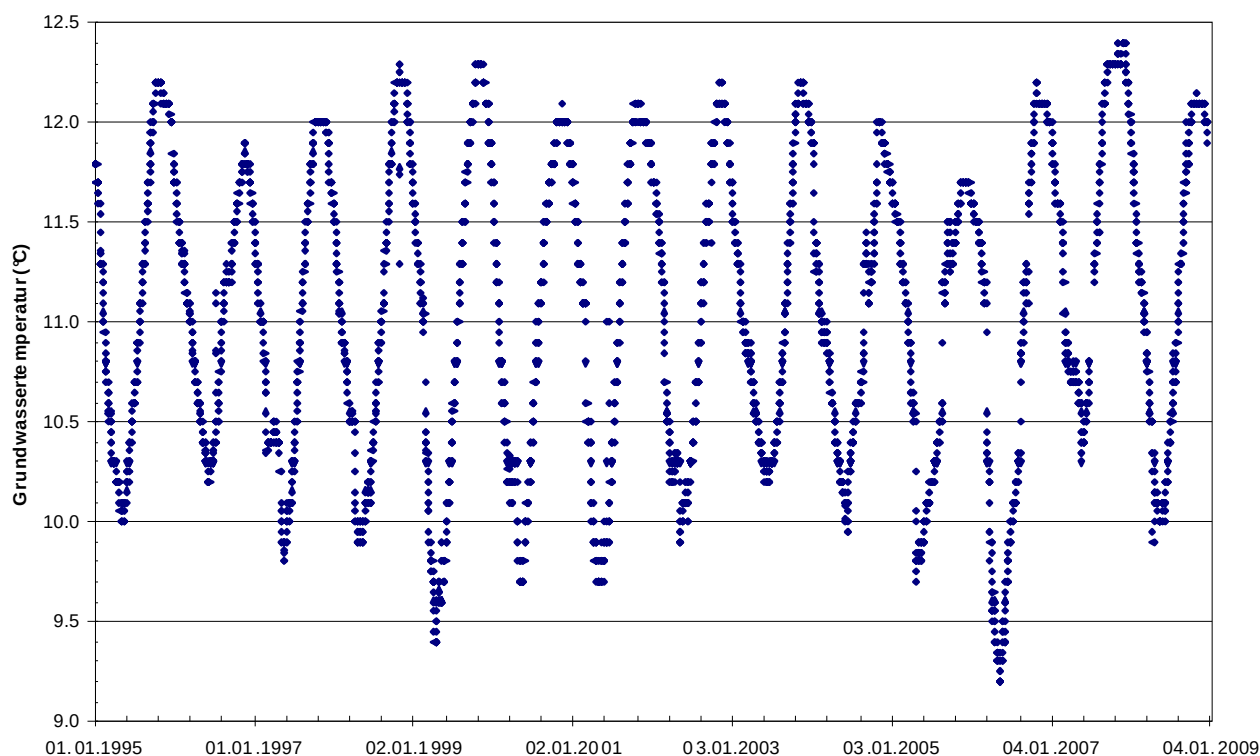


Figure 3.5-34 Température de la nappe au piézomètre Li Dängertwäldli

Avant et après la mise en service de la centrale nucléaire de Gösgen (CNG), des mesures de température de nappe ont été effectuées, pour déterminer l'influence des émissions de chaleur sur les eaux souterraines. L'étude effectuée à l'époque a montré que les bâtiments de la CNG qui atteignent les eaux souterraines ne dégagent pas de chaleur d'exploitation dans les eaux souterraines.

3.5.3.5 Perméabilité

Les propriétés hydrauliques de l'aquifère alluvionnaire ont été obtenues lors d'anciennes investigations et d'expériences acquises lors de la phase de construction de la centrale CNG ainsi que d'études plus récentes sur l'aire CNG-CNN. Elles sont résumées ci-après (Baechler et al. 2009).

Le facteur de perméabilité (valeur K) du corps alluvionnaire au sud de l'Aar a été déterminé à l'aide de nombreux tests. Sous l'aire de la CNG, une tendance à la baisse de la perméabilité des alluvions du haut vers le bas et d'environ un demi à un ordre de grandeur a été constatée. Des essais de pompage de longue durée effectués en 1971 dans deux grands puits crépinés sur l'aire de la CNG ont donné les valeurs représentatives présentées dans le tableau 3.5-10.

Tableau 3.5-10 Valeurs de perméabilité déterminées à partir des essais de pompage de longue durée sur l'aire de la CNG

Zone d'alluvions	Profondeur en m sous le terrain	Valeur de perméabilité déterminée (m/s)
Intervalle de test supérieur	5 - 15	$6 - 7 \cdot 10^{-3}$
Intervalle de test inférieur	15 - 26	$0.5 - 1 \cdot 10^{-3}$
Intervalle total (d'après Dupuit)	5 - 26	$5.5 \cdot 10^{-3}$

La valeur de perméabilité de $5 \cdot 10^{-3}$ m/s peut donc être utilisée comme moyenne à grande échelle pour l'ensemble de la zone saturée de la nappe alluviale, sur lequel l'aire principale et l'aire partielle Sud se trouvent, ceci afin de dimensionner les mesures d'assèchement. L'épaisseur saturée de 25 m en aval de l'aire du projet correspond à une transmissivité de l'aquifère de $T = 1.25 \cdot 10^{-1}$ m²/s. La transmissivité vers le sud et l'est (Cartaseta) présente une tendance à la hausse, i.e. la capacité d'écoulement à travers une section transversale de référence donnée y est plus importante.

Dans les récents sondages 2008 - 2009 sur les aires de la CNG et de la CNN, l'épaisseur totale de l'aquifère a été autant que possible testée par des essais de pompage. Les résultats confirment la valeur de perméabilité moyenne à grande échelle de $k = 5 \cdot 10^{-3}$ m/s, mais pas sa diminution avec la profondeur. Les valeurs de perméabilité évaluées sur les intervalles crépinés d'environ 20 m des forages KB1-KB5 (figure 3.6-1) se situent entre $5 \cdot 10^{-3}$ et $2 \cdot 10^{-2}$ m/s et représentent des profondeurs de 8 à 28 m sous le terrain (Baechler et al. 2009). Pendant la phase de pompage avec une pompe immergée, un rabattement de 14 cm maximum a été atteint pour un débit de pompage d'environ 300 l/min. Parallèlement aux essais de pompage, des mesures au débitmètre ont également été effectuées, pour obtenir des renseignements sur la distribution verticale des zones de flux ainsi que leurs transmissivités respectives. Aucune diminution de la transmissivité avec la profondeur n'a été observée ; A l'inverse, une augmentation a été constatée dans trois des cinq forages testés (Baechler et al. 2009).

Pendant la construction de la CNG, la valeur de perméabilité à grande échelle de $5 \cdot 10^{-3}$ m/s a été confirmée par les mesures d'assèchement des eaux qui avaient été nécessaires à l'époque. Pendant le rabattement des eaux souterraines dans la fouille de construction principale, une série d'expériences supplémentaires avaient pu être faites:

- Un débit de pompage de 50'000 l/min n'a certes entraîné qu'un rabattement du niveau d'eau d'environ 4.5 m dans le batardeau, mais a perturbé différents captage d'eaux souterraines dans le voisinage.
- Un rabattement de 3 m (objectif: cote de 372 m s.m.) à un débit de pompage de 25'000 l/min à 30'000 l/min a pu être effectué sans problème pendant une année (de décembre 1973 à avril 1975).
- Un essai de pompage réalisé dans le captage Cartaseta voisin a fait ressortir, pour un débit de pompage de 4'500 l/min (concession de 2'000 l/min) un rabattement d'environ 1 m, avec un rayon d'influence de 300 à 400 m.

Les valeurs du retour d'expérience exposées ci-dessus sont également significatives pour le projet de construction prévu, en particulier en ce qui concerne les mesures de construction et les possibilités d'utilisation des eaux souterraines pour des cas d'urgence. Des indications représentatives concernant la perméabilité des alluvions sur l'aire partielle Nord en rive gauche de l'Ancienne Aar sont également disponibles, indications provenant d'anciens essais de pompage dans des captages d'eaux souterraines pour lesquels des concessions existaient.

Tableau 3.5-11 Valeurs de perméabilité provenant des essais de pompage sur l'aire partielle Nord [m/s]

	Intervalle supérieur	Intervalle inférieur	Rabatement/pompage	Remarque
KANI (1954)	$8 \cdot 10^{-3}$	$0.6 - 1.3 \cdot 10^{-3}$	0.7 m pour 5'000l/min (rayon du cône de rabattement: 400 - 500 m)	Moyenne $5 \cdot 10^{-3}$ (Fröhlicher 1969)
Atel (1949)			1.9 m pour 8'000l/min 0.8 m pour 3'000l/min	En état de fonctionnement (Fröhlicher 1969)
Centrale hydro-électrique de Gösgen	$1.7 \cdot 10^{-4}$	$0.5 - 1.0 \cdot 10^{-3}$		Essai de pompage de courte durée enforage (Sieber Cassina + Partner 1996)

Les propriétés de l'aquifère alluvionnaire à la station de pompage de KANI sont comparables à celles des sites de la CNG et de la CNN. Les indications provenant des forages de la centrale hydro-électrique de Gösgen (Sieber Cassina + Partner 1996) varient pour les alluvions entre $1 \cdot 10^{-4}$ et $1 \cdot 10^{-3}$ m/s. Ces valeurs sont clairement plus faibles que celles de la plage de valeurs $5 \cdot 10^{-3}$ à $2 \cdot 10^{-2}$ m/s des essais de pompage 2008 en-dessous de l'aire principale de la CNN (Baechler et al. 2009). En général, il faut s'attendre à une diminution des perméabilités à large échelle en direction du bord du canal de la vallée, en raison du colmatage par des sédiments fins en provenance du flanc de la vallée.

3.5.3.6 Ressources en eaux souterraines

Les ressources en eaux souterraines exploitables de la vallée sont influencées par la transmissivité de l'aquifère, la recharge par infiltration des précipitations et par l'afflux souterrains provenant des versants, par les échanges par alimentation et drainage avec les eaux de surface ainsi que par les prélèvements des eaux souterraines. Pour déterminer la ressource minimale disponible en eaux souterraines - par exemple en cas de sécheresse, les observations piézométriques de longue durée dans le Niederamt sont évaluées et des valeurs extrêmes dérivées pour le site à l'aide de méthodes statistiques.

En ce qui concerne l'interprétation de la surface piézométrique et des influences météorologiques sur cette dernière, des observations de longue durée sont disponibles dans des piézomètres sélectionnés

et des stations météorologiques locales. En ce qui concerne les indicateurs statistiques (moyennes de longue durée, minima et maxima), des séries chronologiques sont disponibles à l'AfU de Soleure depuis environ 28 ans et les moyennes journalières sous forme numérique depuis 1995.

Des séries chronologiques de longue durée de la piézométrie sont disponibles (sur papier) pour la période de 1954 à 1969, complétées jusqu'en 1974 (Fröhlicher 1969).

Le tableau 3.5-12 indique les moyennes, les écart-types et les minima pour une sélection de stations de mesure de l'AfU Soleure dans le Niederamt complété par les stations mentionnées ci-dessus situées sur le terrain de la CNG.

Tableau 3.5-12 Moyennes et minima du niveau piézométrique sur des piézomètres choisis de l'AfU ainsi que sur le piézomètre de la CNG dans le Niederamt

Station	Numéro de station	Période	Moyenne (m s.m.)	Ecart-type (pendant la période) (m)	Minimum (jour) (m s.m.)	Rabattement maximum observé par rapport à la moyenne (m)
Station de pompage Dellen	635'245'008	1979 - 2007	384.54	0.53 (1995 - 2007)	383.27 (11.04.06)	1.27
KG Belser	642'248'003	1981 - 2006	369.18	0.54 (2004 - 2006)	367.72 (16.02.06)	1.46
Station de pompage Insel	641'246'003	1979 - 2007	371.83	0.59 (1995 - 2007)	370.75 (08.03.96)	1.08
Station de pompage Gillacker	643'249'001	2007	365.76	0.57 (2007)	365.12 (12.02.07)	0.64
Station de pompage Spitzacker	642'246'009	1987 - 2007	372.00	0.55 (1995 - 2007)	371.09 (13.-15.02.06)	0.93
Station de pompage Kürzefeld	640'244'004	1980 - 2007	375.45	0.69 (1995 - 2007)	374.64 (16.03.92)	0.81
Station de pompage Obergösgen-Lostorf	639'246'007	1999 - 2007	376.60	0.82 (1999 - 2007)	375.82 (31.01.06)	0.78
Station de pompage Ey	638'245'002	1979 - 2007	378.39	0.83 (1999 - 2007)	377.48 (30.12.05)	0.91
Li Dängertwäldli	640'244'001	1985 - 2008	376.34	0.68 (1995 - 2007)	375.48 (30.12.05)	0.86
CNG	0VX01L001 (ZX00)	1979 - 2008	375.70	---	~ 374.75 ⁸	0.95

Les niveaux piézométriques dans le Niederamt varient avec des écarts-type d'environ 0.5 m à 1 m. Les minima s'écartent du niveau moyen d'environ 1 m à 1.5 m au maximum (cf. figure 3.5-35).

⁸ Les séries chronologiques de 1979 à 2008 (figure 3.5-32) présentent plusieurs valeurs extrêmes, qui sont très probablement dues à des erreurs de mesure. La désignation et le datage univoques des maxima et minima n'est donc pas possible pour ce point de mesure.

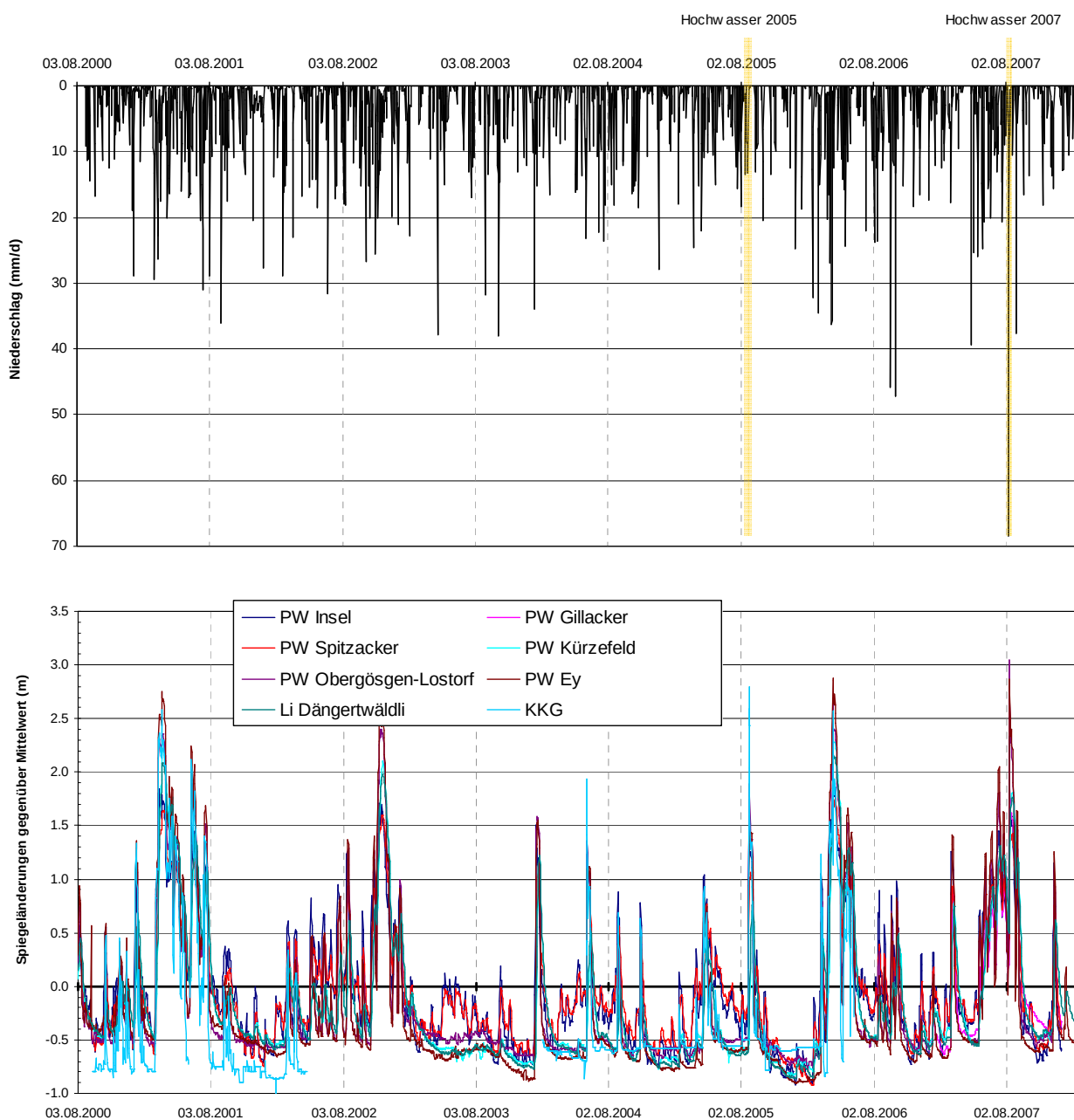


Figure 3.5-35 Variation du niveau piézométrique par rapport aux valeurs moyennes
(en haut: précipitations)

Les niveaux piézométriques minima se produisent à différents moments selon les piézomètres, et n'ont donc très probablement pas ou du moins pas directement de cause météorologique.

Pendant la période extrêmement sèche de juin à septembre 2003, seulement 236 mm de précipitations ont été enregistré, ce équivaut à environ 2/3 de la moyenne de longue durée, et l'évapotranspiration potentielle s'élevait à 382 mm, ce qui correspond à 1.6 fois la moyenne de longue durée. Du point de vue des conditions météorologiques de recharge, le bilan des eaux souterraines était fortement négatif. Pendant cette période, la baisse du niveau piézométrique aux stations Insel et Spitzacker était de 60 cm seulement, alors qu'il n'a presque pas diminué aux autres stations de mesure (figure 3.5-36).

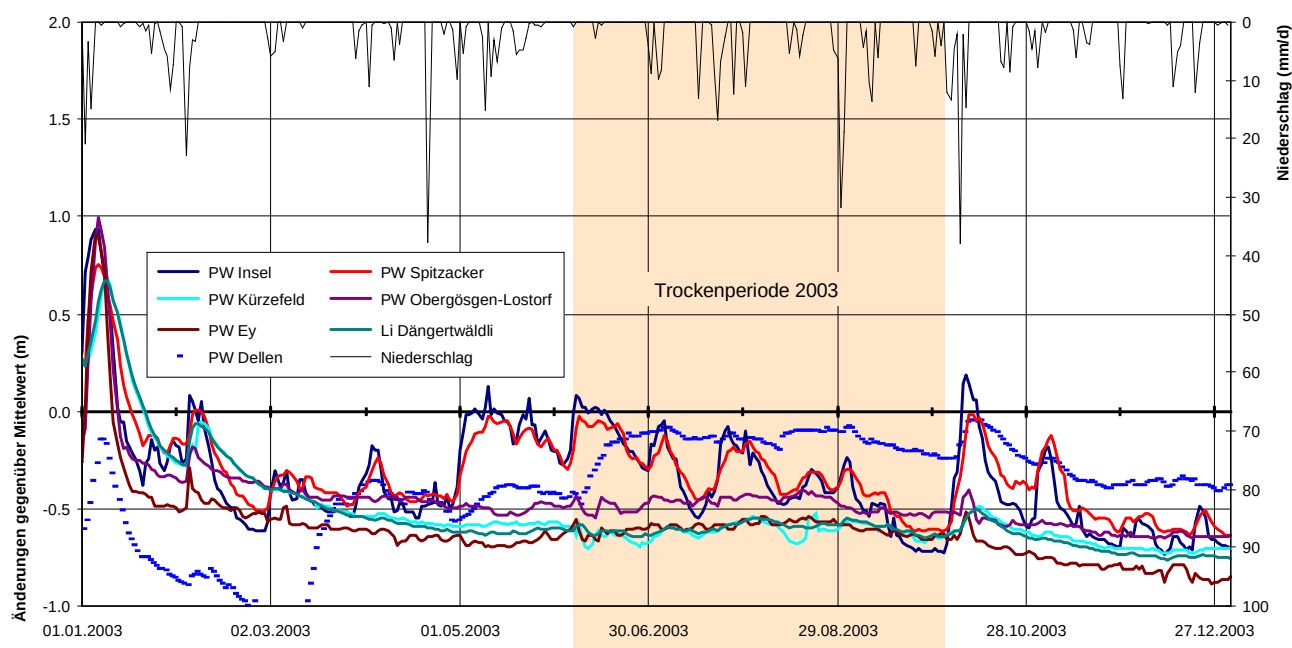


Figure 3.5-36 variation des niveaux piézométriques au cours de l'année sèche 2003 par rapport aux valeurs moyennes (au cours de l'année 2003, les précipitations enregistrées ont été de l'ordre de 75% de la moyenne de longue durée)

Les fonctions de distribution des niveaux piézométriques sont asymétriques en ce qui concerne les écarts par rapport à la moyenne (coefficient d'asymétrie 1.0 à 1.4): les écarts sont nettement plus grands pour les niveaux élevés que pour les niveaux bas. A titre d'exemple, les distributions de trois piézomètres situés dans le voisinage de la CNN sont représentées sur les figures 3.5-37 à 3.5-39.

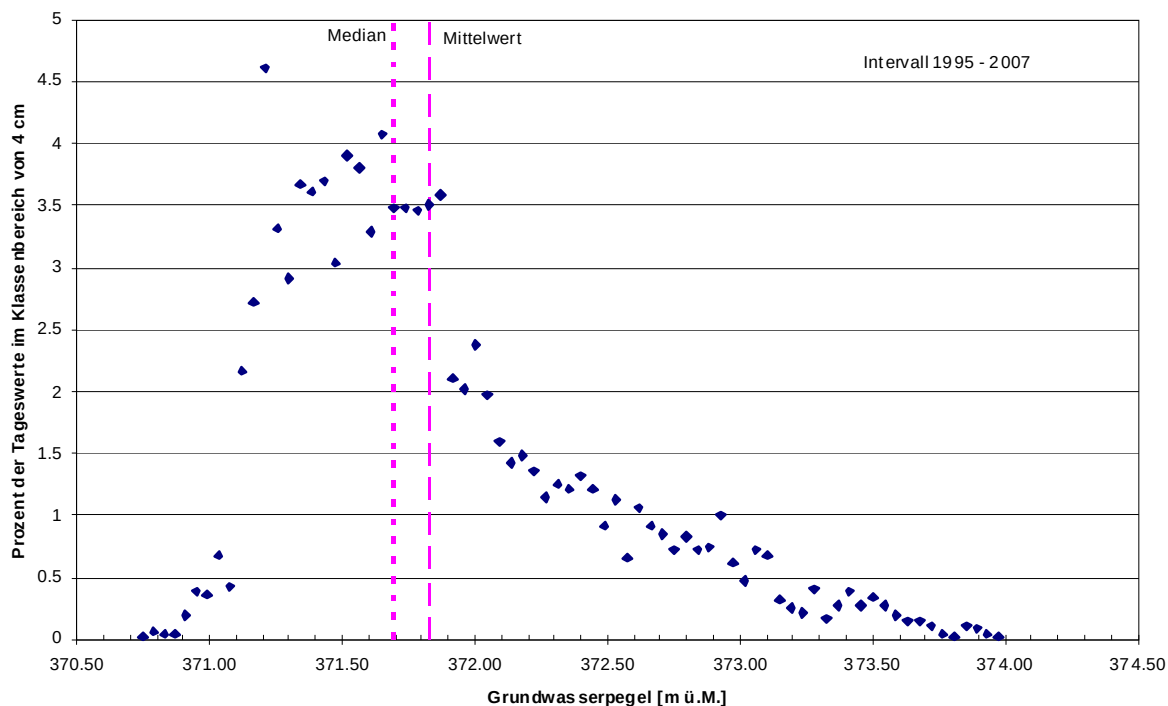


Figure 3.5-37 Distribution des niveaux piézométriques sur la station de pompage Insel

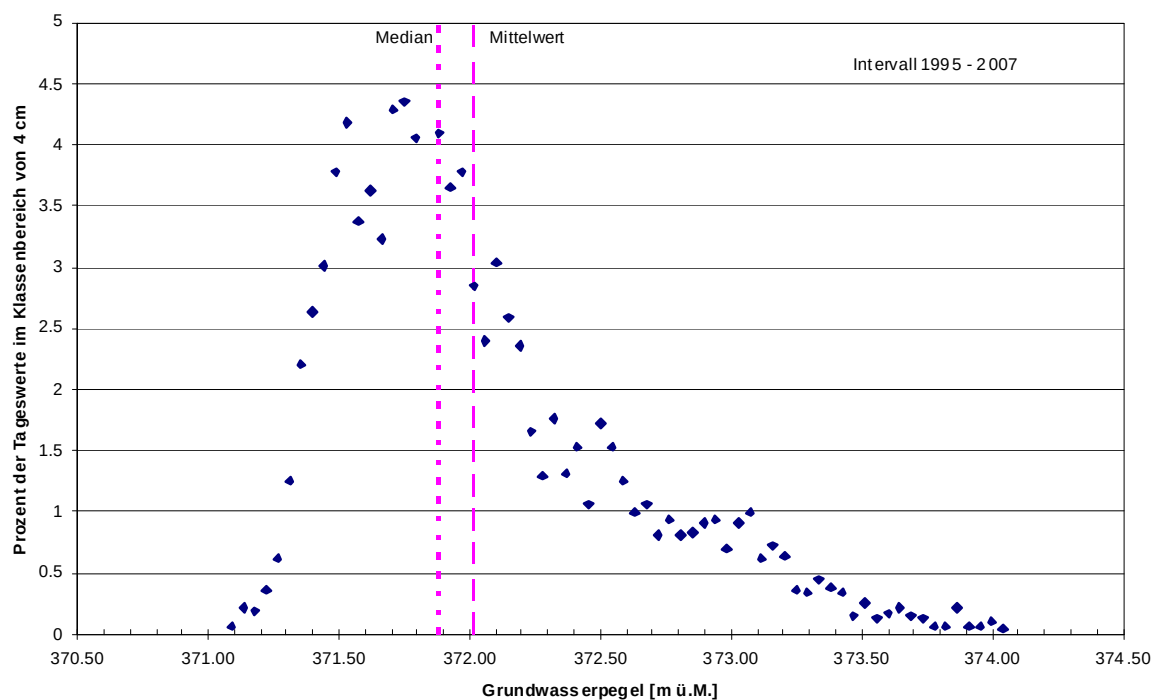


Figure 3.5-38 Distribution des niveaux piézométriques sur la station de pompage Spitzacker

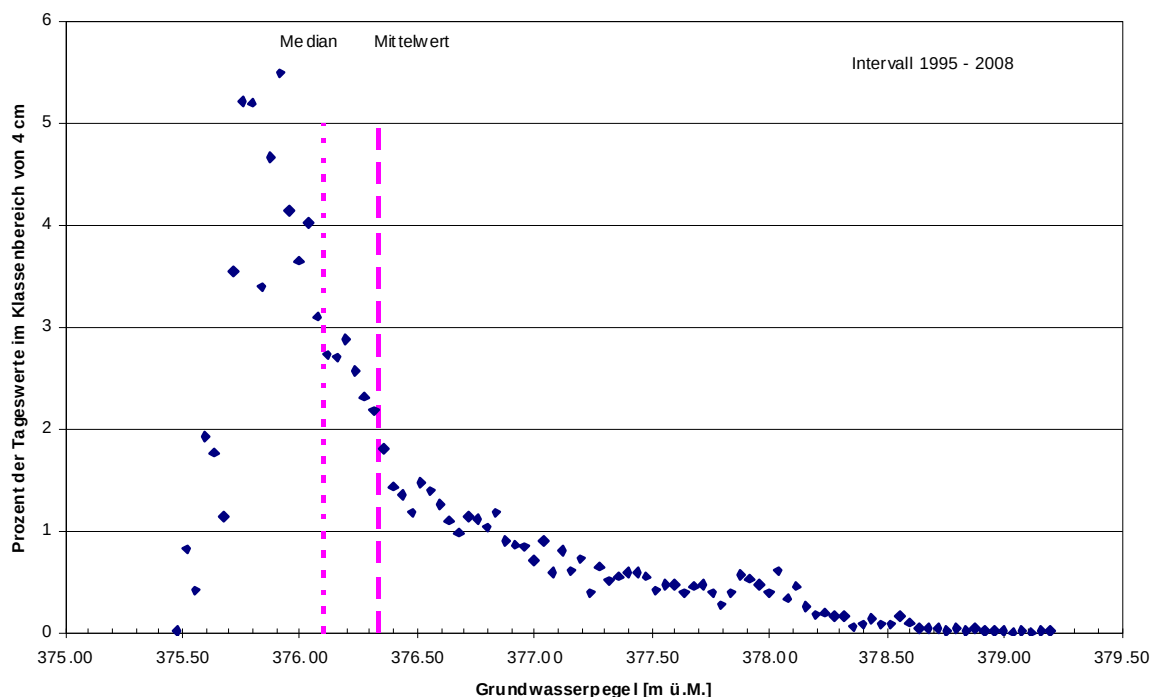


Figure 3.5-39 Distribution des niveaux piézométriques à Li Dängertwäldli

La raison de l'influence relativement faible des conditions météorologiques sur les niveaux de la nappe d'eau souterraine profonde réside dans l'effet d'alimentation stabilisant des eaux de l'Aar.⁹ Comme un débit minimal dans l'Ancienne Aar est assuré par concession et que le niveau d'eau dans l'Aar contrôle le niveau de la nappe, une occurrence de niveaux piézométriques extrêmement bas est quasiment exclue.

Les niveaux piézométriques (figures 3.5-37 à 3.5-39) peuvent être décrits par des distributions de Gumbel. Pour l'estimation de paramètre à l'aide de la méthode du maximum de vraisemblance (Maximum-Likelihood-Method), les minima disponibles sous forme numérique des années 1995 à 2007 seront utilisés à titre d'exemple pour la station de pompage d'Insel. Il ressort des enregistrements graphiques du niveau, dont la qualité n'est pas suffisamment bonne pour la numérisation (1954 à 1974), et des évaluations statistiques de l'AfU de 1979 à 1994 que le niveau n'a jamais été inférieur à 370 m s.m. durant ces années.

⁹ Fröhlicher écrit à ce sujet (Fröhlicher 1969) : « On ne détecte pas d'abaissement plus prononcés des eaux souterraines pendant les périodes de bas niveaux, ce qui prouve que l'alimentation de la nappe par l'Aar dans le secteur de l'île [...] fonctionne. Même les enregistrements sur plusieurs années (1954/68) ne montrent pas d'abaissements particuliers pendant les périodes sèches, pour autant que ceci soit possible à petite échelle. »

Cette information est également prise en compte pour l'estimation des paramètres comme la limite inférieure du minimum sur ces années, de telle sorte que son évaluation s'appuie sur un total de 50 années civiles. Sur la base de la distribution des valeurs extrêmes, un niveau piézométrique de 370.34 m s.m. est calculé à l'emplacement de la station de pompage Insel pour une fréquence d'occurrence de 10^{-4} /a (figures 3.4-40). Ceci signifie un rabattement de 1.5 m par rapport à la moyenne de longue durée (intervalle de confiance de 90 %: 1.2 m à 1.9 m).

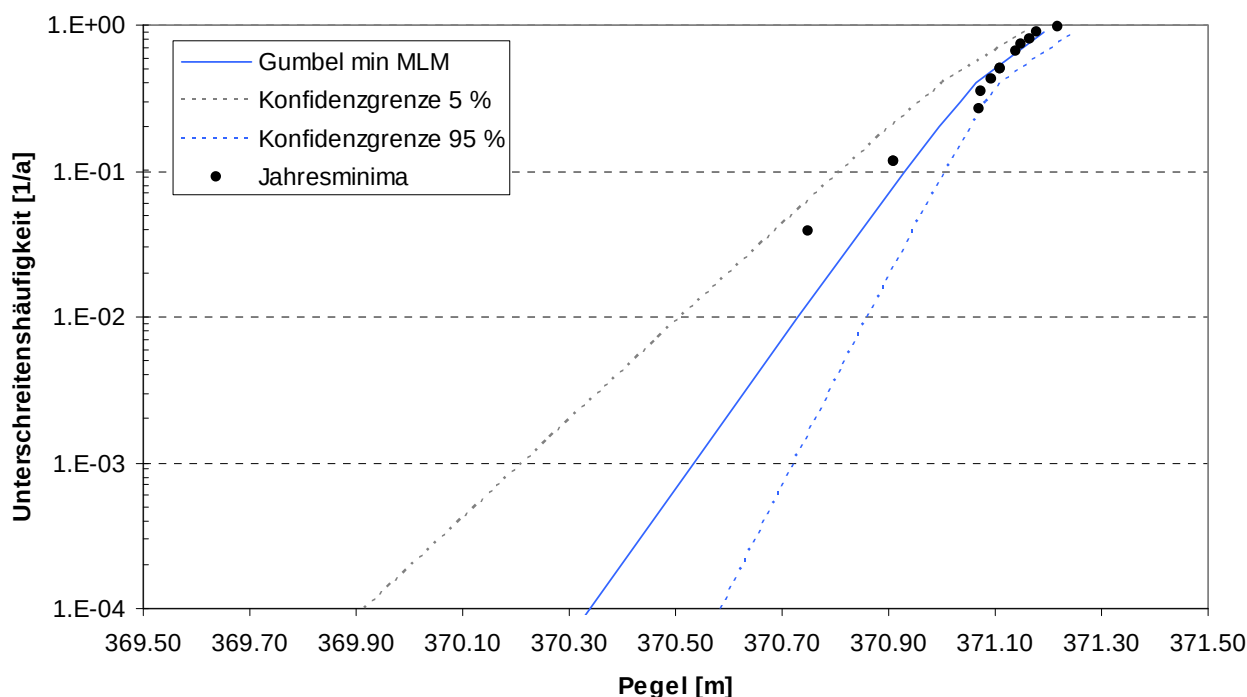


Figure 3.5-40 Distribution des valeurs extrêmes des maxima annuels du niveau piézométrique sur l'emplacement de la station de pompage Insel

Évaluation

Même pour le cas de l'abaissement de la nappe déterminé sous l'hypothèse de conditions extrêmes, l'épaisseur saturée de la nappe est toujours supérieure à 20 m, ce qui constitue une importante ressource pour l'exploitation de la nappe.

3.5.3.7 Exploitation de la nappe

Le secteur analysé se trouve dans la zone d'écoulement de vallée des eaux souterraines de la vallée de l'Aar, qui est classé en secteur de protection des eaux A_u (OFEFP 2004). La vallée de l'Aar contient une nappe d'eau souterraine d'importance régionale. Les eaux souterraines de la nappe du Niederamt sont captées par 30 stations de pompage. Le débit de pompage concessionné s'élève au total à tout juste 70'000 l/min, dont 19 % sont actuellement utilisés (AfU Soleure 2007).

Bien que l'aire du projet se trouve dans le secteur de protection des eaux, il est suffisamment éloigné des zones et aires de protection des eaux souterraines. Les captages d'eaux souterraines publics ne sont pas entravés par le projet de la CNN. Le captage d'eau potable le plus proche avec une zone de protection valide est la station de pompage Inseli à Schachen, qui se trouve à environ 1 km en aval hydraulique de l'aire partielle Nord (Niedergösgen, numéro de station 641246003, concessionnée pour 4'500 l/min). Le volume annuel moyen prélevé (moyenne 2002 - 2006) est de 345'000 m³ (AfU Soleure 2008b).

On trouve de surcroît d'importants captages privés d'eau non potable en aval hydraulique immédiat de l'aire partielle Nord et de l'aire principale. Ceux-ci ne sont pas raccordés au réseau d'eau potable, mais sont importants pour les différents exploitants. Il s'agit des captages suivants (Fröhlicher 1969, AfU Soleure 2007)

- Station de pompage KANI 1, 1954, n° 641246001, concessionnée pour 6'000 l/min
- Station de pompage KANI 2, 1954, n° 641246002, concessionnée pour 6'000 l/min, 16 m de profondeur dans les alluvions. Moyenne d'exploitation actuelle des deux captages 1 + 2 pendant la période 2002 - 2006: 1'090'000 m³/an
- Station de pompage Atel, n° 640246004, concessionnée depuis 1949 pour 8'000 l/min, depuis 1998 pour 5'000 l/min, 15 m dans les graviers, fond rocheux en calcaire de Malm sondé à une cote de 634.8 Moyenne d'exploitation actuelle 2002 - 2006: 734'000 m³/an
- Station de pompage Cartaseta, 1955, n° 640246003, concessionnée pour 2'000 l/min, dans les alluvions Moyenne d'exploitation actuelle 2002 - 2006: 280'000 m³/an

L'exploitation des eaux souterraines comme eau non potable par les entreprises mentionnées ci-dessus indique que la composition chimique des eaux souterraines correspond aux exigences techniques (cf. chapitre 3.5.3.4).

Suite à l'exploitation intensive des captages d'eaux souterraines Atel et KANI, un cône de rabattement quasi-permanent apparaît autour de ces points de prélèvement. Il est fait mention d'un cône de rabattement d'un rayon de 400 - 500 m, autour du captage de KANI 2 (Fröhlicher 1969). L'aire partielle Nord se trouve directement dans l'aire d'alimentation des stations de pompage et probablement au sein des cônes de rabattement respectifs. Dans ce secteur, le niveau piézométrique moyen est supposé à environ 6 m au-dessous de la vallée (Fröhlicher 1969, AfU Soleure 2003, Baechler et al. 2009). C'est la raison pour laquelle seuls les ouvrages de construction à fondation peu profonde (encastrement à environ 5 m de profondeur) sont prévus, à une profondeur qui n'atteint pas le niveau piézométrique moyen des eaux souterraines et par conséquent n'entrave pas les aires d'alimentation des captages mentionnés.

Par contre, les situations suivantes peuvent entraîner des perturbations du pompage sur les captages avoisinants (KANI sur l'aire partielle Nord, Cartasetta en aval de l'aire principale):

- Phase de construction: abaissement temporaire des eaux souterraines par des mesures d'assèchement des fouilles de construction (probablement de faible ampleur sur l'aire partielle Nord)
- Phase d'exploitation: contrôle périodique des pompes d'un captage optionnel pour les cas d'urgence (pour les "véritables" cas d'urgence, l'atteinte aux captages d'eau non potable est d'importance mineure).

3.5.3.8 Modélisation des eaux souterraines

Sur la base de l'avis de Office de l'environnement du canton de Soleure concernant l'examen préliminaire et le cahier de charges pour l'étude d'impact sur l'environnement, les répercussions du projet de construction sur les écoulements souterrains et sur l'exploitation des eaux souterraines ont été étudiées sur la base d'un modèle hydrodynamique de la nappe à plus large échelle. Les aspects les plus importants des calculs de modélisation sont décrits dans le rapport d'impact sur l'environnement (KKN 2008c, AF-Colenco 2009i) et résumés ci-après.

Concept du modèle

Le secteur modélisé couvre la vallée de l'Aar entre Obergösgen et la gorge de la vallée au niveau de Schönenwerd et englobe l'aquifère alluvionnaire du site et des environs. La base du modèle est formée par le substratum rocheux. La surface du modèle est de 6.7 km² et est discrétisée par environ 22'000 éléments finis. Le modèle calcule l'écoulement permanent bidimensionnel de la nappe¹⁰. Tous les forages et affleurements disponibles dans la région servent de points d'appui pour la conception du modèle. L'Aar est liée aux eaux souterraines par une condition à la limite ouverte. Le calage grossier du modèle porte sur des conditions de comportement hydraulique observé moyen, la distribution spatiale des perméabilités étant ajustée par méthode inverse. L'exploitation actuelle des eaux souterraines est basée sur les prélèvements moyens d'eau en 2006 (AfU Soleure 2008b). Au total, 10 captages des eaux souterraines sont exploités dans le secteur du modèle. Les points de prélèvement les plus importants en termes de volume dans le secteur du modèle sont les captages d'eau non potable KANI 1 + 2 et la station de pompage Atel (cf. chapitre 3.5.3.7).

¹⁰ Dans le cadre d'une simulation à titre indicatif, l'influence transitoire d'un prélèvement des eaux souterraines (pour les cas d'urgence) sur le niveau piézométrique a été étudiée. Pour ce faire, un scénario hypothétique d'un pompage sur nappe par la CNG et la CNN a été analysé.

Résultats

Outre l'état actuel (cas de base), différents scénarios de conception du projet de construction ont été simulés, et leurs répercussions sur le comportement des eaux souterraines ont été analysées. L'état actuel prend en compte la paroi d'étanchéité existante et importante du point de vue hydraulique sous l'aire du site de la CNG. Dans le modèle, la fondation profonde du réacteur générique atteint le substratum; ceci représente une hypothèse pénalisante en termes d'influence sur les écoulements souterrains.

Pour le projet de construction, le modèle de site de la CNN permet d'aboutir aux conclusions suivantes:

- Les ouvrages de l'installation du réacteur, y compris leurs fondations profondes ainsi que la paroi d'étanchéité les entourant, entravent l'écoulement souterrain sur une longueur d'environ 160 m.
- La réduction du débit calculé dans un profil en travers de vallée significatif est inférieure à 2 %.
- L'obstacle est contourné librement, et on peut s'attendre à des variations du niveau piézométrique de l'ordre de $\pm$ de 25 cm au maximum, qui peuvent se produire directement en aval ou en amont des ouvrages.
- Ces variations n'ont aucune influence ou qu'une influence négligeable sur la capacité des captages d'eau.
- La plus grande variation déterminée par calcul du niveau d'eau dans un captage d'eau est de - 6 cm à la station de pompage d'Atel.
- Par conséquent, on peut conclure du calcul de modélisation que les influences quantitatives des ouvrages sur l'écoulement de la nappe ou sur son exploitation - même en cas de fondation profonde jusqu'au substratum - sont négligeables.
- En raison du faible impact global, aucune prescription ne ressort des calculs de modélisation pour l'optimisation de la position et de l'orientation définitives des bâtiments. Il est toutefois considéré comme avéré que la plus faible perturbation de l'état actuel est obtenue par la construction d'un ouvrage profond à l'arrière de la CNG (resp. de sa paroi d'étanchéité).

Un exemple de disposition de l'installation de réacteur et ses répercussions sur le niveau de l'eau au repos sont représentées sur la figure 3.5-41.

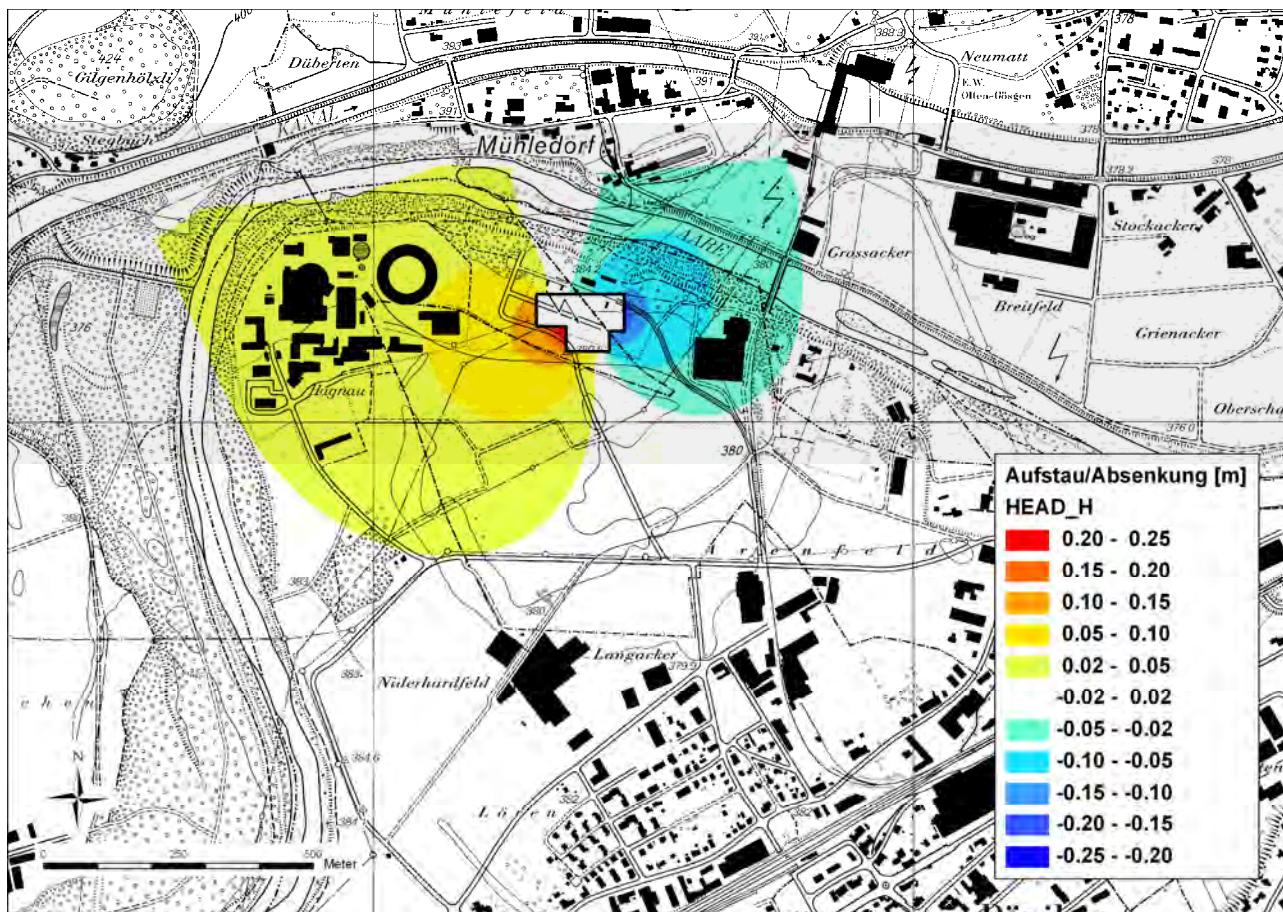


Figure 3.5-41 *Modèle hydrodynamique des eaux souterraines, exemple d'impact de la fondation profonde de l'installation du réacteur sur l'augmentation ou la baisse de niveau*

Le modèle hydrodynamique des eaux souterraines est également utilisé pour évaluer les répercussions potentielles d'un prélèvement des eaux souterraines dans des cas d'urgence: même dans des conditions de sécheresse extrême, les réserves en eaux souterraines sur le site sont suffisantes. Un état d'écoulement quasi-permanent est atteint après environ un semestre. Des répercussions d'extension spatiale importantes sont également exclues. Les variations de niveau après une année pour un tel scénario hypothétique sont présentées sur la figure 3.5-42. Un hypothétique pompage simultané des eaux souterraines par la CNG et la CNN entraînerait un abaissement du niveau piézométrique d'environ 2 m dans le secteur du puits d'urgence. Un tel abaissement est de l'ordre des fluctuations naturelles du niveau piézométrique. Même en cas de pompage non présumé des eaux souterraines lorsque le niveau piézométrique est déjà bas, les ressources en eaux souterraines resteraient suffisantes.

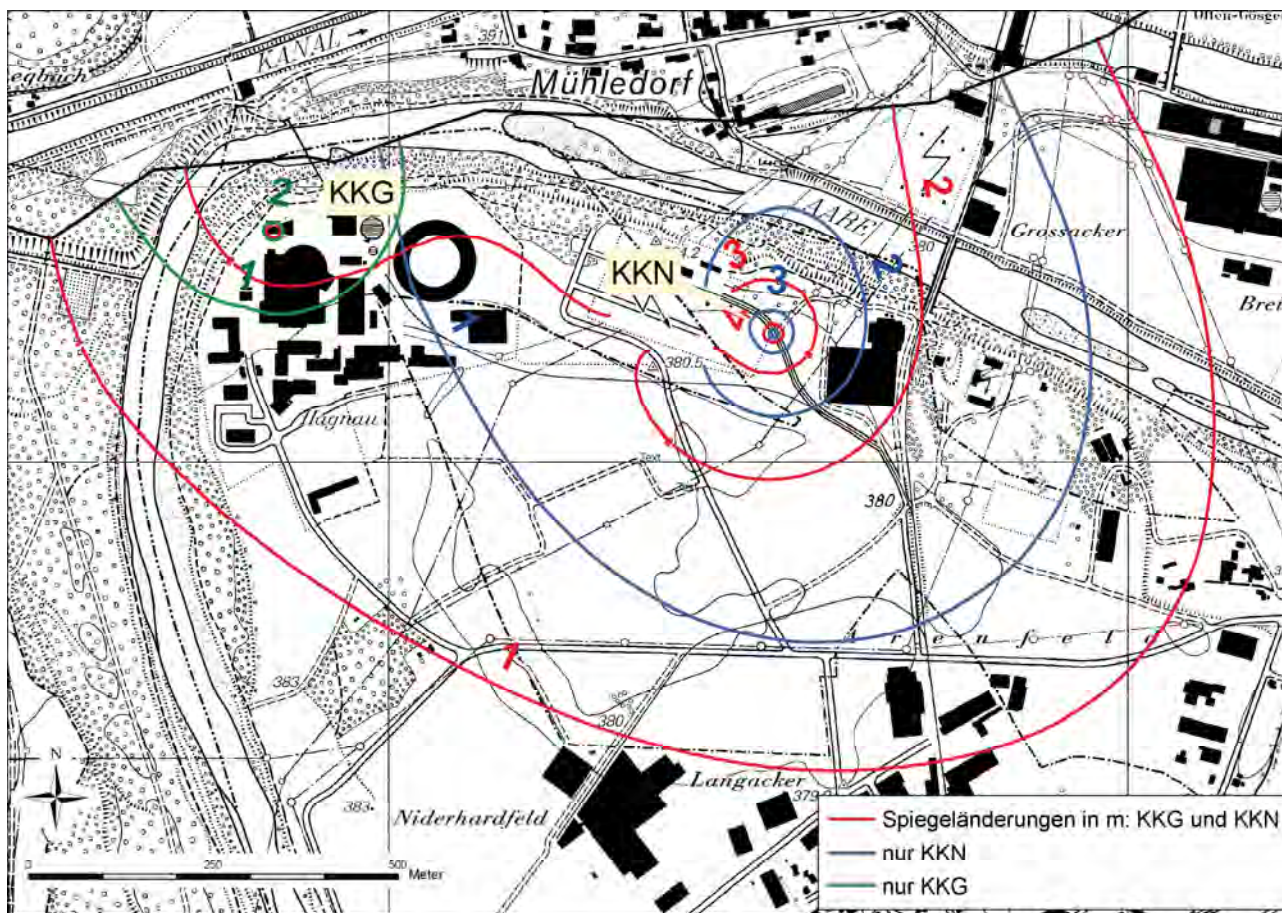


Figure 3.5-42 *Modèle hydrodynamique des eaux souterraines, exemple de variations du niveau piézométrique en cas de pompage simultané hypothétique (isopièzes rouges) à un débit de $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ à la CNG et $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ à la CNN sous des conditions d'extrême sécheresse (isopièzes bleues et verte: pompage uniquement sur le site de la CNN ou de la CNG)*

La figure 3.5-41 et la figure 3.5-42 ne donnent aucun de point de repère concernant les dimensions, la position et l'orientation définitive des ouvrages profonds ainsi que sur l'emplacement d'un puits d'urgence.

Le débit de pompage dans la nappe de $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ postulé pour la CNN se base sur les valeurs de conception des systèmes d'urgence de la CNG (réacteur à eau sous pression) et de la centrale CNL (réacteur à eau bouillante), en tenant compte de la puissance maximale du réacteur de la CNN. Ce taux de prélèvement correspond au besoin en eau pour l'évacuation de la chaleur résiduelle de décroissance radioactive vers les échangeurs thermiques (sans évaporation) après 10 heures de refroidissement autarcique après l'arrêt du réacteur (critère horaire: cf. directive HSK R-101 HSK 1987). Au chapitre 2.2 "Présentation générale du projet", un débit de prélèvement des eaux souterraines d'environ $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ est postulé de manière pénalisante.

3.5.4 Alimentation en eau d'extinction

Selon l'ouvrage "International Guidelines for the Fire Protection of Nuclear Power Plants"(Nuclear Pools' Forum 2006), l'alimentation en eau d'extinction doit être dimensionnée pour les besoins de la lance de plus grosse puissance à déclenchement manuel et en outre pour le besoin maximum de tous les dispositifs d'extinction à têtes automatiques pour une durée minimale de deux heures. Une réserve minimale d'eau d'extinction de 1'200 m³ doit être prévue. Deux systèmes d'alimentation en eau fraîche indépendants doivent être prévus.

L'alimentation en eau d'extinction doit être dimensionnée en parasismique, de manière à ce que l'eau d'extinction soit disponible aux conduites d'appoint et aux points de raccordement pour la lutte manuelle contre les incendies dans les secteurs hébergeant les équipements d'arrêt sécurisé de l'installation.

L'alimentation en eau d'extinction pour la CNN sera probablement effectuée à partir de celle des trois communes du site Däniken, Gretzenbach et Niedergösgen. Pour l'alimentation en eau d'extinction de la CNG, une réserve de 2'400 m³ est disponible dans les réservoirs de Sören Est (Niedergösgen) et de Sören Ouest (Däniken). Quant à savoir si la capacité de ce réservoir sera augmentée pour les besoins de la CNN ou s'il faudra construire de nouveaux réservoirs, ceci sera clarifié avec les communes du site dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

Dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, il sera en outre clarifié si l'alimentation en eau d'extinction du réseau d'eau d'extinction des communes est à l'épreuve des séismes ou peut être conçu de façon parasismique, ou si une alimentation supplémentaire en eau d'extinction est nécessaire pour les cas de séisme. Dans ce cas, les trois options suivantes sont considérées prioritairement:

- Alimentation en eau d'extinction de l'Aar (canal d'amenée et Ancienne Aar)
- Alimentation en eau d'extinction à partir du canal de fuite de la centrale hydro-électrique de Gösgen, au cas où un captage d'eau de refroidissement auxiliaire y est réalisé (option)
- Alimentation en eau d'extinction d'un puits de captage d'eau souterraine resp. du puits d'urgence (option pour le système d'eau de refroidissement auxiliaire)

D'autres alimentations en eau d'extinction existent en principe à l'aide de pompes mobiles de pompiers, p. ex. à partir de l'Ancienne Aar et du bassin de la tour de refroidissement (cette dernière pourrait, le cas échéant, être réalisée de manière parasismique).

L'alimentation en eau d'extinction et les réserves d'eau d'extinction nécessaires sont prises en compte dans le concept de protection contre les incendies qui sera soumis avec la demande d'autorisation de construire.

3.5.5 Évaluation des conditions hydrologiques sur le site de la CNN

3.5.5.1 Eaux de surface

Le site de l'installation prévue se trouve dans la vallée de l'Aar, des deux côtés de l'Ancienne Aar. En ce qui concerne la sécurité du site du point de vue hydrologique, les risques de crue sont déterminants. En particulier les événements extrêmes incluant également des ruptures de barrage, des obstructions de pont et le charriage de matériaux revêtent une grande importance. À ce titre, les événements de crue ont été analysés et les valeurs extrêmes ont été déterminées. Les inondations résultant des crues extrêmes calculées ont été simulées au moyen de modèles numériques. Le débit de crue déterminant de fréquence 10^{-4} /a a aussi été combiné avec des obstructions de pont et des ruptures de barrages/digues. De plus, la "crue maximale probable" (PMF = Probable Maximum Flood) a été déterminée et prise en compte dans le modèle. Sur la base des calculs de modélisation effectués, la sécurité contre les crues sur le site de la CNN peut être réalisée dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

Les événements extrêmes d'étiage ont été étudiés à l'aide d'une analyse des valeurs extrêmes. Les résultats montrent que l'alimentation en eau du système d'eau de refroidissement auxiliaire et/ou l'alimentation en eau d'extinction est assurée dans tous les cas.

Des analyses de valeurs extrêmes aussi bien pour les températures de l'eau de rivière les plus élevées que celles les plus basses ont également été réalisées. Pour le choix des options d'eau de refroidissement auxiliaire dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, il sera clarifié, en tenant compte des systèmes diversitaires, dans quelle mesure les valeurs extrêmes de température de l'eau de rivière doivent être prises en compte de manière déterministe.

3.5.5.2 Eaux souterraines

Le site de la CNN se trouve dans le secteur de protection des eaux. L'aquifère qui s'y trouve est caractérisée par une transmissivité élevée et constitue une ressource d'eau abondante. Il est exploité à des fins multiples dans la région de plaine. Même dans des conditions météorologiques extrêmes, le niveau piézométrique influencé par l'eau de surface ne s'abaisse que faiblement.

Il est possible de prélever de l'eau par pompage de la nappe pour les cas d'urgence et/ou l'alimentation en eau d'extinction de la CNN sans pour autant que le prélèvement d'urgence de la CNG ne subisse un impact significatif en termes de sécurité. L'influence réciproque de prélèvement des eaux souterraines par pompage pour les cas d'urgence de la CNG et de la CNN sera traitée en détail dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, lorsque tous les critères et toutes les conditions cadres seront fixées.

De manière globale, les répercussions du projet de construction et des ouvrages sur l'écoulement de la nappe d'eaux souterraines et sur leur exploitation peuvent être considérées comme très faibles voire insignifiants. Ces aspects sont traités en détail dans le rapport sur l'étude de l'impact sur l'environnement (KKN 2008c, AF-Colenco 2009i)

3.6 Géologie, sismologie et terrain-

3.6.1 Caractérisation récapitulative du secteur du site

Le secteur étudié comprend non seulement le site de Gösgen (site de la CNG) et du Niederamt (site de la CNN), mais aussi leur environnement régional. Des études spécifiques ont montré qu'aussi bien la géologie et les paramètres géotechniques et géophysiques que les caractéristiques statiques et dynamiques des sites de la CNG et de la CNN sont quasi-identiques en ce qui concerne l'aléa sismique. Par conséquent, dans la suite, il sera toujours question des deux sites, lorsque nous utiliserons le terme de "site".

Le présent chapitre 3.6 traite de la caractérisation géologique et sismologique du secteur. A cette fin, des collectes de données régionales et spécifiques au site sur les conditions et les caractéristiques géologiques, sismotectoniques, sismiques et géotechniques ont été effectuées. D'une part les connaissances scientifiques et techniques actuelles et, d'autre part, les résultats des études les plus récentes sur le terrain et en laboratoire - effectuées sur le site dans le cadre du projet PRP (PEGASOS Refinement Project) (juin 2009). - ont été utilisés. Avec les études précédentes menées entre 1971 et 1975 pour le site de la CNG, une base de données étendue pour la caractérisation du site est donc disponible.

La figure 3.6-1 présente l'aire de la centrale nucléaire de la CNG et le site voisin de la CNN, la position des anciens forages de la CNG (en bleu) ainsi que les études plus récentes PRP (forages KB0 - KB6 et lignes sismiques). L'aire du projet de la CNN est représentée sur la figure 3.6-19.

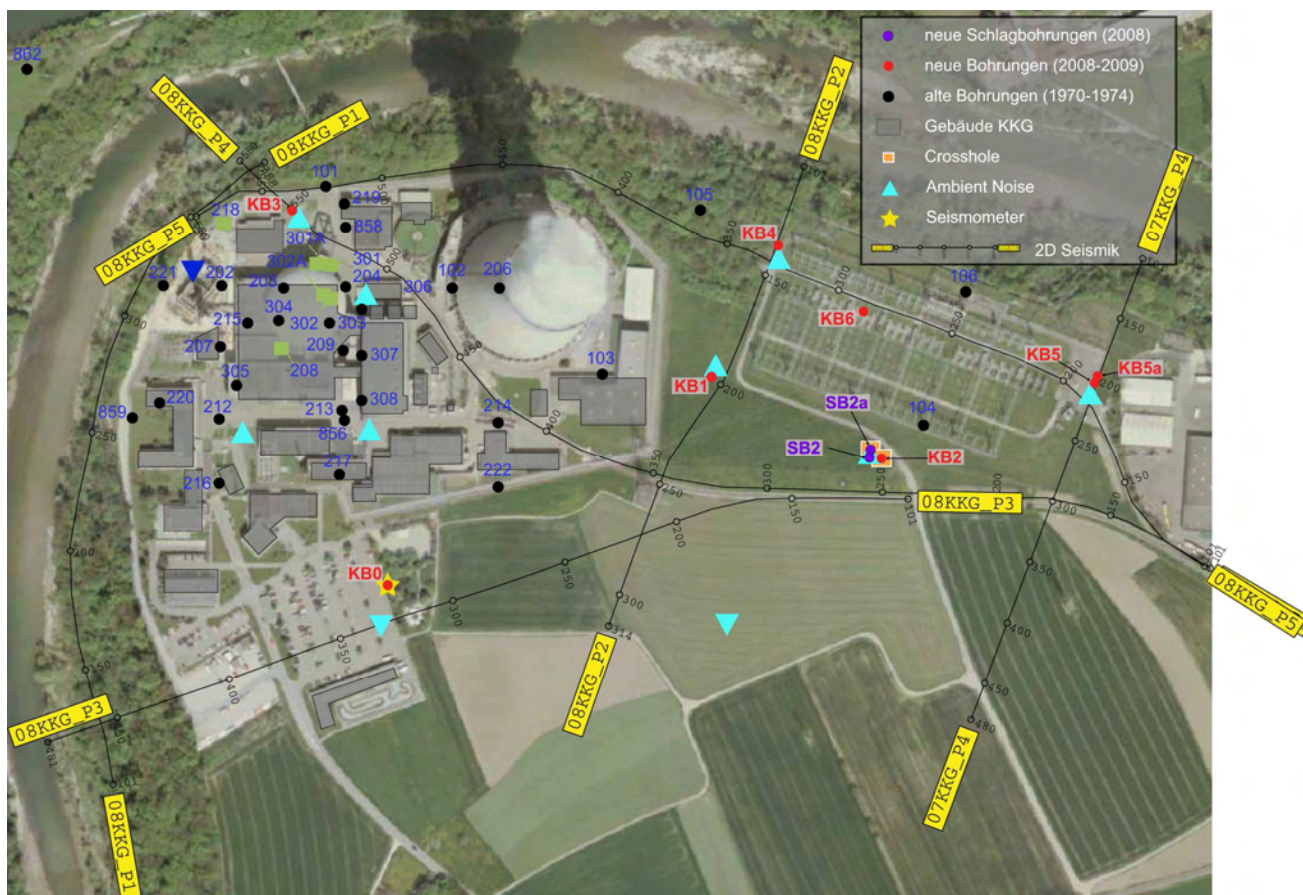


Figure 3.6-1 Plan de situation du secteur analysé CNG/CNN avec indication de la position des forages et des profils sismiques

L'objectif des investigations et études de site géoscientifiques documentées ici est de parvenir à une caractérisation aussi étendue que possible des aspects géologiques et de l'aléa sismique du site de la CNN.

Une documentation détaillée de tous les travaux qui sont à la base de ce chapitre est contenue dans le rapport technique (AF-Colenco 2009f).

Du point de vue géologique, le secteur étudié se situe entre, d'une part la limite du bassin molassique avec le Jura plissé, et d'autre part l'Est du complexe Dinkelberg-Jura tabulaire-Jura plissé, affecté par des fossés et des décrochements (figure 3.6-2). Le site se trouve au nord du synclinal de la vallée de l'Aar (figure 3.6-3). Celui-ci se situe entre la chaîne de Hauenstein au nord et l'anticlinal de l'Engelberg au sud ((figure 3.6-4B). Le fond de la vallée est recouvert d'un dépôt alluvial d'une largeur d'environ 2 km et d'une épaisseur de 25 - 35 m. Le substratum rocheux se compose de calcaires du Malm, auxquels se sont substitués vers le sud des dépôts de molasse d'eau douce inférieure. Le bord septentrional de la vallée de l'Aar suit la ligne Obergösgen - Müldorf - Niedergösgen, où le substratum affleure.

Le remplissage de la vallée se compose d'alluvions de basses terrasses du glaciaire tardif et postglaciaires ("gravier de l'Aar"), qui y ont été déposés à la suite de la dernière période glaciaire par l'Aar dans une phase encore juvénile.

Les graviers sont recouverts par endroits par des niveaux silteux, qui sont les plus jeunes sédiments d'inondation et atteignent jusqu'à 4 m d'épaisseur environ. Le substratum rocheux des graviers se compose de bancs calcaires du malm du Jura plissé qui plongent de 5° à 15° vers le sud-est. La limite méridionale du synclinal est composée par des strates de l'éocène et de la molasse d'eau douce inférieure dans la zone de Dulliken - Schönenwerd.

Le cadre géodynamique du site peut être caractérisé de la manière suivante: Dans l'état actuel des connaissances, l'évolution tectonique de la partie centrale du Nord de la Suisse et du Jura plissé est encore déterminée par les mouvements de compression à l'échelle continentale (compression alpine). À partir du Miocène tardif, il y a environ 13 millions d'années, la couverture a été complètement décollée du socle par la poussée alpine. Les séries évaporitiques du Muschelkalk et du Trias supérieur ont servi d'horizon de glissement ductile. Le niveau de décollement a été charrié sur la surface discontinue du socle vers le flanc sud du fossé permo-carbonifère ou sur des structures en horsts du cristallin (figure 3.6-4B), et c'est alors que c'est produit le chevauchement du Jura plissé. Le socle est également soumis à des contraintes tectoniques, à savoir - comme on peut en déduire des représentations graphiques des mesures sismiques (figure 3.6-5) - par des décrochements de direction rhénane ou hercynienne ainsi que par des failles normales de direction E à NE resp. O à SO. Sur la base des observations sismiques et des données géodésiques des mesures de nivellement et de GPS (figure 3.6-7 et figure 3.6-8), le Niederamt peut être considéré comme une zone géologiquement calme, comparable à la zone centrale du bassin molassique du Plateau suisse.

Pour clarifier le risque de secousses sismiques sur le site générés par des tremblements de terre liés à des structures peu profondes et pour identifier les failles, qui pourraient provoquer des mouvements différentiels du terrain induits par des séismes sous l'installation projetée (Surface Faulting), un catalogue des failles des structures de surface et du socle a été établi pour un rayon de 25 km autour du site (AF-Colenco 2009f).

Toutes les failles cartographiées ou identifiables par sismique réflexion ont été saisies et pondérées sur la base de considérations sismotectoniques. De plus, à cette même fin, un catalogue d'événements sismiques spécifiques au site en dissociant les événements de magnitude $M > 2.5$ et ceux de $M < 2.5$ a été établi sur la base des données issues du Service Sismologique Suisse (SED). Les données du projet PEGASOS et PRP, élaborées sur la base des méthodes les plus récentes, sont utilisées de manière déterminante pour le calcul de l'aléa sismique sur le site.

Les études effectuées sur le site par forages et mesures sismiques n'indiquent pas la présence de failles importantes dans le substratum rocheux.

Sur la base des investigations sur l'aléa sismique et sismotectonique sur le site de la CNN, on peut conclure qu'aucune des structures observée en surface ou dans le socle n'est susceptible de déclencher une secousse sismique qui remettrait en question une conception sûre de la centrale nucléaire.

3.6.2 Considérations géologiques régionales et modèle sismotectonique

3.6.2.1 Introduction

La vallée de l'Aar dans le Niederamt est caractérisée par un synclinal large de quelques kilomètres seulement entre le bord sud du Jura plissé et l'anticlinal de l'Engelberg (cf. figure 3.6-2 et figure 3.6-4B).

Le long de la ligne Mülidorf - Niedergösgen, le substratum rocheux faisant partie du flanc sud de la chaîne de Hauenstein, apparaît sous les alluvions de la vallée de l'Aar. Les couches ont un pendage général d'environ 5° à 15° d'orientation sud-est. Elles sont composées de calcaires fissurés et karstifiés du malm moyen (formation Villigen ; Crenularis-Member et Geissberg-Member). En direction du sud-est, ils sont recouverts par endroits dans le fond de la vallée par des sédiments éocènes de la formation du minerai de fer pisiforme.

Le synclinal de la vallée de l'Aar, connu dans la bibliographie également sous les dénominations de synclinal de Gäu (Diebold et al. 1991) ou synclinal du Niederamt (Bitterli 1979), fait partie de la zone sous-jurassique (figure 3.6-4B) et a été soumis à des contraintes tectoniques pendant le développement du Jura plissé.

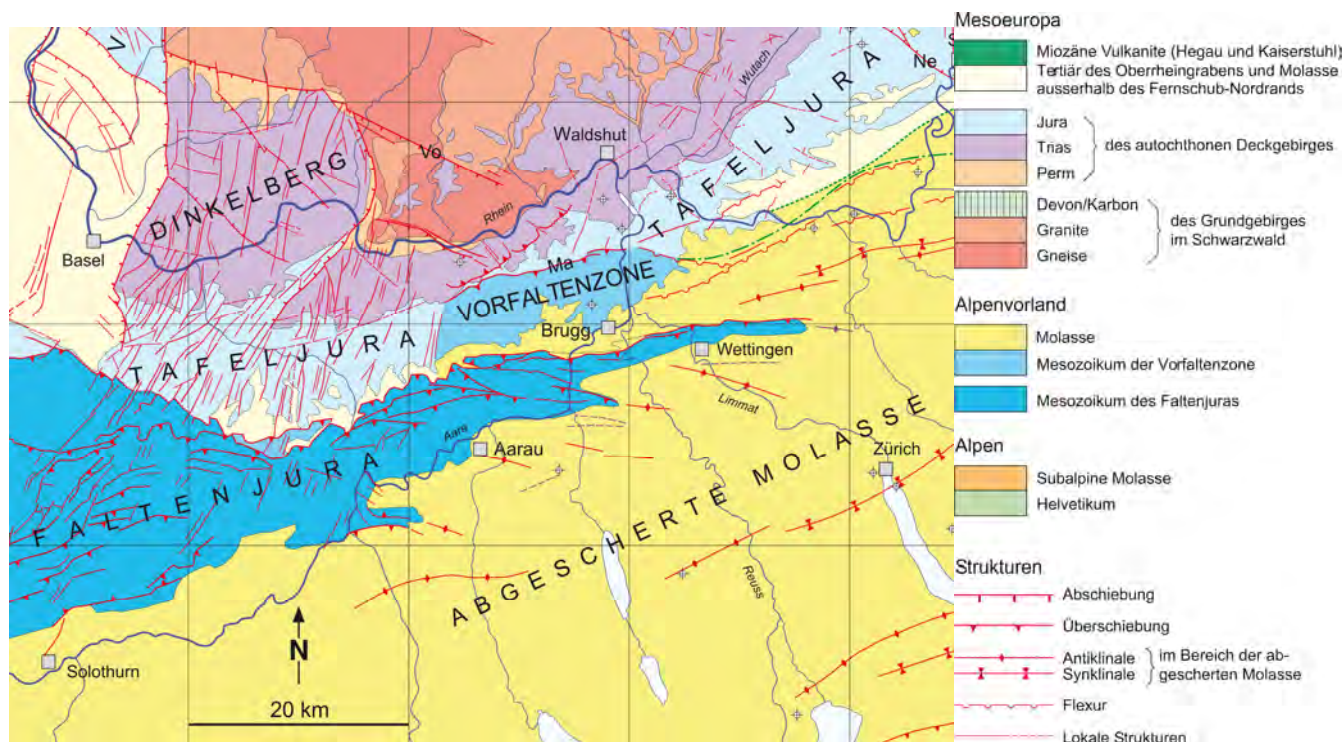


Figure 3.6-2 Carte tectonique de la Suisse centrale et de la Suisse du Nord-Ouest avec la région limitrophe du Sud de l'Allemagne

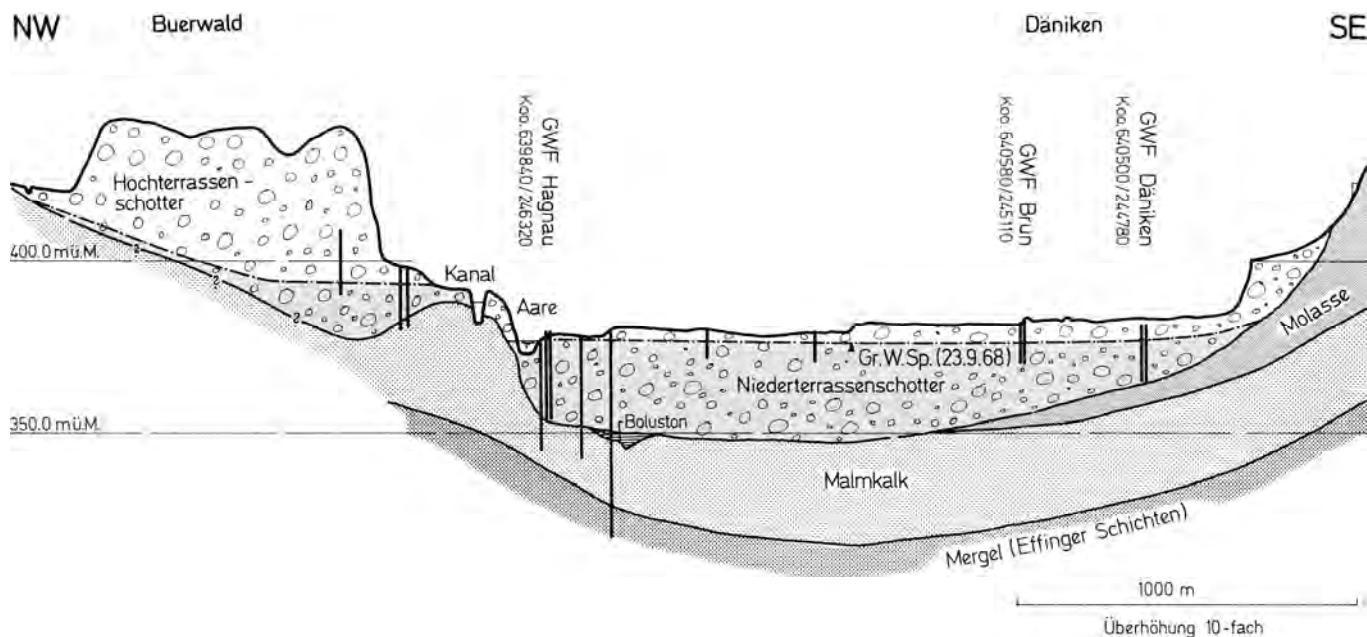


Figure 3.6-3 Section transversale géologique/ hydrogéologique de la vallée de l'Aar près de Däniken (Source: Jäckli & Kempf 1972)

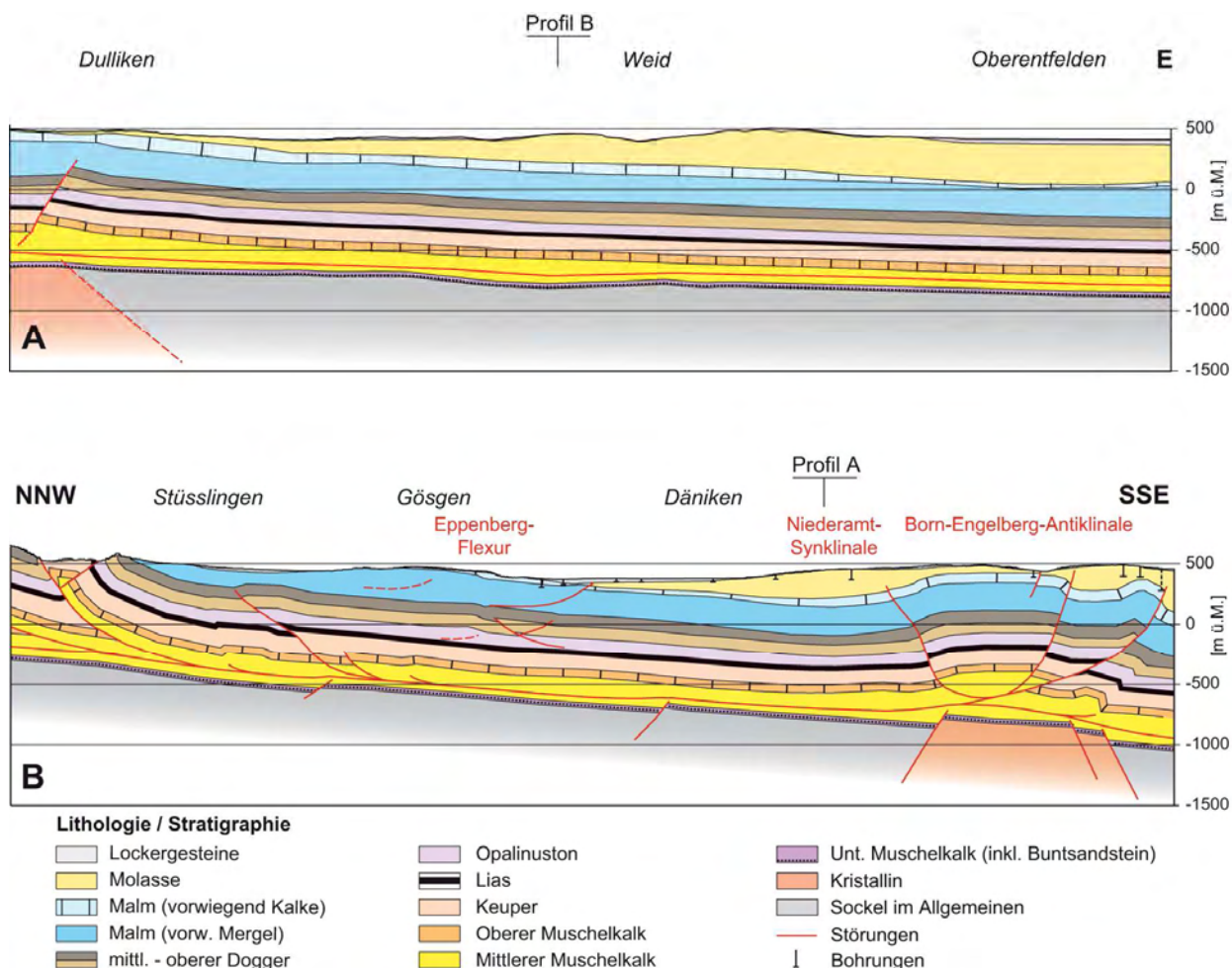


Figure 3.6-4 Interprétation géologique de la de réflexion sismique 83-NS-22 entre Dulliken et Oberentfelden (A) et la ligne de pente 83-NF-06 entre Stüsslingen et l'anticlinal Born-Engelberg (B) (Nagra 2008, suppléments 5.2-7 et 5.2-11)

3.6.2.2 Tectonique du Jura: Thin-Skin contre Thick-Skin

Selon la théorie classique, le Jura plissé s'est formé sous l'effet tectonique à échelle continentale de la poussée alpine (tectonique Thin Skinned, voir p. ex. Buxtorf 1916, Laubscher 1961, Müller et al. 1984, Laubscher 1985, Laubscher 2008). À partir du Miocène tardif, il y a environ 13 millions d'années, la couverture sédimentaire a été complètement décollée du socle par la poussée d'origine alpine. Les séries évaporitiques du Muschelkalk et du Trias supérieur ont servi d'horizon de glissement ductile. Le niveau de décollement a été charrié sur la surface discontinue du socle vers le flanc sud du fossé permo-carbonifère ou sur des structures en horsts du cristallin ((figure 3.6-4B), et ceci a provoqué le chevauchement du Jura plissé.

D'après d'autres scientifiques (p. ex. Pavoni 1961, Ziegler 1990, Pfiffner & Heitzmann 1997), le socle et la couverture sédimentaire ont été comprimés ensemble (il s'agit de la tectonique dite Thick Skinned). Différents auteurs (p. ex. Ziegler 1990, Pfiffner & Heitzmann 1997) invoquent un chevauchement du socle à proximité du fossé permo-carbonifère.

Ustaszewski & Schmid (2007) affirment que la tectonique dite de Thin Skinned a été le processus dominant pendant la phase principale du plissage du Jura. A la poussée lointaine se substitue au pliocène tardif la tectonique des plaques (tectonique Thick Skinned) qui, selon les auteurs, persiste aujourd'hui encore. Cette adaptation pourrait être liée, de manière générale, à un début d'inversion de fossés permo-carbonifères dans la région préalpine.

Beaucoup d'études géologiques (voir p. ex. Buxtorf 1916, Jordan 1992, Laubscher 2008) et des études en mécanique des roches (Müller & Briegel 1980) ainsi que des études fournies en sciences de la terre effectuées par la Nagra dans la partie centrale du Nord de la Suisse (forages, sismique réflexion) montrent clairement que la poussée lointaine est le mécanisme dominant pour la formation du Jura plissé (Laubscher 1985, Müller et al. 2002, Nagra 2008). Ustaszewski & Schmid (2007), qui postulent un changement du régime tectonique du thin-skin au thick-skin, étaient aussi d'avis que le "thin skin" était le mécanisme dominant pendant la phase principale du plissage du Jura. Le socle est également soumis à des contraintes tectoniques, à savoir - comme on peut en déduire des représentations graphiques des mesures sismiques (figure 3.6-5) - par des décrochements de direction rhénane ou hercynienne ainsi que par des failles normales de direction E à NE resp. O à SO. Les diagrammes des mécanismes au foyer ne montrent toutefois aucun signe de structures de décollement ou de chevauchements sur le Plateau suisse ainsi que sur le Jura plissé et le Jura tabulaire. C'est pour cette raison que le requérant considère que la poussée alpine classique persiste actuellement (thin-skin). La structure de décollement des évaporites triasiques ductiles ne produit pas de tremblement de terre. Dans quelle mesure les processus dans le socle déterminent les déformations dans la couverture sédimentaire est encore sujet à discussions. Une discussion technique plus détaillée sur le thème 'Thin-Skin/Thick-Skin' est présentée au rapport technique (AF-Colenco 2009f).

3.6.2.3 Modèle géodynamique

Pour la compréhension de la géologie et de la tectonique du Jura, il faut également prendre en compte le développement des autres grandes unités tectoniques que sont les Alpes, les bassins molassiques, le Fossé rhénan supérieur et la Forêt Noire du Sud.

La succession mésozoïque est limitée à son toit par une surface d'érosion. Au-dessus, on trouve par endroits des dépôts de l'éocène du tertiaire précoce, c.-à-d. qu'il n'y a pas de preuve de l'existence de sédimentation pendant une période d'environ 100 millions d'années. On suppose que les séries du Malm supérieur et du crétacé inférieur se sont déposées sur une épaisseur d'environ 500 m, et ont ensuite été érodées.

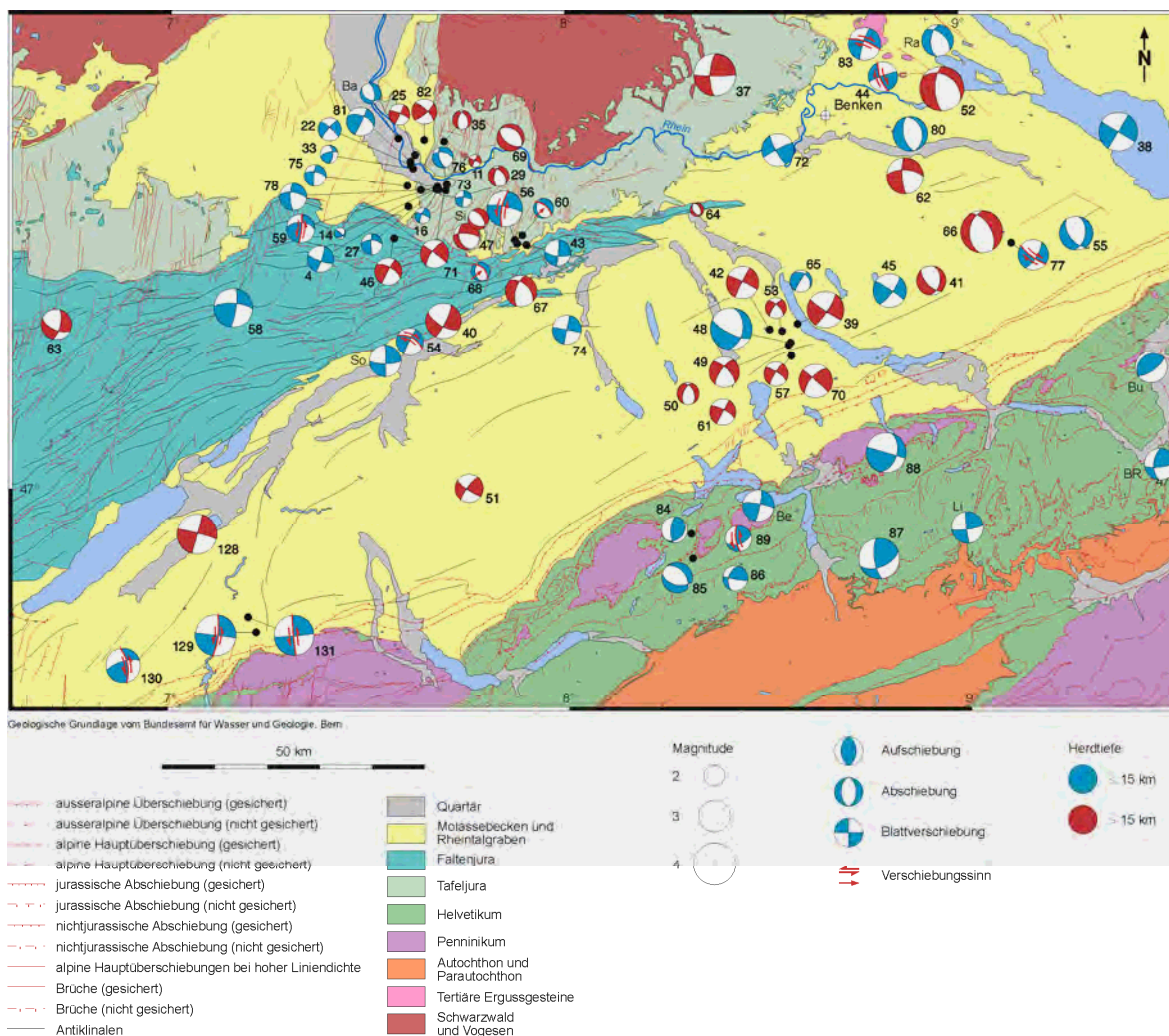


Figure 3.6-5 *Mécanismes au foyer dans le Nord est le centre de la Suisse (Deichmann et al. 2000) superposé à la carte géologique à grande échelle (Müller et al. 2002)*

Cette grande abrasion se réfère à une phase d'émergence et d'érosion du crétacé inférieur au mésozoïque et au paléogène. Les restes des sédiments du Malm-Crétacé sont les bolus très répandus avec la limonite oolithique pisiforme. Ils se sont formés comme résidus d'érosion riches en argile et en fer sur le calcaire de Malm, ainsi que dans les cavités et failles karstiques. Cette phase d'émergence mésozoïque et paléogène dans le Nord de la Suisse est interprétée comme une conséquence directe de la collision alpine pendant la période éocène - oligocène.

La période de l'éocène tardif à la fin de l'oligocène voit l'affaissement du Fossé rhénan supérieur, une structure récifale dans l'avant-pays remobilisé de l'orogénèse alpine. Dans le même contexte les versants ouest (Vosges) et est (Forêt Noire) du fossé rhénan se sont soulevés. Lors de la formation du Fossé rhénan supérieur, le Jura tabulaire et le Jura plissé occidentaux ont été découpés en un champ de fossés et de horsts d'orientation approximativement N-S et de profondeurs variables. Selon Laubscher (2008), ces structures mésozoïques et paléogènes du complexe Dinkelberg-Jura tabulaires sont aussi également observées dans l'ensemble du Jura plissé.

La subduction épi-alpine et l'épaississement correspondant de la croûte dans le secteur des massifs centraux ont provoqué une déformation active de la croûte préalpine. Les parties basses de l'avant-pays résultant de ces mouvements ont été continuellement remplies par des matériaux provenant de l'érosion de formations émergées (flysch, molasse, oligocène - miocène).

La poussée alpine toujours croissante a aussi provoqué sur des horizons mécaniquement appropriés la formation d'écaillés dans la région préalpine («décollement thin-skinned»). A partir du miocène précoce, des paquets de molasse subalpine charriée se sont amoncelés par chevauchement de couches riches en argile de fond, provenant de la molasse marine inférieure (UMM) et de la molasse d'eau douce inférieure (USM).

À partir du Miocène supérieur, ce décollement s'est également étendu aux couches plus profondes du Mésozoïque, c'est à dire des parties de la couverture du Plateau suisse central et occidental, les séries évaporitiques du Muschelkalk moyen et du Trias supérieur servant d'horizons de décollement et de chevauchement. Sur le front de la poussée alpine, il y a eu chevauchement et "déplissage" du Jura plissé (voir aussi la figure 3.6-4B).

Certaines parties du Jura tabulaire, la zone des avant-plis (figure 3.6-2) **Fehler! Es wurde kein Textmarkenname vergeben.**, ont également été affectés par la poussée alpine.

L'avancée du front alpin a induit un champ de contrainte à large échelle sur l'avant-pays méso-européen. La composante horizontale majeure du champ de contraintes est depuis le début du Tertiaire perpendiculaire au front alpin, c.-à-d. d'orientation approximativement NO-SE à l'ouest et N-S à l'est (figure 3.6-6). Ceci favorise les décrochements d'orientation rhénane ou hercynienne ou les failles normales de vergence Est à Nord-Est resp. Ouest à Sud-ouest, comme le démontrent les diagrammes de mécanismes au foyer des tremblements de terre au Nord et au centre de la Suisse (figure 3.6-5). Les structures de décollement resp. les chevauchements dans la direction NO-N sont également liés à cette orientation des contraintes. Toutefois, il faut relever que les graphiques de mécanismes au foyer n'indiquent aucun décollement resp. aucun chevauchement. Ceci indique clairement l'absence de décollement resp. de chevauchement dans le socle caractérisé par une déformation cassante. Cette constatation ne s'oppose pas à l'hypothèse d'un chevauchement continu du Jura. En effet celui-ci se produit sans secousse sismique dans les séries évaporitiques ductiles et plastiques du Muschelkalk moyen ou du Trias supérieur.

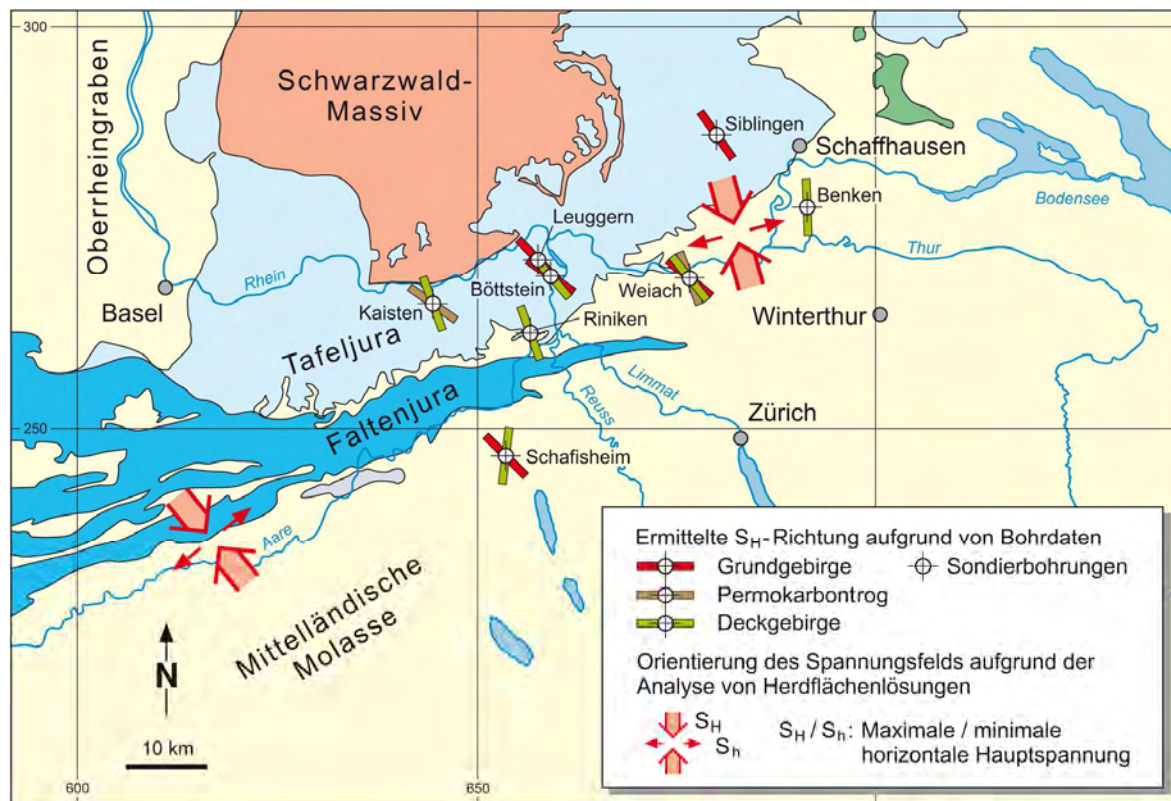


Figure 3.6-6 Aperçu de l'orientation du champ de contraintes récent dans la Suisse du Nord (Müller et al. 2002)

Dans l'état actuel des connaissances, le développement tectonique de la partie centrale du Nord de la Suisse est considéré comme encore contrôlé par la poussée alpine. Les données géodésiques (Schlatter 2008, Zippelt & Dierks 2007) indiquent clairement que les processus tectoniques importants ayant influencé récemment la tectonique dans le Nord de la Suisse sont encore actifs. Ainsi, le soulèvement des Alpes continue à une vitesse d'environ 1.5 mm/an, la Forêt Noire à une vitesse de surrection d'environ 0.4 mm/an dans la zone du Feldberg.

Le Fossé rhénan supérieur montre encore une tendance nette à l'affaissement (toutes les données géodésiques se réfèrent à un point fixe au niveau de Laufenburg). De plus, les mesures des nivellements du Jura plissé central et oriental indiquent des surrections différentielles de 0.25 à 0.35 mm/an par rapport aux données du Jura tabulaire (figure 3.6-7). Cette différence de vitesse de surrection entre le Jura tabulaire et le Jura plissé ne peut être expliquée que par le chevauchement du Jura plissé qui se poursuit. Si l'on convertit ces vitesses de surrection en mouvements horizontaux, on obtient une vitesse de charriage de l'ordre de 0.5 à 0.7 mm/an.

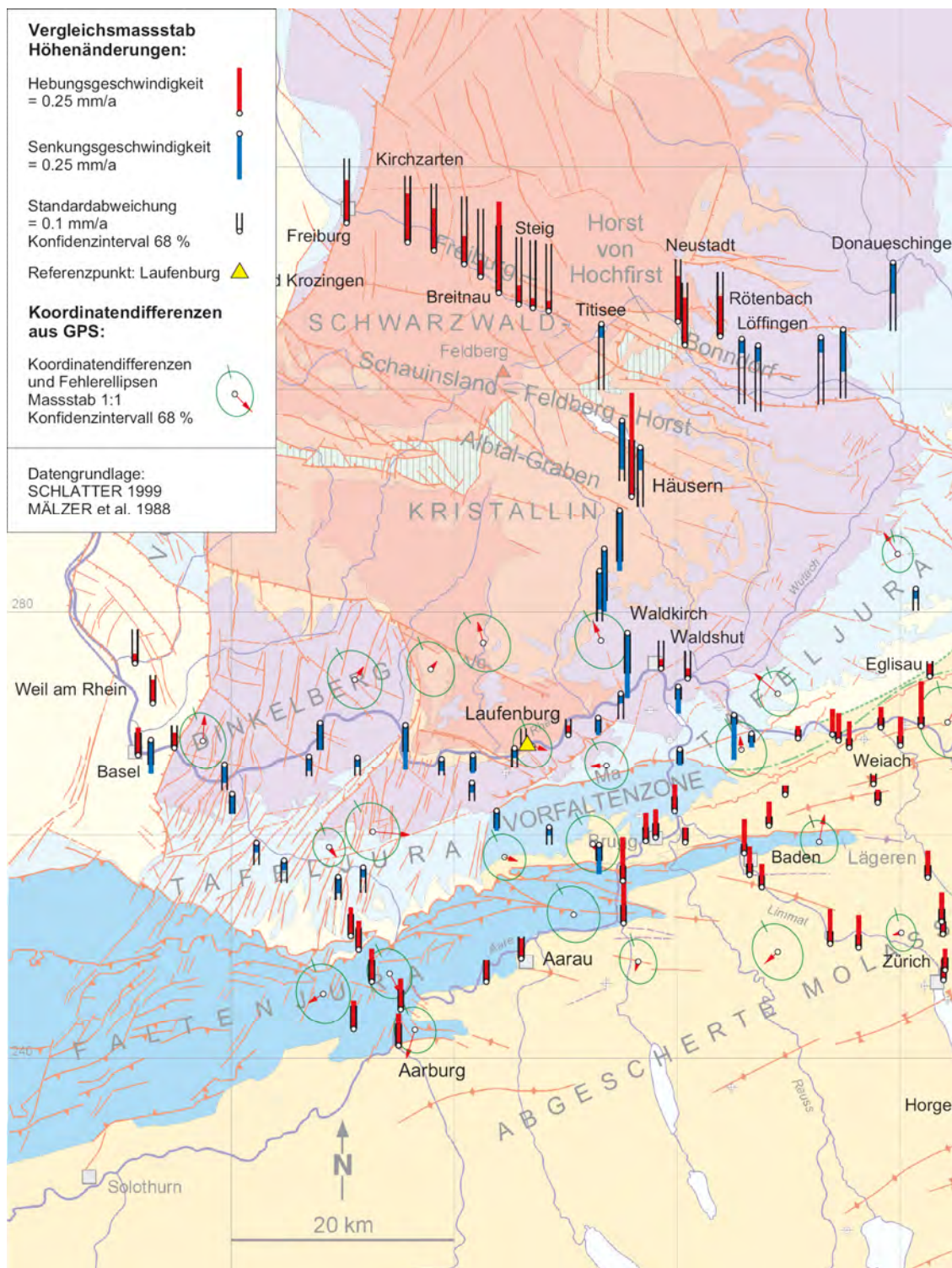


Figure 3.6-7 Variation d'altitude dans le Nord de la Suisse et dans la région limitrophe du Sud de l'Allemagne (Müller et al. 2002)

Ces mouvements sont probablement en rapport avec le chevauchement du Jura qui perdure, mais ils ne déclenchent pas de tremblements de terre significatifs en raison du comportement ductile des séries évaporitiques dans le Trias (figure 3.6-5).

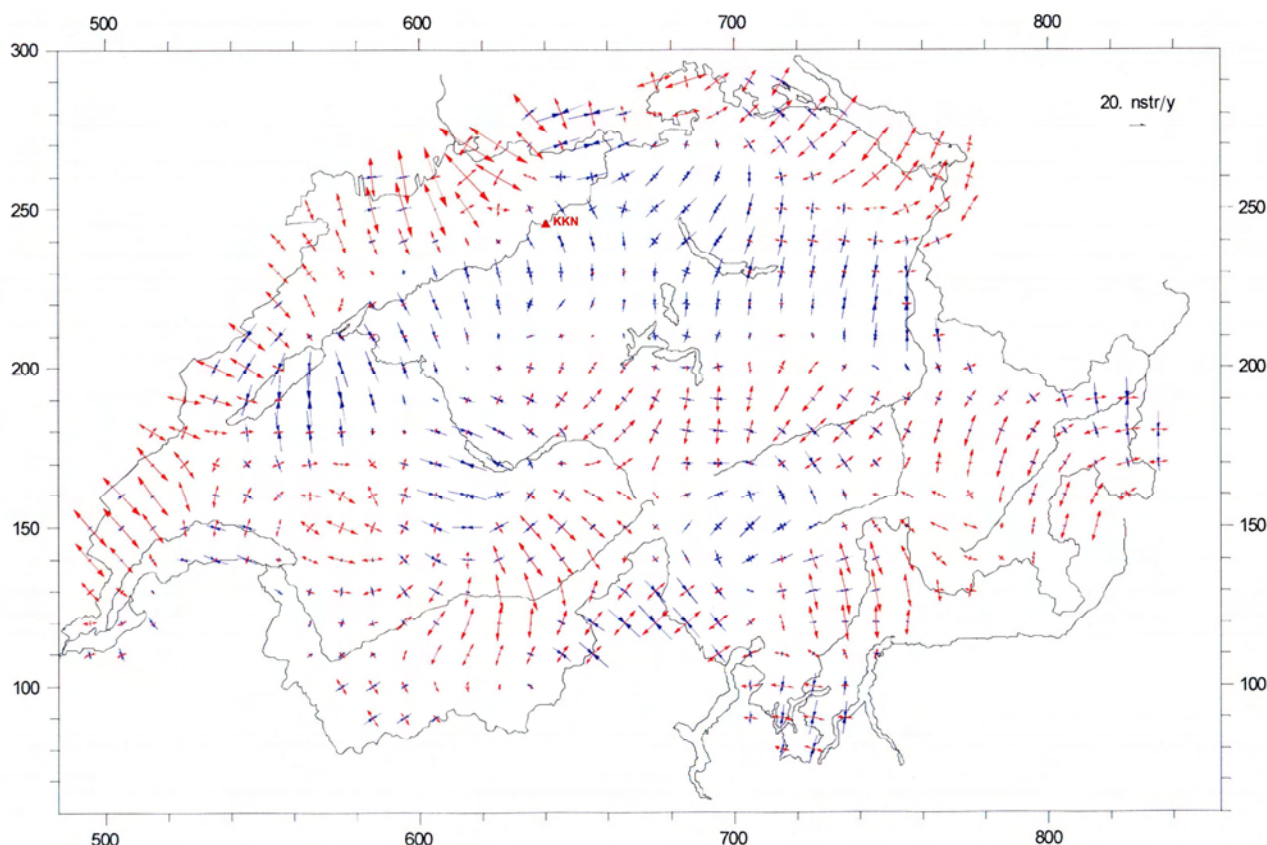


Figure 3.6.8 Taux de déformation bidimensionnelle déterminé à partir de mesures GPS: axes P et T sur une grille de 10 km x 10 km. Les axes P et T à valeurs positives sont représentés sous forme de demi-flèches rouges, les axes à valeurs négatives sous forme de demi-flèches bleues (Wiget et al. 2007)

Le chevauchement du Jura a commencé il y a environ 13 millions d'années. Le bloc de sédiments dans la zone du site a été charrié à environ 4.5 km dans la direction NNO. La vitesse moyenne de charriage calculée sur la base de ces données est inférieure à 0.4 mm/an. Cette vitesse est également de l'ordre de grandeur des valeurs récentes déterminées par mesures géodésiques. Ces taux de déformation sont très faibles et le Niederamt peut être considéré comme zone calme géologiquement, comparable à la zone centrale du bassin molassique du Plateau suisse.

3.6.2.4 Description des structures régionales de surface et de socle (Catalogue des accidents tectoniques)

But, base des données et procédure

Pour apprécier l'aléa sismique ou sismotectonique (p. ex. par le "Surface Faulting ") sur le site de la CNN, tous les accidents tectoniques connus dans le sous-sol et dans un rayon de 25 km - et susceptibles d'être réactivés en cas de séisme - doivent être saisis et pondérés conformément à la directive IAEA (IAEA 2002, IAEA 2003). Lors de l'élaboration du catalogue correspondant des accidents, une distinction a été faite entre deux groupes de structures cartographiées ou identifiables à l'aide de la sismique réflexion, étant donné qu'ils présentent une importance sismotectonique différente: le niveau supérieur des structures proches de la surface et le niveau inférieur des accidents tectoniques du socle.

Les bases de données du catalogue des accidents tectoniques "Structures de surface" proviennent de deux sources différentes:

- Inventaire des accidents tectoniques de la Nagra (voir aussi Nagra 2008, supplément 5.2-6) et
- Carte tectonique de la Suisse 1:500'000 (OFEG 2005)

Les deux séries de données sont intégrées dans le système d'information géographique (SIG) de la Nagra et ont pu être utilisées pour l'élaboration de la carte des structures de surface et du catalogue des accidents tectoniques correspondant "Structures de surface et magnitudes" (AF-Colenco 2009f, suppléments 1 et 2). Dans le catalogue du SIG de la Nagra, la longueur de la structure respective à la surface a été calculée d'après la ligne d'affleurement. Pour le catalogue des accidents tectoniques, cette longueur a fait l'objet d'une nouvelle estimation. Dans les cas où une ou plusieurs structures constituent manifestement un seul ensemble, elles ont été considérées comme une unité. La surface de rupture est un rectangle résultant de la longueur de la structure et de la profondeur présumée. Pour les structures de décollement et les chevauchements ductiles, seul les couches supérieures, dans lesquelles le chevauchement provoque une déformation cassante, ont été prises en compte comme surface de rupture.

La carte géologique de la surface du socle comprenant la distribution présumée des fossés permocarbonifères (Nagra 2008, figure 5.2-8) constitue la base du catalogue des accidents tectoniques "Structures du socle" (AF-Colenco 2009f, supplément 4). Cette carte a été complétée par Naef (2009) avec des structures qui ont été interprétées sur la base des données de réflexion sismique de la Nagra. La carte des structures du socle qui en résulte (AF-Colenco 2009f, supplément 3) contient aussi les accidents supposés ou postulés sur la base de considérations conceptuelles. La carte des structures du socle ne présente donc pas d'accidents tectoniques certains, contrairement à la carte des structures de surface. Afin qu'aucune structure ne soit mentionnée deux fois, le catalogue des accidents n°2 "Structures du socle et magnitudes" (AF-Colenco 2009f, supplément 4) ne contient pas les structures du socle déjà contenues dans le catalogue n°1 "Structures de surface".

Les structures contenues dans la carte des structures du socle (Naef 2009) sont en partie visibles également dans les profils géologiques du rapport technique de la Nagra (Nagra 2008). Dans le catalogue des accidents tectoniques n° 2, la colonne "Remarques" renvoie au document annexe du NTB correspondant.

Pour tous les accidents tectoniques spécifiés dans les deux catalogues, les magnitudes maximales possibles ont été déterminées selon Wells & Coppersmith (1994) (CNG 2009b).

Résultats essentiels concernant les structures identifiées

Les calculs des magnitudes maximales pour les 98 structures du catalogue des accidents tectoniques n°1 "Structures de surface" (AF-Colenco 2009f, annexe 2) ont donné des valeurs qui étaient inférieures à 5 pour 76 accidents tectoniques considérés. Pour 19 structures, des magnitudes entre 5.0 et 5.4 et uniquement trois zones ont été déterminés ; les valeurs de 5.5 et 5.6 ont été obtenues pour la faille d'Eggberg, celle de Wehratal et la zone de rupture de Zeiningen. La mesure dans laquelle de tels accidents tectoniques peuvent être réactivés dépend de la position relative de la surface de rupture par rapport à l'orientation du champ de contraintes récent. Pour l'estimation de l'aléa sismique sur le site d'une centrale nucléaire la distance par rapport au foyer sismique possible joue un rôle déterminant.

Le champ de contraintes récent (Kastrup et al. 2004), qui a été déterminé sur la seule base des foyers sismiques, indique une contrainte de compression maximale dans la direction NNO-SSE. A l'inverse, la direction ENE-OSO est celle d'où les contraintes en extension sont maximales. Selon Kastrup et al. (2004), ceci signifie un régime tectonique, dans lequel les décrochements et les failles normales dominant. Suivant l'orientation du champ de contraintes récent, les décrochements rhénans (N-S à NNE-SSO) et hercyniens (ONO-ESE à NO-SE) ainsi que des failles normales de direction ENE à E et OSW à O sont plus susceptibles d'être activés.

L'analyse des trois accidents identifiés présentant les plus grandes magnitudes (cf. AF-Colenco 2009f, supplément 2) mène au résultat suivant:

- L'accident tectonique d'Eggberg est une structure très ancienne, qui a probablement été réactivée lors des phases principales de surrection de la Forêt Noire méridionale. Il se compose de nombreuses ramifications ; la surface principale du rejet est orientée d'environ 50° vers le sud, et son activation est donc peu probable selon Kastrup et al. (2004). De plus, elle est distante de plus de 21 km de la CNN.
- L'accident tectonique dans la vallée de la Wehra et la zone de rupture de Zeiningen sont apparus pendant l'éocène supérieur et l'oligocène inférieur lors de l'affaissement du Fossé rhénan supérieur et du développement correspondant du bloc de Dinkelberg et du champ de fossés du Jura tabulaire.
- L'accident tectonique de la vallée de la Wehra est une faille normale orientée vers l'ouest. Il pourrait être réactivé par le champ de contraintes récent. Il n'y a toutefois pas d'indication d'une réactivation récente. L'accident tectonique dans la vallée de la Wehra est distant de 26 km du site de la CNN.

- La structure principale de la zone de rupture de Zeiningen est une faille normale de direction nord-ouest. En ce qui concerne l'orientation du champ de contraintes principal, elle ne se trouve pas dans un régime, dans lequel elle pourrait être facilement réactivée. Elle est en outre distante d'au moins 18 km du site de la CNN.

La carte géologique des structures du socle et le catalogue des accidents tectoniques n° 2 "Structures du socle et magnitudes " (AF-Colenco 2009f, suppléments 3 et 4) ne comprennent pas, comme déjà mentionné, de structures déterminées de manière certaine. Les structures indiquées ont été postulées sur la base des interprétations ou de conceptualisations.

Les structures les plus marquantes sont les bords de la profonde cuvette permo-carbonifère (NPT) dans le Nord de la Suisse et les failles normales qui limitent les différents horsts cristallins. Dans une approche pénalisante, des surfaces de rupture très larges ont été postulées. Les valeurs de magnitude calculées se situent donc également dans une plage de valeurs relativement élevées entre 4.4 et 5.8. Outre le fossé permo-carbonifère du Nord de la Suisse, la carte indique aussi trois fossés permo-carbonifères présumés, mais de plus faible dimension. On peut supposer qu'ils sont aussi limités par des failles normales, mais ceci n'a pas pu être démontré par la sismique réflexion.

En ce qui concerne l'âge et la signification éventuelle en rapport avec la réactivation récente des structures du socle, les constatations suivantes peuvent être faites (Naef 2009):

- Sur la base de vastes études du sous-sol du Nord de la Suisse, il est vraisemblable que le modèle structural du socle connu jusqu'à présent soit le résultat de l'orogénèse varisque polyphasée dans le Paléozoïque tardif (p. ex. Nagra 2008).
- Étant donné que les contrastes lithologiques dans le socle sont difficilement explorables sans informations directes issues de forages en profondeur, l'analyse de ce modèle de structure se limite essentiellement à l'analyse des rejets dans le socle mésozoïque (sismique réflexion), c.-à-d. aux accidents tectoniques du socle réactivés par des phases de déformations ultérieures.
- Sur la base de ces accidents tectoniques qui remontent du socle vers la couverture ainsi que des changements connexes de faciès et d'épaisseur (sédimentation et tectonique), on peut reconnaître des phases à remobilisation diverses des structures du socle:
 - Subsidence postorogénique différentielle dans le paléozoïque tardif et le mésozoïque précoce avec la constitution d'épaisseurs différentes des formations permo-triasiques et réactivation des accidents tectoniques du socle (extension et compaction, en particulier autour du fossé permo-carbonifère NPT dans le Nord de la Suisse)
 - Léger cisaillement et inversion pendant le Trias tardif, éventuellement durant le Jurassique moyen précoce, démontré pour la première fois sur la base de la sismique réflexion 3D de la Nagra dans la région viticole zurichoise (Birkhäuser et al. 2001)
 - Différentes indications de légères remobilisations des éléments du socle pendant le mésozoïque inférieur, qui se manifestent par des épaisseurs et différents espaces de faciès variés

- Réactivation des structures rhénanes suite à la formation du Fossé rhénan supérieur dans l'éocène/Oligocène (p. ex. l'accident de Zeiningen, le fossé de Wölflinswil)
- Tectonique générale de distension avec réactivation des bords de la cuvette pendant la subsidence du bassin molassique dans l'Oligocène-Miocène (p. ex. Baden-Irchel-Herdern-Lineament, faille normale basale de Mandach = bord septentrional de la cuvette permo-carbonifère dans la Suisse du Nord, cf. p. ex. Nagra 2008, Annexes 5.2-14)
- Réactivation des accidents tectoniques du socle, en particulier des structures hercyniennes par la surrection miocène/pliocène de la Forêt Noire du Sud (accidents tectoniques de Vorwald et d'Eggberg, fossé Bonndorf-Hegau-Lac de Constance)
- Cisaillement compressif dans le socle induit par la poussée alpine qui se poursuit, comme manifestation néotectonique la plus récente ; les structures rhénanes sont réactivées préférentiellement en mode de déformation transversale sénestre, tandis que celles hercyniennes le sont en mode dextre.

Il n'y a jusqu'à présent aucun signe d'inversion récente du fossé permo-carbonifère dans le nord de la Suisse. Ceci est valable pour le secteur d'étude de la Nagra, qui englobe les parties centrales et orientales du Nord de la Suisse entre Aarwangen et le Lac de Constance, et donc également le site de la CNN (Nagra 2008).

Les failles normales limitant les horsts cristallins sont en partie identiques aux bords du fossé permo-carbonifère, certaines d'entre-elles décalant le fossé, d'autres sont des failles au sein du massif cristallin. La direction des failles normales marquantes est $\pm$ O-E à SSO-ENE. Aussi, l'orientation de ces failles normales est telle que, dans le régime de contrainte dominant, elles ne peuvent quasiment pas être réactivées (Kastrup et al. 2004).

Conclusions

Sur la base des structures tectoniques décrites dans un rayon de 25 km autour du site et de leur pondération du point de vue de la magnitude maximale possible de séismes qu'elles peuvent déclencher, on peut conclure qu'aucune des structures de la surface ou du socle ne peut déclencher un tremblement de terre qui représenterait un risque pour le projet. Les raisons suivantes sont déterminantes:

- Les structures tectoniques significatives se trouvent à large distance du site de la CNN. Ceci est notamment valable pour les accidents tectoniques périphériques à l'est du Fossé rhénan supérieur et pour la zone de Fribourg.
- Les structures tectoniques sont souvent trop petites, pour pouvoir déclencher de tremblements de terre de magnitude conséquente.
- En raison de leur position et de leur orientation, les structures tectoniques ne peuvent pas être réactivées par le champ récent des contraintes.

3.6.2.5 Catalogue des tremblements de terre, distribution des séismes

Outre les accidents tectoniques et leur potentiel de réactivation, la saisie de toutes les sources sismiques et microsismiques dans l'environnement régional est essentielle pour apprécier l'aléa sismique et/ou sismotectonique du site. A cette fin, un catalogue des tremblements de terre spécifiques au site comportant les événements à magnitudes $M > 2.5$ et ceux à magnitudes $M < 2.5$ a été établi sur la base des données du Service Sismologique Suisse (SED).

Avant d'aborder la discussion des données, les notions de magnitude et d'intensité doivent être explicitées (voir aussi SED 2008).

La puissance d'un tremblement de terre est quantifiée par sa magnitude (M). Cette dernière est une mesure de l'énergie libérée au foyer du séisme. La magnitude des tremblements de terre est habituellement déterminée à l'aide de l'amplitude et de la période du signal enregistré à une station sismique. Cette amplitude de signal diminue toutefois avec la distance croissante au foyer sismique. Il convient donc, pour la détermination des magnitudes, d'appliquer un facteur correctif fonction de la distance. La magnitude obtenue ne dépend alors plus de l'endroit où le tremblement de terre a été enregistré. La magnitude se différencie ainsi de l'intensité locale spécifique.

L'intensité d'un tremblement de terre est utilisée comme mesure de sa perceptibilité par l'homme et de ses dommages locaux sur les ouvrages de construction et le paysage. Presque toutes les données (macrosismiques) de tremblements de terre historiques dans les catalogues des tremblements de terre européens sont disponibles sous forme d'indications d'intensités qui ont été dérivées de la transmission orale des dommages observés. En Europe, l'échelle d'intensité EMS 98 est utilisée depuis 2001, elle est une évolution de l'échelle MSK 64 (Medwedew-Sponheuer-Kárník). Un avantage de cette nouvelle échelle réside dans le fait qu'elle est très bien calibrée statistiquement en ce qui concerne l'ampleur des dommages observés sur des types de bâtiment standard.

La magnitude d'un tremblement de terre est déterminée par différentes méthodes. Les deux types de magnitude les plus fréquents dans les différents catalogues de tremblements de terre du SED sont brièvement expliqués ici.

La magnitude locale (M_L) est calculée pour les tremblements de terre qui se manifestent à un endroit relativement proche des stations enregistrées. La première échelle de magnitude développée en 1935 par Richter correspond à une telle magnitude locale. Aujourd'hui encore, la magnitude d'un tremblement de terre est généralement indiquée en unités de l'échelle de Richter.

La magnitude du moment (M_w) est la seule magnitude qui a un rapport direct avec les processus et paramètres physiques au foyer sismique. M_w a été dérivé du moment sismique M_0 sur la base de considérations théoriques. M_0 est le produit de la dimension de la surface de rupture avec la valeur moyenne du décalage le long de la faille et avec la résistance au cisaillement du matériau. Il existe différentes possibilités de détermination de M_w . Ces méthodes nécessitent toutefois beaucoup plus d'effort que la mesure d'amplitudes sur le séismogramme.

Lorsqu'une magnitude désignée par "M" est mentionnée sur les listes de tremblements de terre, ceci signifie que le type de magnitude n'a pas été spécifié plus en détail.

Le SED a publié le catalogue ECOS (Earthquake Catalog of Switzerland) sur Internet depuis 2002 (SED 2008). Ce catalogue est un extrait de la base de données électronique du SED et contient tous les événements, pour lesquels soit une observation macrosismique, soit des mesures par instruments sont disponibles. Il englobe toute la Suisse ainsi qu'une bande de 30 km de pays voisins, entre les coordonnées géographiques 5.6 - 11.1°E (longitude) et 45.4 - 48.3°N (latitude).

Le catalogue ECOS a été révisé par le SED, sur la base des études historiques, macrosismiques et sismologiques, comme suit:

- Des études historiques ont permis de réunir des analyses pertinentes de séismes, des catalogues et des bases de données macrosismiques existantes de Suisse et des pays voisins.
- Tous les tremblements de terre avec un foyer sismique en Suisse ou à l'étranger, qui ont provoqué des répercussions significatives en Suisse ont été analysés séparément du point de vue macrosismique. Pour ces tremblements de terre, des zones d'intensité ont été élaborées.
- Des études sismologiques ont au final permis de déterminer les paramètres des sources (épices, classification des profondeurs des hypocentres, intensité épice, intensité maximale, magnitude macrosismique) avec leurs incertitudes. La magnitude du moment (M_w) a alors été dérivée sur la base de ces données. Le catalogue ECOS contient donc une estimation uniforme de la magnitude du moment comme mesure commune à tous les événements historiques connus et à ceux enregistrés par des instruments.

Le catalogue ECOS est mis à jour régulièrement et représente la base de données la plus actuelle et la plus complète. Quatre cartes d'épices (de la figure 3.6-9 à la figure 3.6-12) sont représentées et discutées ci-après. Elles comprennent toutes les données disponibles sur les tremblements de terre et les micro-tremblements de terre ($M_w < 2.5$). La section de carte représentée contient les plus importants secteurs sismiques autour du site de la CNN: Bâle, Fribourg et la Suisse centrale. Outre la classification selon la magnitude (inférieure/supérieure à 2.5), un classement par événements historiques et récents (avant et après 1975) ainsi qu'une distinction selon la profondeur du foyer sismique (inférieure/supérieure à 15 km) sont effectués.

La figure 3.6-9 présente des tremblements de terre de faible magnitude ($M_w < 2.5$) enregistrés au moyen d'instruments de mesure. On observe une accumulation manifeste de tels événements sur une bande d'une largeur d'environ 10 km orientée NO-SE, qui va du Fossé rhénan supérieur à l'est de Bartenheim jusqu'à Unterer Hauenstein en passant par Bâle. Une accumulation de micro-tremblements de terre est également observée dans le bloc du Dinkelberg et le Jura tabulaire à sa limite sud jusqu'à la ligne Säckingen - Unterer Hauenstein.

Une autre accumulation se trouve dans le secteur du Weissenstein entre Oensingen et Grenchen. Les épices de micro-tremblements de terre alignés comme un collier de perles dans la zone de Fribourg, entre le Lac Noir et Laupen, sont manifestes. Il semble que de petites surfaces de rupture soient également activées dans la zone de Fribourg.

Une distribution plus diffuse est observée sur le Jura plissé, dans le secteur entre Bienne - Delsberg - Bonfol ainsi que dans le Sundgau. Une autre accumulation est reconnaissable le long de la frontière des Alpes du Nord, entre le Lac des Quatre-Cantons et le Lac de Thoune.

La carte de la figure 3.6-10 présente les tremblements de terre de magnitude supérieure au seuil de sensibilité approximatif ($M_w > 2.5$). Elle est assez différente de celle des tremblements de terre de faible magnitude et indique une concentration de tremblements de terre essentiellement historiques à Bâle et au sud de Bâle. Au nord-ouest de Bâle, il y a prédominance des tremblements de terre enregistrés par des instruments de mesure. Dans la Suisse centrale aussi, dans les cantons d'Obwald et de Nidwald, on constate une grande prédominance des tremblements de terre historiques. Dans le secteur autour de Fribourg, les épicentres ne sont plus disposés de manière linéaire, mais surfacique autour de Fribourg. Il existe également une accumulation semblable de tremblements de terre à Zurich, Horgen, Eglisau et Brugg. Malgré une localisation minutieuse, les tremblements de terre historiques sont souvent rapportés à des épicentres à proximité des villes, où ils ont été perçus par la majorité de la population.

La carte de la figure 3.6-11 comprend tous les tremblements de terre historiques et enregistrés par des instruments de mesure. Les constatations les plus importantes ont déjà été faites en ce qui concerne les deux cartes supérieures (figure 3.6-9 et figure 3.6-10). Il ressort clairement de cette carte que le secteur autour du site de la CNN présente une fréquence de tremblements de terre très faible.

Les tremblements de terre de profondeur de foyer supérieure à 15 km se concentrent sur les zones suivantes (figure 3.6-12): une bande de direction NO-SE partant du Fossé rhénan supérieur jusqu'à Sissach via Bâle; le secteur du Dinkelberg ; la région autour du Weissenstein ainsi que les régions autour de Horgen et de Brugg. Quelques tremblements de terre en profondeur se sont produits également dans la zone de Fribourg.

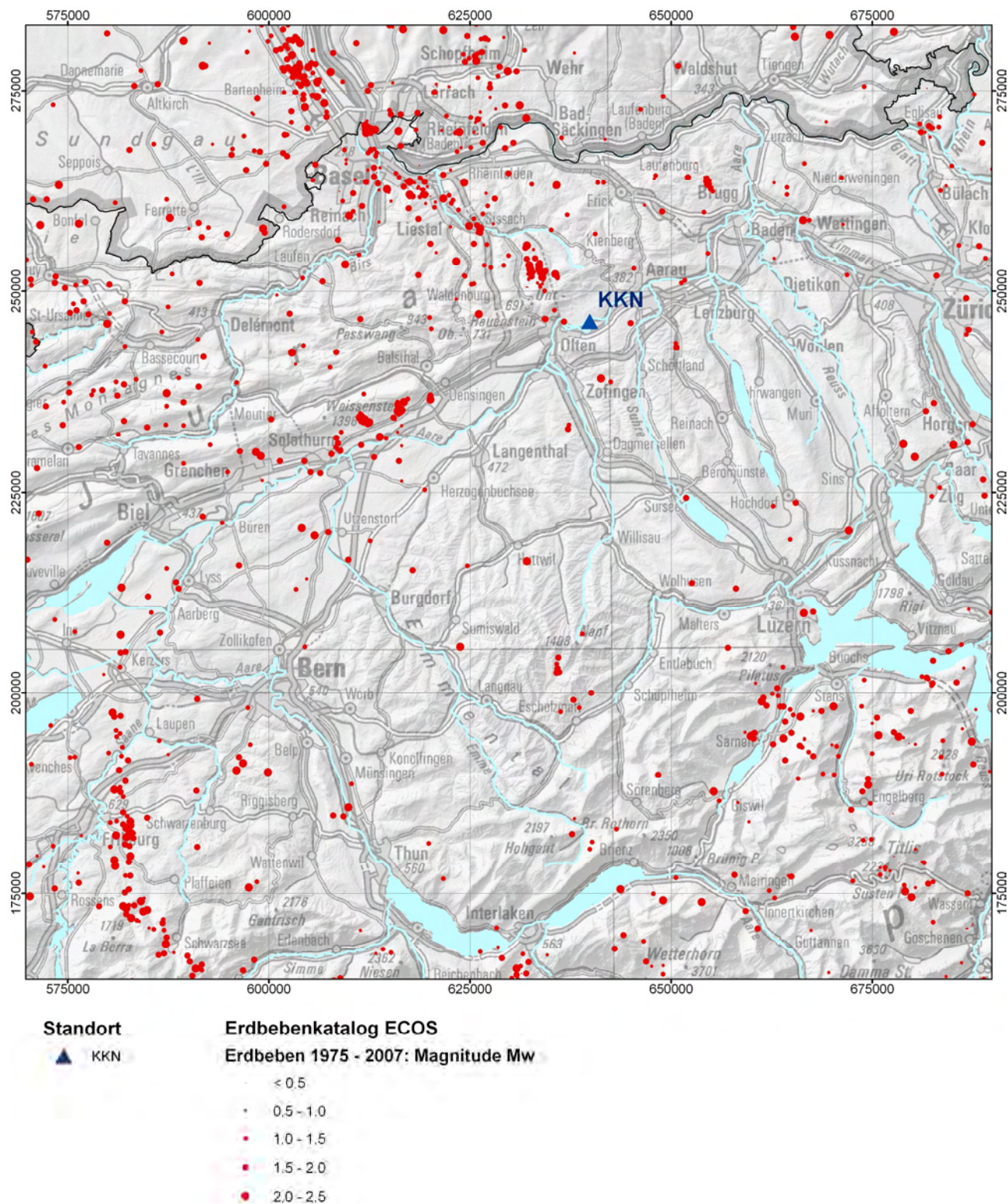


Figure 3.6-9

Catalogue des tremblements de terre ECOS; tremblements de terre enregistrés par instruments de mesure de 1975 à 2007: $M_w < 2.5$

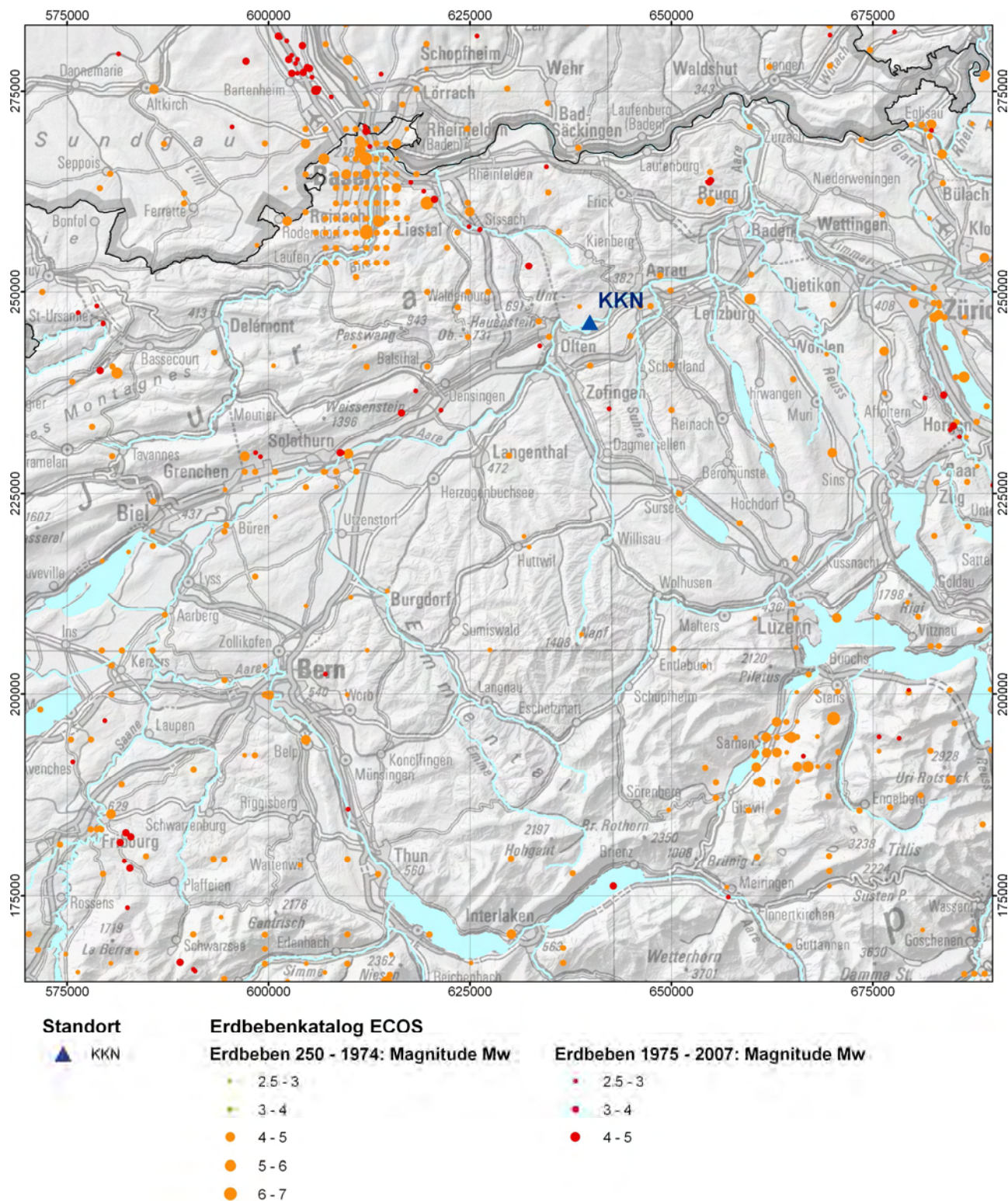


Figure 3.6-10

Catalogue des tremblements de terre ECOS; tremblements de terre enregistrés par instruments de mesure de 1975 à 2007, tremblements de terre historiques de 250 à 1974: Mw > 2.5

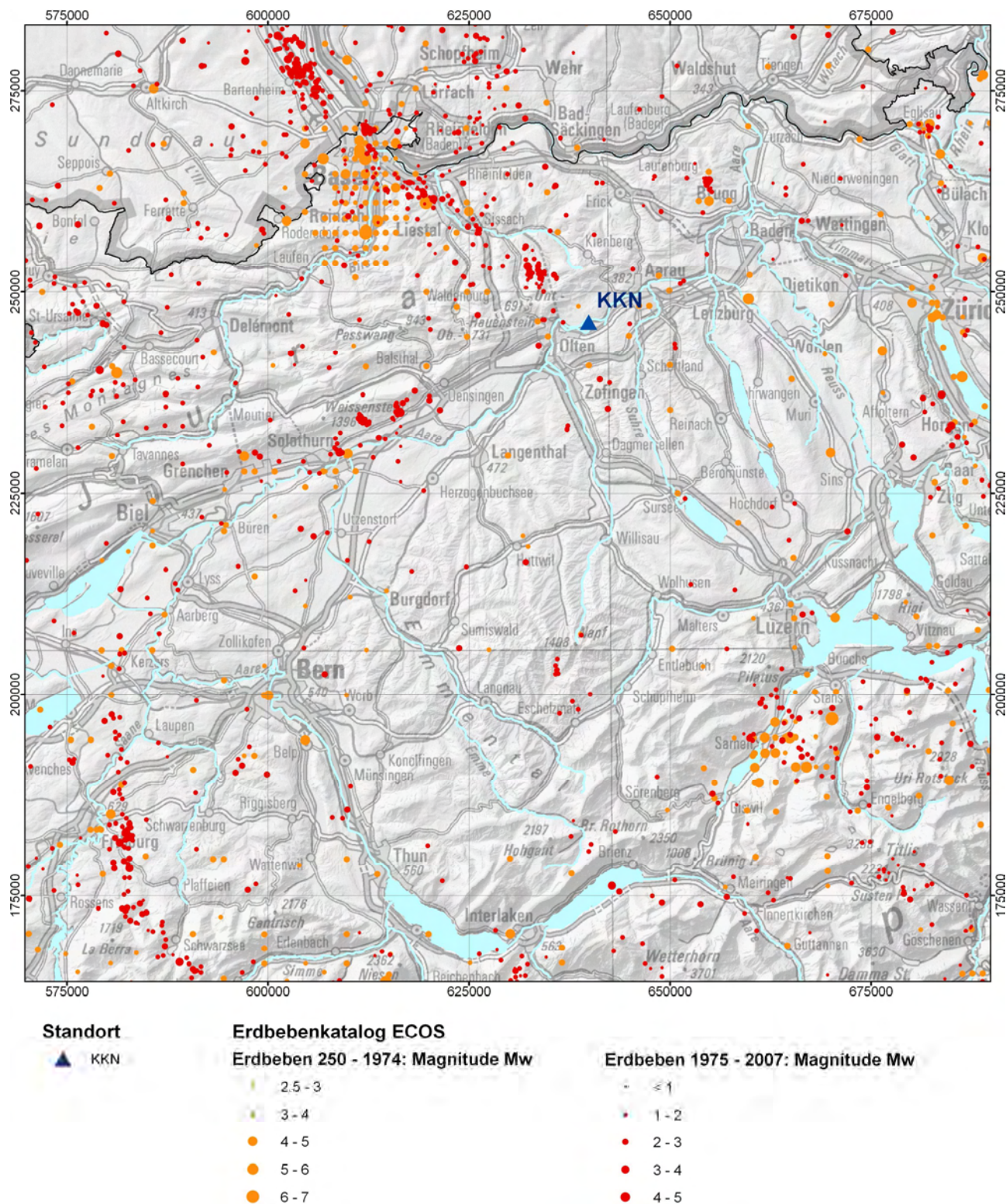


Figure 3.6-11

Catalogue des tremblements de terre ECOS; tremblements de terre enregistrés par instruments de mesure de 1975 à 2007: $M_w < 1.0$ à 5.0, tremblements de terre historiques de 250 à 1974: $M_w > 2.5$

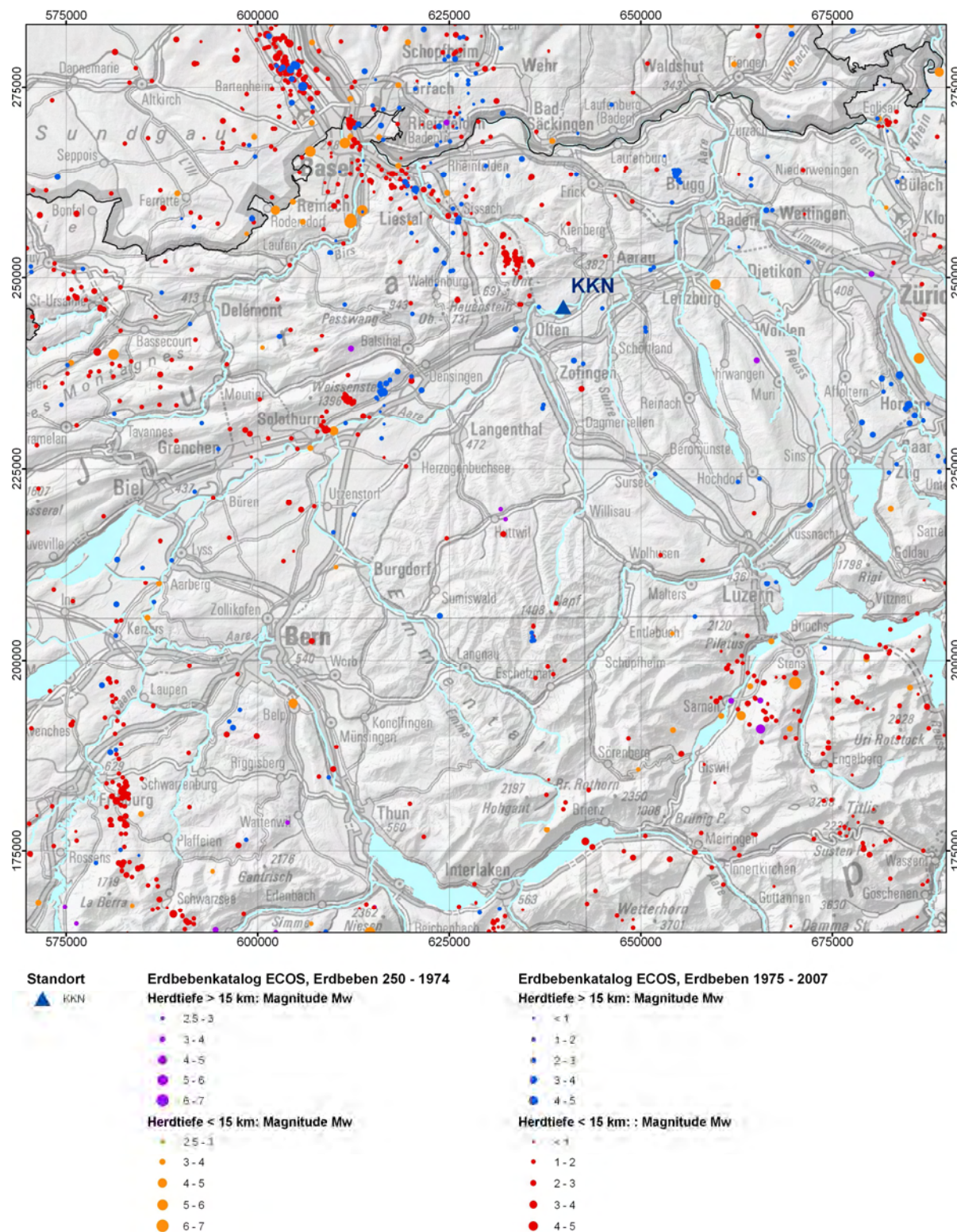


Figure 3.6-12

Catalogue des tremblements de terre ECOS; tremblements de terre historiques de 250 à 1974: Mw > 2.5, profondeur de foyer < 15 km, > 15 km, tremblements de terre enregistrés par instruments de mesure de 1975 à 2007: Mw < 1-5, profondeur de foyer < 15 km, > 15 km

3.6.2.6 Études paléosismiques

Afin d'obtenir des informations sur l'activité sismique préhistorique pendant le quaternaire (pléistocène tardif et holocène), plusieurs projets de recherche ont été effectués en Suisse depuis 1997, pour enregistrer les tremblements de terre préhistoriques (Giardini et al. 2004). Ces études portant le nom de projet PALEOSEIS ont conduit à l'identification de plusieurs forts tremblements de terre au cours des 15'000 dernières années environ dans la région de Bâle et dans la zone centrale du versant nord des Alpes (Becker et al. 2005, Ferry et al. 2005, Monecke et al. 2006, Schnellmann et al. 2006, Strasser et al. 2006).

3.6.3 Evaluations précédentes de l'aléa sismique

3.6.3.1 Carte de l'aléa sismique

La carte de l'aléa sismique de la Suisse (figure 3.6-13) montre que le site de la CNN se trouve dans un secteur présentant un faible aléa sismique. Du point de vue sismotectonique, le Plateau suisse, le Jura plissé et le Jura tabulaire se trouvent à l'intérieur d'une plaque continentale, sur laquelle des tremblements de terre faibles à moyens prédominent. A de très faibles fréquences d'occurrence ($\leq 10^{-4}/a$), telles qu'elles doivent être prises en compte pour démontrer que la protection contre les défaillances dues à des causes naturelles est suffisante (DETEC 2009), même les tremblements de terre de magnitude élevée doivent être inclus.

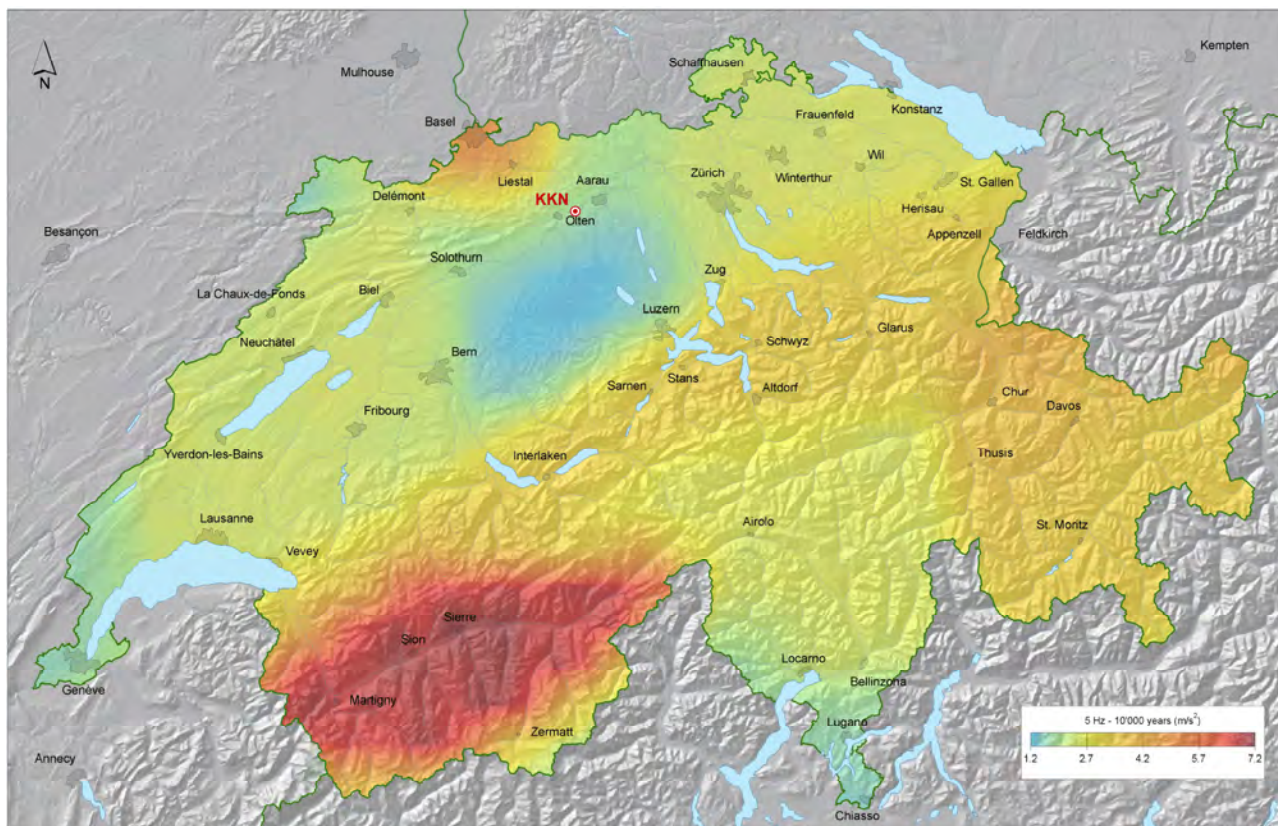


Figure 3.6-13 Carte de l'aléa sismique en Suisse (Service Sismologique Suisse EPF Zurich). Les accélérations du sol déterminées par analyse statistique (en m/s^2) sont représentées pour une probabilité d'occurrence de $10^{-4}/a$ et une fréquence spectrale de 5 Hz. Bleu-vert: faible risque, jaune: risque moyen, rouge: risque accru

3.6.3.2 Projet PEGASOS

Remarque préliminaire

L'ensemble des dimensionnements définitifs de la CNN sera fixé sur la base d'études géologique/géotechniques du terrain à bâtir dans le cadre du projet de construction et des résultats disponibles du projet PEGASOS déjà réalisé et du projet PRP (PEGASOS Refinement Project) actuellement en cours de réalisation, conformément aux directives suisses. Dans les chapitres suivants, les travaux et les résultats du projet PEGASOS et leur appréciation par la DSN sont récapitulés et les activités courantes du projet PRP sont décrites. Une évaluation de l'aléa sismique sur site de la CNN est présentée au chapitre 3.6.4.

Introduction

Dans le cadre de la construction des centrales nucléaires en Suisse, une très grande importance a toujours été accordée à la sécurité parasismique. Lors de l'élaboration de la carte de l'aléa sismique dans les années 1970, aussi bien les tremblements de terre mesurés que les données de tremblements de terre historiques ont été pris en compte. Celles-ci ont été évaluées statistiquement et intégrées dans la carte de l'aléa sismique.

Dans les années 1980, les exigences en matière de détermination de l'aléa sismique ont encore été affinées. Pour l'analyse probabiliste de sécurité, non seulement la série de données sismiques, mais également la tectonique ont été intégrées dans l'analyse.

À l'étranger, en particulier aux USA, des progrès ont été accomplis dans le domaine des analyses probabilistes de l'aléa sismique. Une attention particulière a été accordée à la prise en compte systématique et complète des incertitudes. La notion d'incertitudes utilisée en statistiques se réfère à la dispersion des résultats statistiques qui résulte de l'incertitude inhérente à la base de données et aux modèles de calcul utilisés. Lors du traitement des incertitudes, une distinction a été effectuée entre celles qui sont de source naturelle, et ne sont par conséquent pas éliminables (*incertitudes aléatoires*), et les incertitudes liées au concept de modélisation et peuvent donc être réduites par amélioration des connaissances (*incertitudes épistémiques*). De plus, les méthodes d'analyse probabiliste de l'aléa sismique ont été considérablement perfectionnées, surtout dans le domaine de l'enquête très structurée auprès d'experts.

DSN concluait ainsi en 1999 que l'évaluation probabiliste de l'aléa sismique (en anglais PSHA, Probabilistic Seismic Hazards Assessment) des centrales nucléaires suisses ne correspondait plus en tout point à l'état le plus récent de science et de la technique. La DSN a donc exigé que l'aléa sismique sur les sites des centrales nucléaires en Suisse soit dorénavant déterminé selon les méthodes les plus récentes, les PSHA Guidelines selon SSHAC (Senior Seismic Hazard Analysis Committee) Level 4. Une évaluation complète de toutes les incertitudes devrait également être effectuée.

C'est ainsi que les exploitants des centrales nucléaires ont mandaté le projet PEGASOS (analyse probabiliste de l'aléa sismique pour les sites de centrales nucléaires en Suisse). Le projet a commencé en 2001 et a pris fin avec le rapport final en 2004 (Nagra 2004). Le projet PEGASOS est une étude unique en son genre en Europe. Dans ce projet, les incertitudes ont été documentées de manière systématique; les méthodes et résultats les plus récents dans le domaine de la recherche sismique ont été intégrés. Au total, 21 experts reconnus au niveau international et provenant de 7 pays européens ainsi que des experts et sous-traitants d'Europe et des Etats-Unis y ont participé. Le projet a été réalisé selon le modèle du SSHAC Level 4, la direction du projet était assurée par la Nagra. Treize "Ateliers" et 17 "Elicitation Meetings" ont été organisés. La DSN a assuré une fonction de suivi et d'accompagnement du projet PEGASOS.

Suivant la démarche logique lors de l'analyse probabiliste de l'aléa sismique, le projet PEGASOS a été subdivisé en quatre sous-projets: caractérisation des sources sismiques, détermination de la propagation des ondes sismiques (modèles d'atténuation) et des influences du site ainsi que le calcul de l'aléa sismique.

Sous-projet 1: Caractérisation des sources sismiques

Dans ce projet, quatre groupes d'experts (EG1a - EG1d) ont développé des modèles pour les sources sismiques à prendre en compte dans l'analyse de l'aléa sismique ; il s'agit des modèles dits de sources. Pour ce faire, ils ont utilisé les données du catalogue des tremblements de terre du Service Sismologique Suisse, qui contient tous les tremblements de terre historiques connus et les tremblements de terre enregistrés au moyen d'instruments de mesure ainsi que d'autres bases de données sismotectoniques et géophysiques. Comme sources sismiques ont été identifiées presque uniquement des sources surfaciques, c.-à-d. des zones à caractéristiques sismiques homogènes et/ou à distribution diffuse des épicentres. En plus des sources surfaciques, le groupe d'experts EG1a a également modélisé deux zones linéaires discrètes d'accidents, "la ligne de failles de Fribourg" et celle de "Reinach" (voir aussi la figure 3.6-14), qui ne constituent toutefois qu'une variante avec une faible pondération par rapport à la variante avec des sources surfaciques. La distribution des zones sismiques représentée sur la figure 3.6-14 est l'une des 21 représentations alternatives de ce groupe d'experts. Les modèles de sources forment un arbre logique lorsqu'ils sont reliés sous forme de ramifications pondérées. Avec les relations magnitude--fréquence et les magnitudes maximales de chaque source, ces modèles fournissent les données d'entrée pour les calculs de l'aléa sismique. Les variantes de modèles d'arbre logique et les distributions de probabilité assignées aux paramètres de source représentent les incertitudes épistémiques de la caractérisation des sources.



Figure 3.6-14 Exemple de zonage sismotectonique en sources sismiques surfaciques et en deux zones d'accidents linéaires par le groupe d'experts EG1a. Les sources sismiques sont représentées sur la carte géologique

Sous-projet 2: Détermination des modèles d'atténuation

Dans le sous-projet 2, l'atténuation des mouvements sismiques en fonction de la magnitude, de la fréquence et de l'éloignement du site considéré au foyer sismique a été étudiée. Pour le développement de leurs modèles, les experts de PEGASOS SP2 ont pris en compte différents modèles d'atténuation éprouvés, publiés et empiriques d'origine multiples dans le monde. , A l'aide d'un arbre logique ils ont évalué (avec des pondérations) leurs avantages et inconvénients en fonction de l'éloignement, de la magnitude et de la fréquence. Ils ont développés différents mécanismes de mise à l'échelle, pour rendre les modèles partiels applicables en Suisse. Le grand problème auquel les experts ont été confrontés est le manque de données sur les tremblements de terre à grande magnitude pour la Suisse ($M_w > 5$). Aussi, la question cruciale à laquelle les experts ont été confrontés, est de savoir si la préférence doit être donnée aux modèles plutôt locaux, mais à peine étayés dans le domaine de magnitude supérieur, ou à des relations globales, bien fondées mais d'une transférabilité douteuse. Cette question n'a pas pu recevoir de réponse définitive, et ceci constitue la plus grande source d'incertitude épistémique des résultats relatifs aux risques pour le sous-projet 2. Les modèles d'atténuation se rapportent à des conditions de référence caractéristiques de roches plus profondes.

Sous-projet 3: Détermination des effets de site

L'influence du sol, sous les fondations, sur la propagation locale du mouvement sismique a été étudiée dans ce sous-projet de manière spécifique pour chaque site. Le tracé du mouvement du sol provoqué par le séisme à travers les différentes couches du sol sous la centrale nucléaire (du rocher de référence à la surface du terrain ou à la fondation des bâtiments) été étudié. Dans le projet PEGASOS, le rocher a été défini comme la succession rocheuse qui présente une vitesse des ondes de cisaillement supérieure à 2'000 m/s, alors que les successions roches et alluvions proches de la surface et appelées "soil" ont une vitesse des ondes de cisaillement inférieure à 2'000 m/s. L'amplification du signal sismique en fonction de la fréquence dépend surtout des caractéristiques des matériaux du sous-sol et des vitesses des ondes de cisaillement dans ce domaine dit "soil". Il n'y a pas eu d'acquisition de nouvelles données dans le cadre du projet PEGASOS ; celui-ci s'est basé, à quelques exceptions près, sur les valeurs caractéristiques des matériaux et les paramètres géophysiques déterminés dans les phases de planification et de construction de la centrale nucléaire existante. Alors que les experts PEGASOS avaient pu s'accorder sur un seul profil de vitesse des ondes de cisaillement, en raison de la situation déjà favorable des données, les caractéristiques des matériaux du sous-sol ont été l'objet d'une appréciation moins favorable. Celles-ci sont maintenant déterminées dans le cadre du projet PRP au moyen de différentes études de terrain et en laboratoire et serviront de base pour les calculs de modélisations linéaires équivalentes 1D et non linéaires 1D de l'amplification du signal spécifique au site. Deux séries de caractéristiques de matériaux non linéaires et génériques ont été définis comme composantes pondérées de l'arbre logique, avec lesquelles chaque expert détermine l'effet de site et donne son appréciation des incertitudes épistémiques.

Sous-projet 4: Calcul de l'aléa sismique

Les modèles éprouvés, développés dans les trois premiers sous-projets sur les différents aspects de l'analyse probabiliste de l'aléa sismique ont été réunis en un modèle global dans le cadre du sous projet 4. Le modèle global a été évalué numériquement et les résultats obtenus, y compris les incertitudes correspondantes, ont été représentés sous forme graphique.

Courbes d'aléa sismique

Les courbes d'aléa sismique représentent les valeurs de l'accélération au sol en fonction de la probabilité annuelle de dépassement correspondante. Dans le cadre du projet PEGASOS, l'oscillation du sol est définie en fonction de la fréquence d'oscillation avec l'accélération dite spectrale. La plage de fréquence de 0.5 Hertz à 100 Hertz ("peak ground acceleration", PGA) est considérée.

Les courbes d'aléa sismique ont été calculées pour les quatre profondeurs suivantes dans le sol: niveau du rocher de référence, niveau de fondation du bâtiment du réacteur, niveau de fondation des bâtiments auxiliaires importants et surface du terrain. Les courbes d'aléa sismique ont été déterminées de manière distincte pour la composante d'accélération horizontale et celle verticale. Tous les résultats sont contenus dans le volume 2 du rapport final PEGASOS (Nagra 2004).

La probabilité de dépassement de la composante horizontale de l'accélération du sol PGA à la surface du terrain pour le site de la CNG est représentée sur la figure 3.6-15. A titre d'illustration, on note par exemple que pour le PGA à Gösgen, une accélération horizontale à la surface de 0.33 g est dépassée avec une probabilité d'occurrence de 10^{-4} par an. Cette accélération est la valeur médiane d'une distribution, qui décrit l'incertitude associée à ce résultat. La distribution des incertitudes (dispersion des résultats d'une évaluation statistique) est représentée par courbes des valeurs médianes et des fractiles de 5 %, 16 %, 84 % et 95 %.

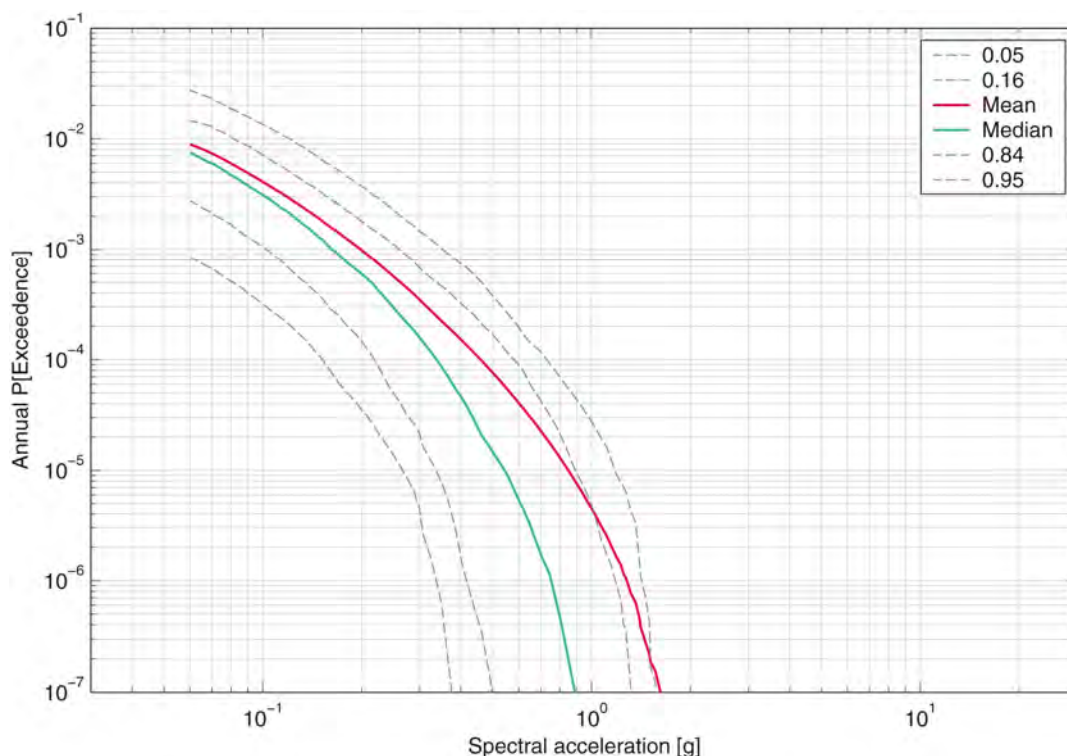


Figure 3.6-15 Courbe de l'aléa sismique pour le site de la CNG. Composante horizontale de l'accélération spectrale du sol à la surface du terrain. Représentation de la distribution des incertitudes les courbes de la valeur moyenne, de la médiane et des fractiles 5%, 16%, 84% et 95%

Spectre de l'aléa sismique

Les spectres d'aléa uniforme resp. les spectres à aléa cohérent ("uniform hazard spectra" UHS) constituent une représentation résumée de l'information contenue dans les courbes d'aléa sismique pour une probabilité de dépassement donnée. L'accélération du sol est figurée en fonction de la fréquence d'oscillation et pour une probabilité de dépassement de l'accélération du sol définie. La figure 3.6-16 présente le spectre d'aléa uniforme (UHS) de la composante horizontale de l'accélération à la surface pour le site de la CNG. L'oscillation du sol est la plus forte entre 2 et 20 Hertz.

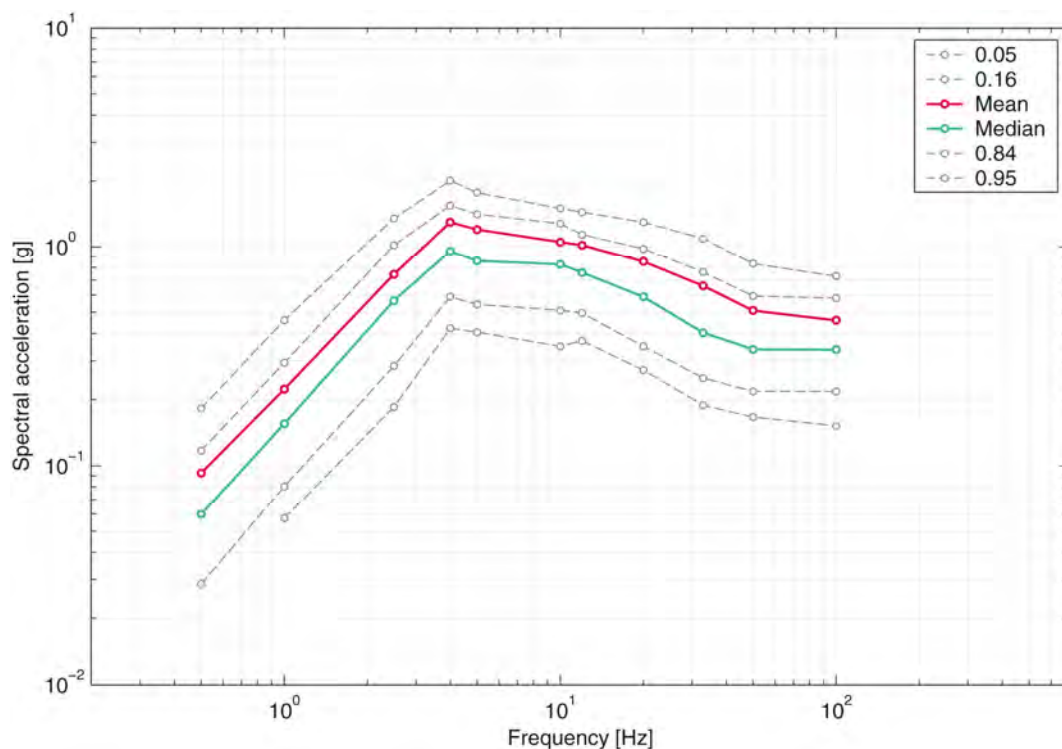


Figure 3.6-16 Spectre d'aléa uniforme pour le site de la CNG. Composante horizontale de l'accélération spectrale du sol à la surface du terrain en fonction de la fréquence pour une probabilité de dépassement de $10^{-4}/a$ et une atténuation de 5 %

Désagrégation (de-aggregation) de l'aléa sismique

Lors de l'évaluation probabiliste de l'aléa sismique (PSHA), tous les tremblements de terre probables sur la plage sismologique complète d'importance dans le domaine de l'ingénierie ($M_w > 5.0$) sont considérés sur un rayon de 300 km. Selon la fréquence et l'accélération du sol considérées, ces événements apportent des contributions différentes à l'aléa sismique d'un site donné. Dans le cadre de l'évaluation et de l'interprétation de l'aléa sismique du projet PEGASOS, les résultats ont été soumis à désagrégation, c.-à-d. que l'aléa a été décomposé en valeurs partielles. La magnitude du tremblement de terre, la distance du site au foyer ainsi que ϵ - l'écart-type dans la distribution de l'oscillation du sol définie pour chaque scénario magnitude-distance - ont été pris comme paramètres. Le processus de désagrégation permet de déterminer, pour une fréquence et une accélération du sol données, quels événements ou processus spécifiques des combinaisons de modèles examinées contribuent de façon significative à l'aléa spécifique au site. La figure 3.6-17 présente un exemple de désagrégation pour le site de la CNG. De manière générale, les tremblements de terre dans une zone proche du site et de magnitudes relativement faibles entre 5 et 6 sont plus déterminants pour l'aléa que les ceux qui sont forts, plus éloignés, rares et de magnitude supérieure à 7. Cette observation pour le site de la CNG est cohérente avec la constatation de Giardini et al. (2004) pour la Suisse du nord entre Bâle et Zurich.

Il s'agit là d'une observation d'autant plus significative du point de vue de l'ingénierie technique que les dommages causés par un tremblement de terre dépendent non seulement de l'accélération maximale du sol (PGA) et de la forme du spectre d'aléa, mais aussi de la durée des oscillations de sol - générées par un fort tremblement - sur le site d'un bâtiment. En raison de leur faible contenu énergétique (une différence de 1 dans la magnitude correspond à un facteur de 30 dans l'énergie libérée par le séisme), les tremblements de terre comparativement faibles entraînent en général des oscillations du sol de courte durée et ont, dans l'hypothèse d'une accélération du sol et d'une forme spectrale égales, un effet moins dommageable qu'un tremblement de terre comparativement fort. A des fréquences et des accélérations plus faibles, les contributions des sources éloignées augmentent.

La contradiction apparente entre les magnitudes prédominantes sur l'aléa et la conclusion résultant de l'analyse du catalogue des accidents tectoniques selon laquelle peu d'accidents sont en mesure de déclencher un tremblement de terre d'une amplitude $M > 5$ (voir au chapitre ...) peut être expliquée facilement. Les tremblements de terre qui prépondérants sur l'aléa de mouvement sismique se produisent - de façon similaire aux microséismes enregistrés aujourd'hui - à des profondeurs comparativement importantes (> 2 km), au niveau des accidents tectoniques qui ne sont explorables par aucune technique d'investigation géologique ou géophysique et ne sont par conséquent pas consignés dans un catalogue des accidents. Toutefois, les études géologiques et sismologiques effectuées dans le cadre du projet PRP (chapitre ...) indiquent que les accidents tectoniques de surface ou du socle proches du site, pris en compte dans le projet PEGASOS, ne sont pas actifs actuellement et présentent une très faible probabilité d'activation en raison de leur orientation.

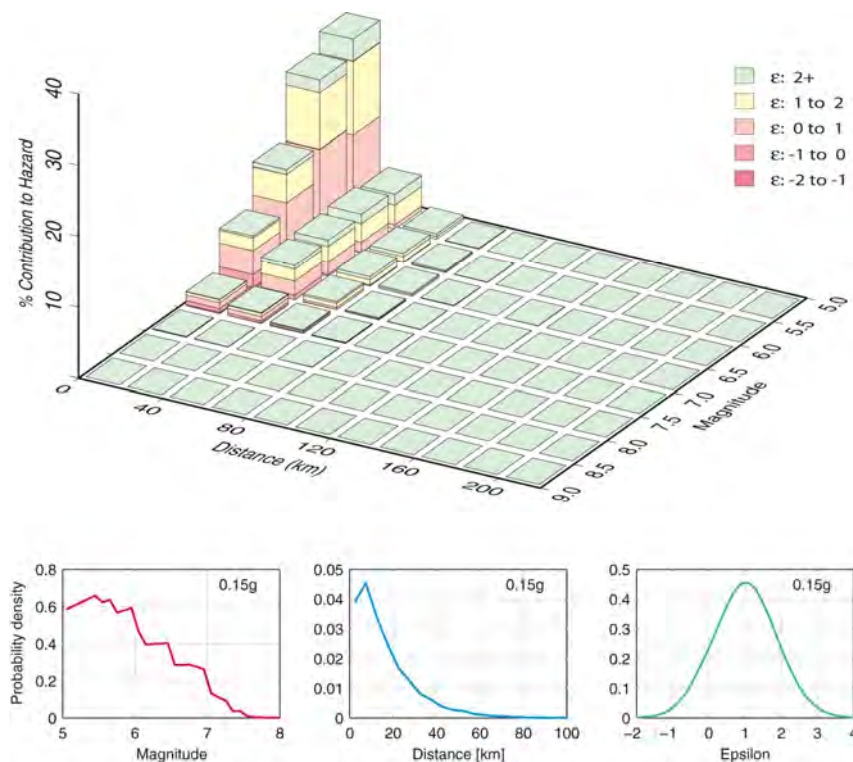


Figure 3.6-17 Désagrégation de l'aléa sismique moyen pour l'horizon rocheux sur le site de la CNN, pour une accélération horizontale de 0.15 g et une fréquence de 100 Hz (PGA)

3.6.3.3 Evaluation de l'étude PEGASOS par la DSN.

La DSN a été, dès le démarrage de l'étude, l'organisme de surveillance et de contrôle ("Participatory Review") du projet PEGASOS. L'équipe de la DSN "Review" agissait en observatrice lors des séminaires et des réunions des experts et formulait des avis et recommandations.

Selon l'avis de la DSN, le projet PEGASOS a rempli les exigences quant à la méthode, c'est-à-dire la réalisation d'une étude SSHAC Level 4 (DSN 2007). Une nouvelle référence internationale a été établie surtout en ce qui concerne la prise en compte des effets de site et par la mise en œuvre d'un système d'assurance qualité innovant.

Les résultats du projet PEGASOS ont été obtenus sur la base de des connaissances internationales les plus récentes. Du point de vue de l'autorité de surveillance, ils offrent actuellement la meilleure base possible pour la détermination de l'aléa sismique sur les sites des centrales nucléaires suisses à l'étude.

L'appréciation générale du projet par l'équipe DSN "Review" a donc été positive. Il a toutefois également été constaté que les incertitudes restaient assez importantes et qu'elles pourraient être réduites par des études supplémentaires. Le meilleur potentiel pour une prise en compte plus rapide et pertinente des incertitudes épistémiques a été identifié dans les modèles d'atténuation et d'amplification spécifique au site.

C'est pour cette raison que le projet "PEGASOS Refinement Project" (PRP) a été lancé en 2008. L'objectif du projet PRP est de réduire les incertitudes mises en évidence dans le cadre du projet PEGASOS. D'une part, la base de données des relations empiriques d'atténuation doit être étendue et améliorée, entre autres par la détermination des vitesses des ondes de cisaillement sous les stations d'enregistrement et par la prise en compte de nouvelles données sur les forts tremblements de terre. Ainsi les experts devraient parvenir à développer de nouveaux modèles d'atténuation optimisés pour la Suisse et comportant des incertitudes plus faibles. D'autre part, de nouvelles études étendues effectuées sur le terrain et en laboratoire sur les sites de la CNN devraient fournir une meilleure base de données pour la réitération du calcul de l'effet du site et donc pour la réduction des incertitudes dans ce sous-projet.

Une série d'améliorations supplémentaires devra compléter ces deux aspects principaux. Le catalogue des tremblements de terre doit donc être encore amélioré, les différents sous-projets devront collaborer encore plus étroitement avec d'autres sous-projets au niveau des interfaces et des études supplémentaires, conçues comme investigations de support - comme les "Extended Source Simulations" (voir chapitre 3.6.4.4) - doivent augmenter la fiabilité des modèles d'experts.

3.6.4 Evaluation de l'aléa sismique sur le site de la CNN

3.6.4.1 Commentaires sur les projets PEGASOS et PRP (PEGASOS Refinement Project)

Le projet PEGASOS a étudié et évalué tous les scénarios d'activité sismique et sismotectonique possibles qui sont pertinents pour la détermination du risque de secousses induites par des séismes sur les sites des centrales nucléaires. Le projet PRP en cours doit permettre de diminuer les incertitudes concernant les atténuations et les effets de site.

Avec leur base de données historiques et leurs vastes évaluations englobant les connaissances les plus récentes, PEGASOS et PRP constituent une base qui va bien au-delà des études normalement réalisées à ce jour par les centrales nucléaires. Les résultats de cette étude servent de base pour l'évaluation sismique du site de la CNN.

En outre il ressort des récentes études sur le site (Interoil 2009) que les deux sites de la CNG et de la KKN présentent pratiquement la même structure géologique, aussi bien en ce qui concerne la profondeur des limites géologiques les plus importantes que pour la lithologie, et donc pour les vitesses des ondes de cisaillement dans le sous-sol. De même, les valeurs caractéristiques géotechniques déterminées sur les deux sites ne sont pas significativement différentes. Cela signifie que les caractéristiques statiques et dynamiques des sites de la CNN et de la CNG sont pratiquement identiques. Les nouveaux calculs du PRP se baseront probablement sur de nouvelles données d'entrée élaborées par les experts du PRP.

On peut supposer que les résultats du projet PRP seront disponibles avant la préparation de la demande du permis de construire. Les résultats de PEGASOS pourront alors, comme base de travail, être transposés sur le nouveau site.

3.6.4.2 Potentiel de risque de la zone de Fribourg

La **structure de Fribourg** est un synclinal qui s'étend de la molasse subalpine au sud de Fribourg à la partie orientale du Lac de Morat. Elle est caractérisée, surtout sur sa limite orientale, par une série d'accidents subverticaux de faible extension. Ces décrochements, qui affectent également partiellement la molasse sont limitées à la couverture. La sismique réflexion n'indique pas si ces décrochements affectent également les formations sous-jacentes.

La notion de **Zone de Fribourg** vient des études sur la localisation de séismes, dont les épicentres sont alignés, comme sur un collier de perle, sur une ligne droite de direction Nord-Sud (voir p. ex. la figure 3.6-12).

La publication de Kastrup et al. (2007) a soulevé la question de savoir dans quelle mesure la zone de failles de Fribourg peut influencer l'aléa sismique sur le site de la CNN. Pour l'évaluer, la situation sismotectonique de la zone de Fribourg a été analysée et une estimation de l'accélération maximale du sol au niveau du site de la CNN potentiellement induite par le séisme le plus fort possible dans la zone de Fribourg a ensuite été effectuée (AF-Colenco 2009f).

Le spectre d'aléa sismique calculé dans AF-Colenco (2009f) au moyen d'un modèle d'atténuation largement reconnu (Ambraseys et al. 2005) montre qu'un scénario de séisme lié à l'accident de Fribourg, d'une longueur hypothétique de 20 à 30 km, ne provoque qu'une faible accélération du sol sur le site. L'accélération maximale du sol pour le scénario le plus pénalisant (médiane $+1\sigma$) à 50 Hertz est inférieure à 0.04 g. Ceci est dû à la distance importante entre la zone de Fribourg et le site.

3.6.4.3 Risque dû au "Surface Faulting"

Par le phénomène de "Surface Faulting", on entend des modifications permanentes (déformations) à la surface résultant des mouvements différentiels, le long des failles, induits par des séismes (p. ex. IAEA 2002, IAEA 2003). Du point de vue du risque, ceci suppose un linéament tectonique discret, qui traverserait directement le plan horizontal de l'installation et, en cas de réactivation, pourrait entraîner un déplacement de la surface avec des dommages correspondants sur les bâtiments. Pour clarifier le risque dû aux déformations en surfaces provoqués par des mouvements tectoniques sous la nouvelle centrale, toutes les structures tectoniques connues dans un rayon de 25 km ont été répertoriées dans le catalogue et étudiées du point de vue de leur activité sismique de leur position relative par rapport au site (chapitre 3.6.2.4), conformément aux directives de l'IAEA (voir AF-Colenco 2009f, suppléments 1 - 4). La magnitude maximale possible, représentant la plus grande activité sismique de la faille, a été attribuée à chaque structure (CNG 2009b). On peut conclure de cette évaluation que, en raison de l'orientation et de la taille de la surface de rupture, aucune des structures du socle ou de surface, ne peut déclencher un séisme d'une magnitude susceptible de constituer un risque de "Surface Faulting" pour le site de la CNN. En d'autres termes, aucune des structures identifiées ne peut provoquer des déplacements de surfaces permanents sur le site.

Dans la zone du site, il n'y a pas de signes connus, ni à la surface ni en sub-surface, pour des mouvements tectoniques postglaciaires. La zone la plus proche connue présentant une activité néotectonique se trouve en limite orientale du Fossé rhénan supérieur et dans ses environs.

3.6.4.4 "Extended Source Simulations" (ESS)

Dans le cadre d'une analyse probabiliste de l'aléa sismique, les tremblements de terre sont pris en compte à travers un grand nombre de combinaisons de magnitudes, de mécanismes de rupture, d'orientations de rupture, de distances et de profondeurs de foyer. La quantification de l'amplitude de vibrations sur le site se base sur un modèle simple de foyer sismique. Pour les tremblements de terre de magnitude moyenne à forte à proximité du site, cette modélisation assez approximative du mécanisme de foyer peut donner l'impression d'être trop simpliste: les conditions précises du processus de rupture (vitesse de rupture, Stress Drop, distribution de glissement resp. distribution des failles, etc.) commencent à jouer un rôle notable. On parle de "finite source effects".

Etant donné que les séismes de magnitude élevée à de faibles distances sont sous-représentés dans les séries de données sismiques utilisées par la plupart des modèles d'atténuation, la validité de ces modèles dans cette plage de distance et de magnitude est jugée d'un œil critique. Comme alternative, on essaie de modéliser de manière analytique le processus de rupture de tels tremblements de terre et de quantifier l'effet qui en résulte sur le site. Le problème est la connaissance encore trop lacunaire concernant les paramètres clés contrôlant le mécanisme au foyer. En conséquence, il est difficile de vérifier les hypothèses des données d'entrée de ces "Extended Source Simulation" (ESS). Par conséquent, en cas de fortes divergences entre les prévisions des ESS et les modèles empiriques classiques, ces derniers sont encore considérés comme la méthode la plus fiable.

Toutefois, des ESS ont été effectués dans le cadre du projet PEGASOS, d'une part pour évaluer les limites des vibrations maximales physiquement encore plausibles du sol, et d'autre part pour vérifier la validité de la prévision par les modèles empiriques à proximité du site. Pour ces deuxièmes calculs, différents séismes de magnitude 6.5 avec différents mécanismes de rupture dans la zone proche (distance de 1 à 25 km, large distribution azimutale) ont été modélisés par méthode analytique (Priolo et al. 2003). Les paramètres dynamiques de rupture et les propriétés de propagation ont été combinés dans un nombre important de variations différentes. Ces simulations numériques ont montré que les résultats dépendent de manière déterminante des différents paramètres d'entrée encore trop peu connus. Par conséquent, l'utilisation directe des résultats bruts des ESS reste encore problématique pour l'instant. Les résultats normalisés (pour lesquels les valeurs d'accélération des ESS à une distance supérieure ont été mises en concordance avec les modèles empiriques bien étayés sur lesquels elles se basent) confirment par contre la forme des courbes empiriques d'atténuation à proximité du site (Roth 2003). Les simulations sont en outre précieuses, pour évaluer l'importance d'effets 'extended source' individuels dans la zone proche.

Le projet PRP envisage d'effectuer d'autres ESS numériques au Service Sismologique Suisse. Cela devrait permettre de tester les modèles d'atténuation à développer à proximité des failles, car - selon les résultats de désagrégation du projet PEGASOS - les séismes de magnitude élevée survenant dans des failles proches du site contribuent le plus à l'aléa sismique.

3.6.4.5 Réseau de séismes de faible magnitude

L'analyse des tremblements de terre fournit des indications sur les zones de failles récemment actives, les mécanismes au foyer et le champ de contraintes récent. La valeur d'une telle analyse dépend toutefois du nombre et de la précision de localisation des séismes répertoriés. Afin de disposer de données suffisantes dans une zone présentant une faible activité sismique, il est nécessaire de considérer les tremblements de terre de faible magnitude. Ceci peut être effectué en augmentant la densité des stations. La Nagra, qui était particulièrement intéressée par les données ci-dessus mentionnées, a donc mis en place un réseau moderne de séismes de faible magnitude avec 9 stations dans la partie centrale du Nord de la Suisse en 1983 (Mayer-Rosa et al. 1984). Grâce à ce réseau et au réseau de stations existant du Service Sismologique Suisse, il a été possible de saisir également les séismes de très faible magnitude ($M < 1.0$) et en même temps d'améliorer considérablement la précision de localisation (Deichmann & Renggli 1984). En 2004, la Nagra a mis en place un autre réseau avec 4 stations dans la région viticole zurichoise (Deichmann & Rinderknecht 2005).

L'activité sismique et les résultats des analyses ont été publiés dans les rapports techniques suivants de la Nagra: (Deichmann & Renggli 1984, Deichmann 1987, Deichmann 1990, Deichmann et al. 2000).

Pour détecter également de faibles activités sismiques, il est prévu de mettre en place un réseau de sismographes de haute précision pour déceler de faibles magnitudes dans un rayon de 10 km autour du site de la CNN. D'après la longue expérience de la Nagra dans la planification et l'exploitation de telles mesures, un tel réseau exigerait trois à cinq stations, pour pouvoir détecter également les très faibles séismes ($M < 1.0$).

La CNN envisage de commencer la réalisation du réseau de sismographes de faibles magnitudes en automne 2009. Les travaux seront coordonnés et conduits par la Nagra. Les résultats des études seront intégrés ultérieurement aux contrôles périodiques de la sécurité pendant l'exploitation de la CNN.

3.6.4.6 Évaluation récapitulative de l'aléa sismique

Il résulte de ce qui précède que l'aléa sismique sur le site - vibrations du sol et mouvements différentiels provoqués par des séismes le long de failles - est bien connu et peu être classé comme très faible. Les structures observées et suspectées à proximité du site à des profondeurs de moins de 3 kilomètres ne possèdent toute qu'une extension limitée et ne peuvent déclencher qu'un séisme de faible magnitude selon Wells & Coppersmith (1994). De plus, aucune des structures n'est orientée de manière à affecter le plan horizontal de la centrale même dans le cas d'une hypothétique ouverture de la faille jusqu'en surface. Les structures significatives comme la zone de Fribourg se trouvent à une grande distance du site et n'ont également qu'un faible potentiel de risque sismique pour le site. Pour les failles de la croûte à des profondeurs inexplorables, les modèles PEGASOS et les résultats qui en résultent restent une référence jusqu'à la validation des résultats du projet PRP.

Le secteur du site se caractérise par une faible activité sismique. Pour détecter et localiser avec précision le plus de séismes de faible magnitude que possible et pour compléter ainsi la caractérisation sismotectonique du secteur du site, il est prévu de mettre en place un réseau de sismographes de faible magnitude dans un rayon de 10 km autour du site.

3.6.5 Considérations géologiques régionales et évaluation

3.6.5.1 Structures dans la zone du site et leur importance du point de vue sismotectonique

Structures observées

La partie centrale du Nord de la Suisse a été étudiée dans les années 80 à l'aide de mesures de sismique réflexion de la Nagra. Les données de sismique réflexion ont été interprétées de diverses manières par des collaborateurs différents. L'une des lignes de mesure, la ligne de pente 83-NF-06 de direction N-S (cf. figure 3.6-4B), passe à environ 200 m à l'est du site et la ligne 83-NS-22 de direction O-E passe à environ 2 km au sud du site (figure 3.6-4A). Il y a plusieurs interprétations de ces lignes (Diebold et al. 1991, Nagra 2005, Nagra 2008), mais les différences sont faibles. Elles indiquent pour le secteur du site une stratification en grande partie monotone jusqu'au fossé permo-carbonifère.

Tectoniquement parlant, le synclinal de l'Aar est une structure relativement simple. La couverture sur le flanc nord du synclinal remonte en concordance avec le socle en direction du flanc méridional de la chaîne du Hauenstein. Ce flanc du synclinal n'est perturbé que par de petites flexures et chevauchements.

Une telle structures peuvent être observés près de Niedergösgen (figure 3.6-4B). Selon Schmassmann (1994) et (Jordan 2007), cette structure représente la ramification la plus occidentale de la flexure de Niedergösgen-Schönenwerd-Eppenberg. Cette structure peut être interprétée comme un pli coffré synorogénique, cisailé à la base des couches d'Effigen. Les calcaires de malm escarpés de Gösgen et de Schönenwerd constituent le flanc méridional (Amsler 1915). La flexure Niedergösgen-Schönenwerd-Eppenberg est une structure limitée, qui va de l'est de Roggehuse à Niedergösgen en passant par Eppenberg et, comme déjà mentionné, est également reconnaissable dans le profil 83-NF-06 (figure 3.6-4B).

Dans le cadre des études sur le site pour le projet PRP (PEGASOS Refinement Project), il a pu être démontré que la faille inverse chevauchante reconnaissable sur le profil 83-NF-06 (figure 3.6-4B) au sud de la flexure d'Eppenberg n'est pas présente dans la zone étudiée.

Sur la carte "Geologische Übersicht der Born-Engelberg-Antiklinale" (Aperçu géologique de l'anticlinal Born-Engelberg) (Bitterli 1979), on voit deux petits plis de direction SO-NE et séparés par des chevauchements, d'extensions limitées (< 2 km). Dans le catalogue des failles (AF-Colenco 2009f, supplément 1), ils sont décrits comme accidents locaux n° 298 et 299.

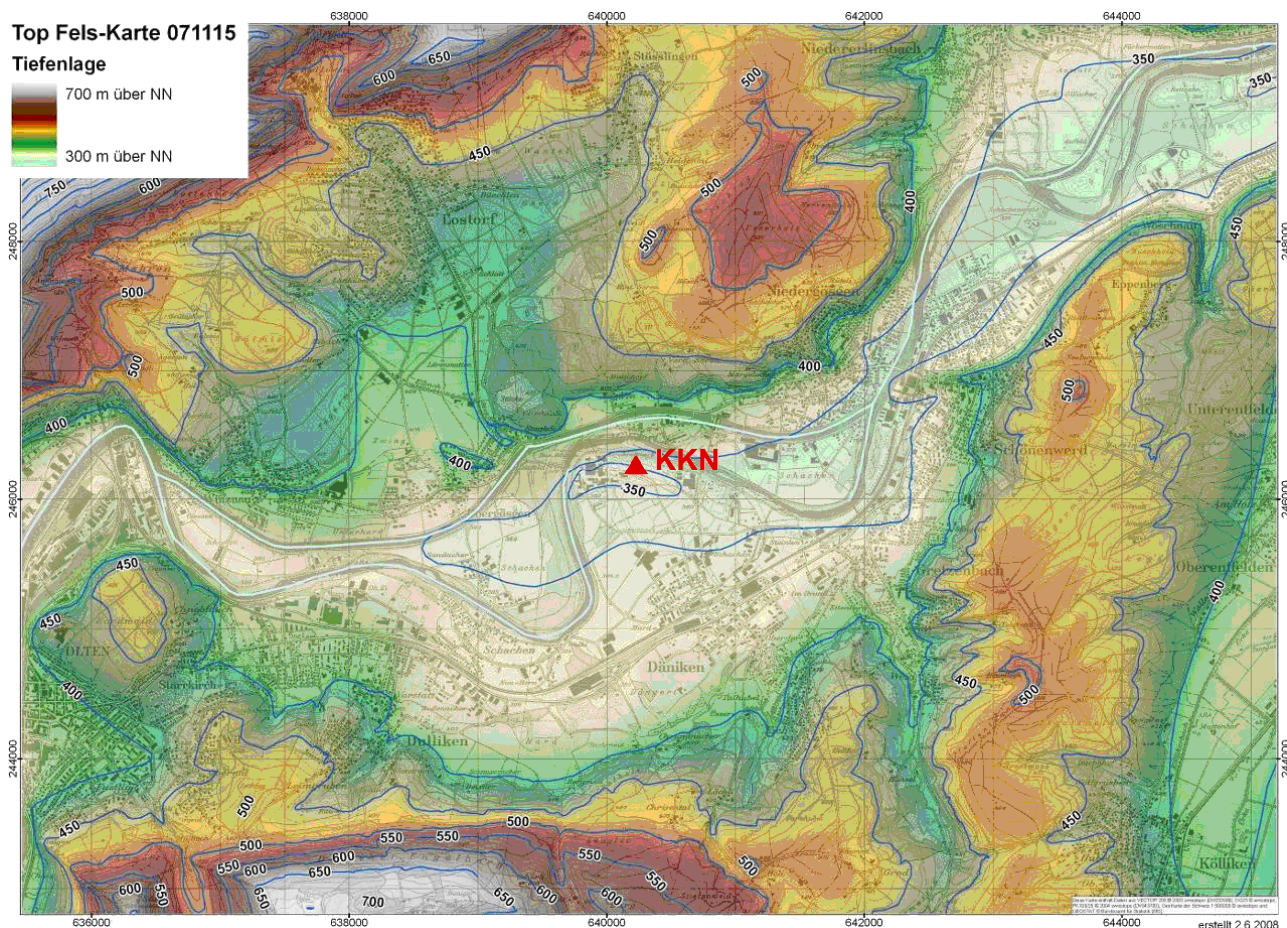


Figure 3.6-18 Carte des isohypses rocheux dans la région du site (Jordan 2007)

La carte des isohypses rocheux resp. le "Modèle numérique d'altitude de niveau quaternaire" a été établie sur la base de toutes les données des forages, des cartes géologiques et des cartographies disponibles (Jordan 2007). La carte sur la 3.6-18 montre que la vallée de l'Aar entre Dulliken et Schönenwerd est large, suggérant un cours d'eau avec un écoulement calme. Les structures mentionnées, la flexure Niedergösgen-Schönenwerd-Eppenberg et les deux petits plis de direction SO-NE, sont aussi reconnaissables sur la carte des isohypses rocheux. La première est très clairement visible près de Schönenwerd, comme une structure en forme de nez orientée vers l'ouest, en direction des calcaires escarpés de malm près de Gösgen. Les deux petits plis séparés par des chevauchements sont également visibles sur la topographie près de Dulliken.

Ligne de Froburg

Selon Laubscher (2008), le Jura tabulaire et le bloc de Dinkelberg, en tant que partie du système du fossé du Rhin supérieur, se sont effondrés à l'Eocène supérieur et l'Oligocène inférieur le long d'un ensemble de failles normales de profondeurs diverses. Il s'agit surtout de fossés étroits qui ont été localement cisailés le long des évaporites triasiques. Ces zones des fossés du Jura tabulaire sont orientées, en général vers le NN, et présentent une cassure de quelques kilomètres majoritairement en bordure, habituellement en limite orientale. Selon Laubscher (2008), ces fossés se poursuivent vers le sud sous le Jura tabulaire, mais ils ont été très marqués par la formation du Jura.

La partie des structures qui se trouve au-dessus du plan de chevauchement a été transportée lors de poussée alpine et charriée en position allochthone.

Selon Laubscher (2008), la trace allochthone de la structure de Froburg peut être ramenée à une position autochtone. Son cours probable irait de Riken (Murgenthal) en direction d'Aarburg vers Wil. Elle prendrait fin au sud de la vallée de l'Aar et aurait une longueur maximale de 10 km.

Pour clarifier la position d'origine de la structure de Froburg, des lignes de sismique réflexion et des cartographies géologiques ont été consultées. Sur la base des données disponibles, on peut retenir ce qui suit (AF-Colenco 2009f):

- Sur la ligne de pente de sismique réflexion 83-NF-02, aucun déplacement du mésozoïque de base n'a été détecté dans la région de Riken (Diebold et al. 1991, Nagra 2008).
- Sur la ligne de pente de sismique réflexion 83-NS-22, Diebold et al. (1991) interprètent deux failles normales orientées vers l'ouest avec un déplacement d'environ 50 m entre Dulliken et Olten.
- Au même endroit, la Nagra (2008) ne détecte pas de déplacement de la base du mésozoïque (figure 3.6-4A).
- Bitterli (1979) a cartographié deux accidents de direction NE et d'une longueur de 2 à 3 km entre Dulliken et Wil.

Les seules structures qui pourraient correspondre à la position autochtone indiquée par Laubscher (2008) pour la structure de Froburg sont les deux failles normales orientées vers l'ouest entre Dulliken et Olten, qui déplacent la base du Mésozoïque. Ces structures ne sont toutefois que le fruit d'une interprétation (Diebold et al. en 1991). Il pourrait s'agir d'une zone de structure plutôt limitée avec une extension de quelques kilomètres qui, selon Wells et Coppersmith (1994) ne pourrait déclencher qu'un séisme de faible magnitude et n'aurait donc qu'une importance sismotectonique mineure. De plus, elle aurait son origine dans le Mésozoïque et ne serait plus active au moins depuis le début du chevauchement du Jura, sinon des déplacements récents seraient reconnaissables sur la couverture charriée.

3.6.5.2 Accidents tectoniques sur le site

Les études du PRP et les investigations de terrain sur les sites des CNG et CNN (1970 - 1974, 2007 - 2009) fournissent une base de données importantes qui s'appuie désormais sur près de 50 forages (figure 3.6-1, voir aussi AF-Colenco 2009f, supplément 5). Parmi ceux-ci, le forage SB2, d'une profondeur de 347 m, a été exécuté par percussion. Les autres forages ont été carottés. Sur la grande quantité de carottes obtenues, pas une seule faille n'a pu être directement démontrée.

Au cours des études réalisées sous la CNG dans les années 70, trois petites fractures (dislocation < 5 m) ont été postulées. Aucune structure n'a cependant été directement observée dans les forages. Les failles ont été supposées pour expliquer des différences verticales d'un horizon marqueur, observées entre des forages voisins dans la partie supérieure de l'Effingen-Member, une couche de marne de couleur rouge. Le caractère spéculatif de ces failles se traduit par la position et la direction différentes des structures selon les interprétations (AF-Colenco 2009h). Aucun des forages n'a révélé la moindre faille sous la CNG. Toutefois, la probabilité de rencontrer une faille de fort pendage avec des forages verticaux est très faible pour des raisons géométriques.

Concernant l'importance des trois failles suspectées sous la CNG au début des années 70, il a été constaté qu'elles étaient "absolument inactives et sans la moindre importance sismique ; les couches les plus récentes qui les recouvrent ne montrent aucune déformation de quelque nature que ce soit" (AF-Colenco 2009h). Effectivement on ne peut démontrer la présence d'accidents tectoniques dans les horizons sus-jacents de calcaires du Malm. La surface des calcaires de Malm (Crenularis-Member) est une vieille surface d'érosion qui était émergée pendant la période du Mésozoïque. Le relief d'érosion montre des inégalités avec des amplitudes allant jusqu'à 10 m, mais celles-ci ne permettent pas de tirer des conclusions en ce qui concerne les mouvements tectoniques. Étant donné que le seuil de détection de la sismique est de 10 m, il faut cependant s'attendre à la présence des petites structures cassantes affectant les horizons Malm supérieur. Dans le secteur étudié des CNG et CNN, où au total environ 50 forages carottés ont été effectués, on peut - sur la base de ces résultats - exclure la présence d'accidents induisant un rejet de plus de 5 m (voir les cartes d'isohypses dans AF-Colenco 2009f, suppléments 6 et 7).

Les forages KB1 à KB6 effectués dans le cadre du projet de la CNN ont tous été carottés et décrits de manière détaillée (Interoil 2009). L'analyse structurale sur carottes n'a identifié que des fissures capillaires et peu de surfaces de glissement. Aucun de ces forages n'a révélé la moindre faille.

Suite à l'exploration sismique (GeoExpert 2008), la présence d'une faille d'ampleur importante avait été présumée sur l'emplacement KB5, raison pour laquelle un forage a été effectué précisément sur cet emplacement. Aucune faille n'a toutefois été détectée, mais une cavité karstique d'une largeur de 18 m environ, qui était entièrement remplie de sédiments effrités éocènes (surtout de l'argile bolaire, probablement de la kaolinite). Ce remplissage épais et compact apparaît en géophysiques de manière similaire à une faille.

Pour clarifier l'extension et le caractère de la cavité karstique, le forage KB5a a été effectué à environ 7 m au nord du forage KB5. En raison des premières évaluations des lignes de sismique réflexion 08 CNG-P5 et 07 GÖSG-4 (figure 3.6-1), la présence d'un petit accident (chevauchement) à une profondeur de 115 à 125 m en-dessous de l'emplacement du forage KB5a avait été présumée, qui devait correspondre à la continuation occidentale du rétro-charriage dans le profil 83-NF-06 de la Nagra (voir figure 3.6-4B). Pour saisir de manière fiable cette éventuelle structure, le forage KB5a a été effectuée jusqu'à la profondeur de 156 m. Les carottes ne montrent pas le moindre signe d'un accident.

Dans AF-Colenco (2009f, annexes 6 et 7), les cartes d'isohypses de la base du quaternaire et du toit de l'Effingen-Member sont présentées. Celles-ci se basent sur toutes les données de forage disponibles, y compris les plus récents de PRP pour la CNG et la CNN (Interoil 2009).

Les cartes d'isohypses montrent qu'il n'y a pas de grand accident dans le secteur des CNG et CNN. Les diagraphies géophysiques des forages n'indiquent pas non plus des structures plus grandes dans le sous-sol du secteur étudié de Gösgen/Niederamt. Les évaluations des données de sismique réflexion (Interoil 2009, Naef 2009) ne montrent pas non plus de signes indiquant la présence de grandes discontinuités. Toutefois, la sismique ne peut étudier que les structures avec un rejet supérieur à 10 m. On ne peut donc pas exclure la présence de rejets plus modestes et locaux entre les forages.

Conclusion: Malgré le grand nombre de forages, aucune indication de failles dans le sous-sol des sites des CNG et CNN n'a été observée (carotte, diagraphie). De manière générale, on a retrouvé la fracturation habituelle des roches, avec karstification partielle, dans les calcaires à déformation cassante du Crenularis-Member et du Geissberg-Member dans la zone du Jura. Les carottes de la série marneuse de l'Effingen-Member ne présentent pas de fracturation.

Le toit du soubassement rocheux (base du Quaternaire, AF-Colenco 2009f, supplément 6) ne présente aucune discontinuité (> 5m), à l'exception d'une surface d'érosion plus accidentée.

3.6.5.3 Description des phénomènes karstiques

Résultats d'ordre général concernant la formation de sidérolithe/de minéral pisiforme

Il y a une grande lacune sédimentaire sous le plateau du Nord de la Suisse du Nord. Cette lacune s'étend du Malm moyen à l'Eocène moyen (environ 140 - 45 millions d'années). Les sédiments crétacés ont été préservés uniquement au sud-ouest de la ligne Bienne - Besançon et dans les Alpes. Il y a des indices de sédimentation d'environ 500 m de Malm supérieur et de Crétacé dans le Nord de la Suisse, mais ces niveaux ont ensuite été érodés en surface avant le dépôt des plus anciens sédiments molassiques. Pendant cette phase d'émergence et d'érosion du Crétacé supérieur et du Mésozoïque, les formations du Malm supérieur ont donc été en grande partie érodées. Pendant cette phase d'émersion et d'érosion, des conditions climatiques chaudes ont régné avec une humidité variable. Les calcaires du Crétacé et du Malm supérieur se sont altérés et ont laissé place à des sols latéritiques dans un paysage karstique avec des fissures, des fractures, des dolines et des cavités. Les produits diagénétiques de la pédogénèse (la kaolinite, les concrétions ferreuses) et les résidus insolubles des carbonates dissouts se sont enrichis sous forme d'argile bolaire, de sable siliceux et de minéral pisiforme.

La formation de minéral pisiforme (sidérolithe) se compose des dépôts suivants:

- Argiles bolaires qui se caractérisent par une teneur élevée en kaolinite et une couleur intense rouge, violette, ocre et même parfois verte.
- Minéral pisiforme qui, sous forme de concrétions à éclats de d'hématite brune (en général la goethite et la limonite), est souvent mélangé avec de l'argile bolaire.
- Sable siliceux ou terre réfractaire (dite Hupperde) qui constituent les sédiments fluviaux généralement dépourvu de calcaire, mais légèrement argilifères.

Conditions sur le site

Les occurrences de minerai pisiforme identifié sur carotte ont été représentés de manière synthétique pour tous les forages réalisés lors de l'étude de la CNG (1970/1972) et du projet PRP (2008 - 2009) dans la carte des isohypses de la base du Quaternaire (AF-Colenco 2009f, supplément 6). Pour une représentation schématique des conditions stratigraphiques sur le site, voir la figure 3.6-21. Des vestiges de la formation de minerai pisiforme déposée à la surface du Malm n'ont été trouvés que dans le forage KB0 et dans les forages 103, 214 et 222 de la CNG. L'épaisseur de minerai pisiforme varie entre 1.6 m pour le forage 103 et plus de 8.3 m pour le forage KB0.

Dans près de la moitié de tous les forages effectués dans le secteur étudié de la CNG/CNN, on trouve des dépôts résiduels de minerai pisiforme dans des fractures, des dolines et des cavités karstiques des calcaires du Malm (figure 3.6-21). Les structures karstiques avec remplissage argileux sont clairement reconnaissables à partir des corrélations des diagaphies géophysiques entre les forages (AF-Colenco 2009f, supplément 8). La formation de minerai pisiforme, surtout les argiles bolaires (kaolinite), est compacte et dense dans ces formes karstiques. Aucune cavité ouverte n'a été trouvée.

3.6.5.4 Évaluation des conditions locales sur le site

Le site se trouve dans un secteur calme du point de vue sismotectonique. Les structures observées et présumées dans la région du Niederamt ont été analysées du point de vue de leur importance sismotectonique. En ce qui concerne les structures observées - la flexure Niedergösgen-Schönenwerd-Eppenberg et les deux petits plis séparés par des chevauchements de direction SO-NE dans la région de Dulliken, il s'agit d'accidents locaux avec une extension limitée. Les seules structures qui pourraient correspondre à la position autochtone indiquée par Laubscher (2008) pour la structure de Frobürg sont les deux failles interprétées par Diebold et al. (1991) comme des failles normales orientées vers l'ouest entre Dulliken et Olten.

Il devrait s'agir d'une zone plutôt limitée avec une extension de peu de kilomètres. De plus, il faut s'attendre à de petites discontinuités raides dans les bancs à structure cassante du Malm supérieur dans le Niederamt. La taille des décrochements non décelables est < 5 m. La carte des isohypses de la base du Quaternaire (AF-Colenco 2009f, supplément 6) ne montre pas de structure avec un rejet > 5 m.

En résumé, on peut retenir que toutes les structures observées et présumées dans le secteur du site présentent une extension limitée et, selon Wells & Coppersmith (1994), ne peuvent déclencher qu'un séisme de faible magnitude. Elles n'ont donc qu'une faible importance sismotectonique.

Lors de plusieurs forages sur le site, des dépôts de minerai pisiforme ont été découverts dans des fissures, des fractures et des cavités karstiques. Ces structures karstiques étaient systématiquement remplies de sédiments compacts. Aucune cavité ouverte n'a été trouvée.

3.6.6 Conditions du terrain sur le site

3.6.6.1 Généralités

L'aire du projet de la CNN englobe l'aire principale sur la rive droite de l'Ancienne Aar, l'aire partielle Sud attenante vers le sud et l'aire partielle Nord sur la rive gauche de l'Aar (figure 3.6-19).

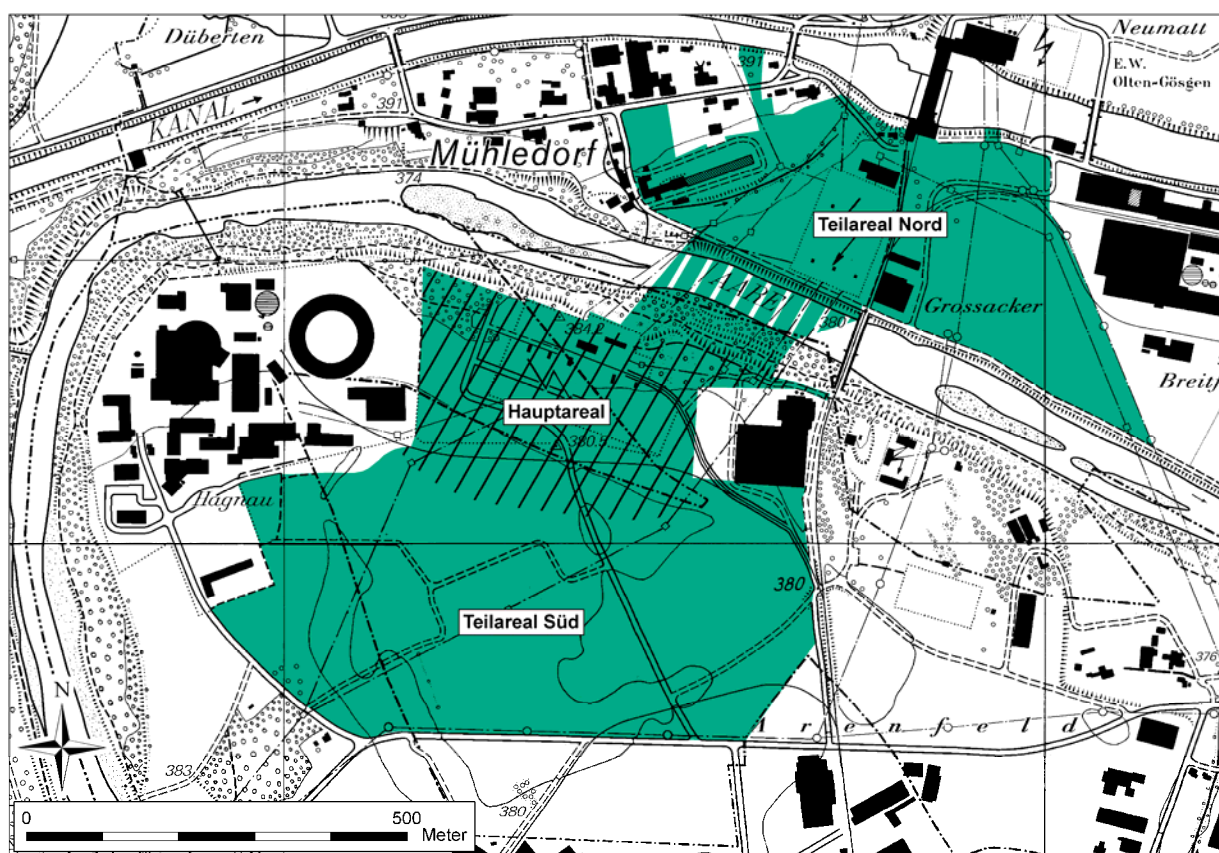


Figure 3.6-19 Aire du projet de la CNN

Le bâtiment du réacteur ainsi que toutes les installations nucléaires sont disposés sur l'aire principale, dans le prolongement de l'aire de la centrale existante CNG (figure 3.6-1, figure 3.6-19). L'aire principale et l'aire partielle Sud se trouvent donc - géographiquement et géologiquement parlant - sur la même formation dite d'alluvions de "basse-terrasse" (Niederterrassenschotter) et sur le même substratum rocheux que la centrale nucléaire existante de Gösigen. Les alluvions de basse-terrasse qui recouvrent les grandes vallées fluviales du Plateau central suisse, sont généralement considérées comme solides et propices pour la construction. Les caractéristiques de fondations rencontrées lors de la construction de la CNG ont été bien documentées. De manière générale elles peuvent être transférées aux conditions attendues sous l'aire principale limitrophe et l'aire partielle Sud de la CNN.

En raison de l'hétérogénéité à petite échelle des alluvions déposées en période de fonte, des forages de confirmation sur l'emplacement des bâtiments de la CNN les plus significatifs pour la sécurité seront toutefois nécessaires dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire (chapitre 3.6.7.2). Les études effectuées dans le cadre de PRP (2008-2009) ont déjà fournis des premiers résultats, qui confirment les conditions attendues sous l'aire principale de la CNN (Interoil 2009).

L'intégration spatiale des résultats des forages et des données sismiques a permis de créer un modèle géologique tridimensionnel du site (Interoil 2009). Une vue en perspective du modèle stratigraphique est montrée sur la figure 3.6-20. Le modèle permet de générer des coupes géologiques verticales et horizontales d'orientation quelconque. Dans AF-Colenco (2009f), 4 profils ont été sélectionnés pour présenter le site de la CNN. En général, le gravier sableux des alluvions de basse-terrasse est le niveau de fondation pour tous les projets de construction, il est considéré comme approprié du point de vue géotechnique. Le substratum rocheux sous l'aire principale est à une profondeur de 24 à 28 m. Vers le Sud et l'Est, sa profondeur augmente à plus de 30 m, vers le nord (aire partielle Nord), elle diminue rapidement (figure 3.6-20).

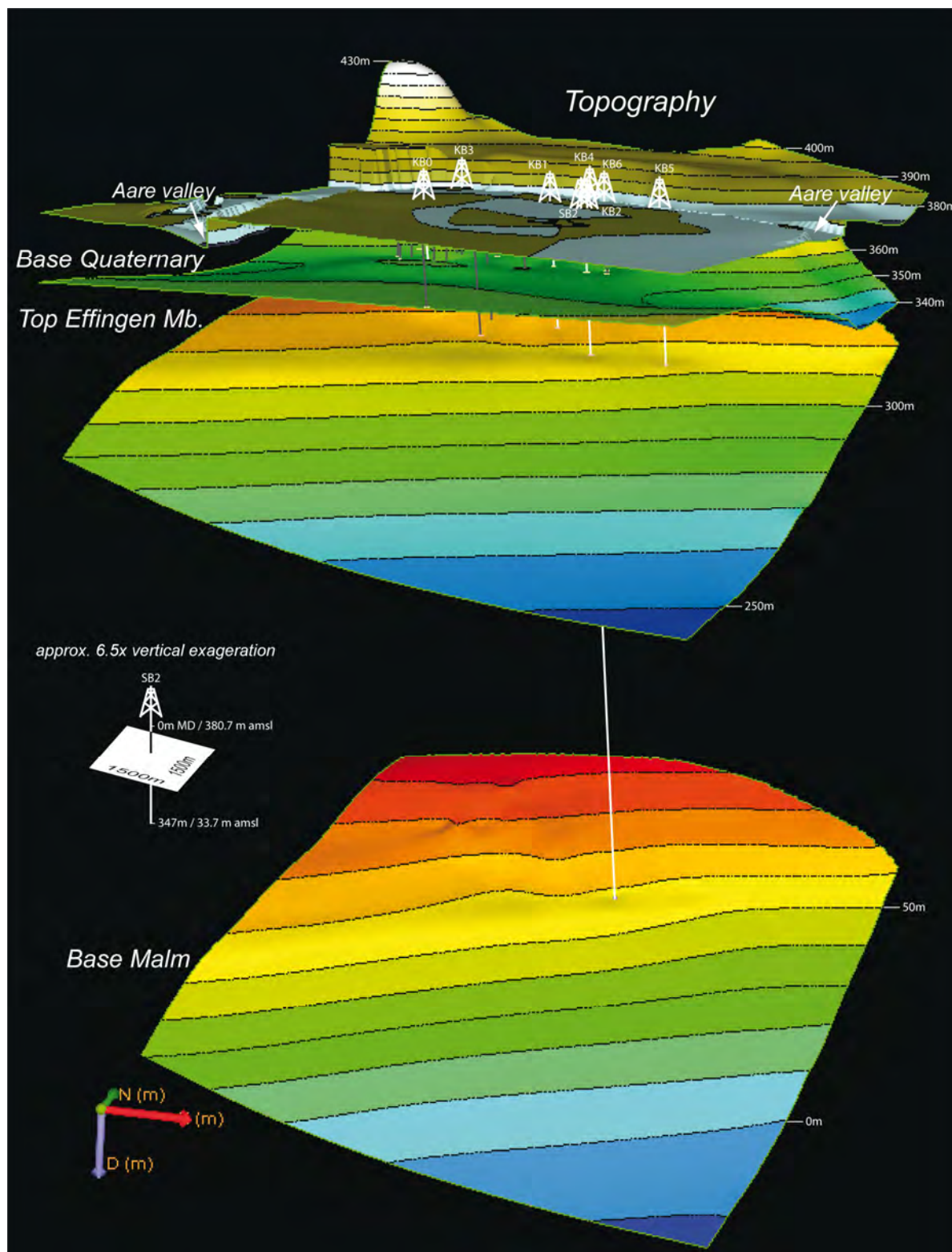


Figure 3.6-20 Vue en perspective du modèle stratigraphique en 3D sur le site (Interoil 2009)
Vue du sud-est vers le bord septentrional de la vallée

Le substratum rocheux se compose de calcaires du Malm, recouverts vers le sud et le sud-est par la molasse d'eau douce inférieure. Comme expliqué au chapitre 3.6.5.3 le toit du Malm (Mésozoïque) est karstifié et recouvert localement de dépôts éocènes (Tertiaire). Ces résidus d'altération de la formation du minerai dit pisiforme remplissent les fissures et cavités karstiques. Le profil géologique sous le site est illustré de manière schématique sur la figure 3.6-21 (AF-Colenco 2009h).

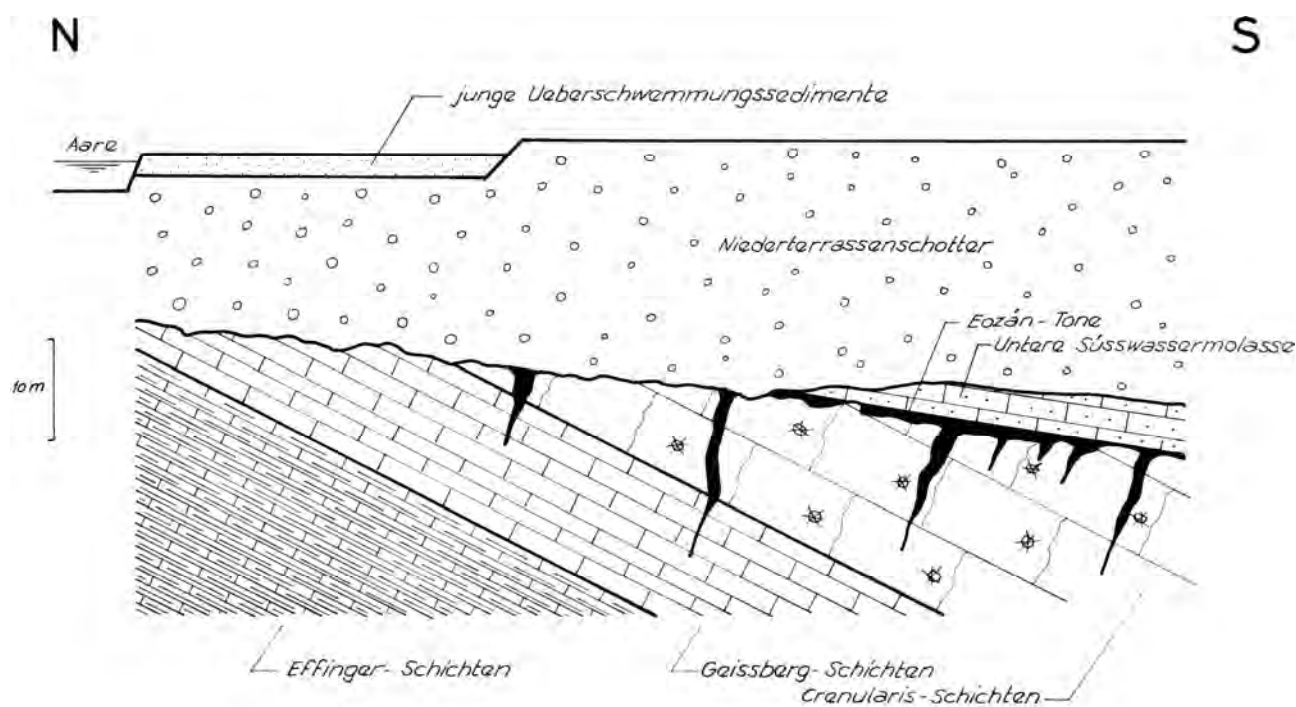


Figure 3.6-21 Profil géologique schématique sur le site (source: AF-Colenco 2009h)

Dans la zone adjacente à l'aire principale, il faut s'attendre à la présence d'anciens remblais provenant en grande partie des excavations de la construction du canal d'amenée de la centrale hydro-électrique de Gösgen en 1912. Ces remblais d'une épaisseur d'environ 7 m devront éventuellement être décapés dans la zone de fondation des bâtiments.

L'aire partielle Nord est située sur l'île en rive gauche de l'Ancienne Aar (zone entre l'Ancienne Aar et le canal d'amenée resp. le canal de fuite). Elle se trouve géologiquement à la limite du synclinal de la vallée de l'Aar. Les alluvions de basse terrasse disparaissent en biseau vers le nord, et le substratum calcaires du Malm affleure le long de la ligne Mühledorf - salle de machines de la centrale hydro-électrique de Gösgen. En raison de cette position périphérique, les propriétés de fondation sur l'île sont moins adéquates. Les graviers font place à des alluvions de "sables limoneux". Ceux-ci ont été observés dans l'excavation de la nouvelle installation électrique de la centrale hydro-électrique de Gösgen (Sieber Cassina + Partner 1996). Sur l'ensemble de l'aire partielle Nord, on constate également la présence de dépôts lacustres à grains fins à la base des graviers (limon de base). Dans la partie sud-est de l'aire partielle Nord (nom local 'Grossacker'), il faut s'attendre à des propriétés de fondation encore adéquates, dans la mesure où la couche de gravier est dure et présente une épaisseur de 20 m et plus (Sieber Cassina + Partner 1996, GASO 2008, AF-Colenco 2009h).

3.6.6.2 Profil stratigraphique et caractéristiques géotechniques

Le profil géologique dans le secteur est présenté schématiquement sur la figure 3.6-21. Il peut être subdivisé de la manière suivante (couches a-f), avec les caractéristiques respectives présentées ci-dessous (AF-Colenco 2009h, Interoil 2009):

a. Couches de couverture

Les sédiments d'inondation holocènes du glaciaire tardif se sont répandus des deux côtés de la vallée de l'Aar. Il s'agit ici de dépôts sableux et silteux de crues, également désignés dépôts alluvionnaires sableux, dont le caractère fluvial a été démontré par de nombreuses coquilles de gastéropodes. Sur la terrasse de graviers, ces dépôts atteignent leur plus grande épaisseur de plus de 4 m le long du récent canal de l'Aar (AF-Colenco 2009h), voir la figure 3.6-21). Lors des études antérieures effectuées pour les fondations de la tour de refroidissement de la CNG, la couche de sable de la surface a été étudiée. Selon la classification internationale USCS, il s'agit de sable silteux SM-ML avec $\phi = 38^\circ$. Pour les fondations de la tour de refroidissement, cette couche a été complètement éliminée et remplacée par du remblai.

Grâce à des remblais dans la zone de l'aire de la CNG et de l'installation électrique de 380 kV, les sédiments d'inondation n'existent plus aujourd'hui que sous forme résiduelle. Sur l'aire de la CNN, la rive méridionale de l'Aar se compose en grande partie de remblais, il s'agit en grande partie de déblais provenant de l'excavation du canal d'amenée de la centrale hydro-électrique de Gösgen en 1912. Par conséquent, lors de la dernière campagne de forages, de tels dépôts alluvionnaires sableux n'ont été trouvés uniquement que dans les forages KB1 et KB2 au sud des remblais de l'installation électrique de la CNG, avec une épaisseur respective de 0.65 m et 2.35 m (Interoil 2009). Des remblais ont été observés dans tous les autres forages plus proches de l'Aare (KB1, KB4, KB5, KB6).

Des conditions similaires sont également attendues sur l'aire partielle Nord au-delà de l'Aar, c.-à-d. des sédiments d'inondation superficiels, essentiellement de sable fin, d'une épaisseur de 0 à 3 m, recouverts par endroits par un remblai. A cet endroit il n'y a pas de forages, seule la station Atel sur l'île mentionne 1.4 m de couches de couverture (GASO 2008).

En résumé, il faut s'attendre à des dépôts alluviaux en surface d'une épaisseur pouvant aller jusqu'à 4 m des deux côtés du canal actuel de l'Aar. Ces dépôts seront remplacés par d'autres matériaux sur une grande surface dans la zone de fondation des infrastructures.

b. Remblais (Tableau 3.6-1)

Comme déjà mentionné plus haut, les remblais sont très répandus sur le site, en particulier le long de la rive méridionale de l'Aar, sur l'aire de la CNG existante et de l'installation électrique de 380 kV. Le remblai se compose de gravier sableux propre avec des pierres, des blocs et accessoirement de matériaux anthropogènes (déblais de construction). Il provient de l'excavation du canal d'amenée de la centrale hydro-électrique de Gösgen et de la CNG.

Lorsqu'aucun matériau anthropogène n'a été ajouté, il est difficile de distinguer ces couches des graviers naturels. De même, la densité apparente est similaire à celle des graviers. Le remblai sous l'installation électrique de la CNG a une épaisseur d'environ 7 m, ce qui a été confirmé par les récents forages sur l'aire de projet de la CNN.

c. Alluvions sablonneuses de bordure (Tableau 3.6-1)

Au bord septentrional du canal de la vallée, on constate des localement alluvions fines, qui s'imbriquent avec les graviers de basse terrasse (Sieber Cassina + Partner 1996). Il s'agit de dépôts silteux à sablonneux à grains fins, considérés comme critiques du point de vue géotechnique, en raison de leur tendance à se tasser et à s'éroder. Ce matériau n'apparaît qu'à la limite septentrionale de l'aire partielle Nord et devra éventuellement être décapé et remplacé.

d. Alluvions de basse terrasse tableau 3.6-2):

Les alluvions de basse terrasse forment une couche compacte entièrement composées de gravier sableux et caillouteux de couleur grise. La part de sable est variable, approximativement entre 20 et 40 %. Les courbes de distribution granulométrique sont d'une part suffisamment connues à partir d'anciennes études effectuées pour la CNG et, d'autre part, elles ont été déterminées à l'aide de nombreux échantillons provenant des forages les plus récents 2008 - 2009 (Interoil 2009). Les graviers en grande partie propres, localement silteux, correspondent aux classes de sol GP - GW - GM ab (ASTM 2000, SN 2004). De plus il faut s'attendre à des couches isolées resp. à des lentilles de sables silteux (SM), résultant d'irréguliers chenaux glaciaires en méandres. Il s'agit ici de sables très denses, avec une part silteuse de 10 à 15 % (figure 3.6-22). Concernant les propriétés géotechniques, deux types de sol ont été différenciés dans cette formation: type 1 = gravier avec sable et silt (GP - GW - GM) et type 2 = sable silteux (SM). La figure 3.6-22 présente les courbes granulométrique cumulée déterminées pour les deux classes de sols. Au total, 19 échantillons de gravier et 5 échantillons de sable provenant du site ont été analysés. L'épaisseur des couches de sable rencontrées dans les forages PRP est de 0.4 à 1.5 m. Une couche d'une épaisseur de 2.5 m à 15.4 - 18 m de profondeur au point KB4 doit être mentionnée comme exception. Les couches de sables saturés en eau dans les excavations doivent être traitées par des mesures appropriées.

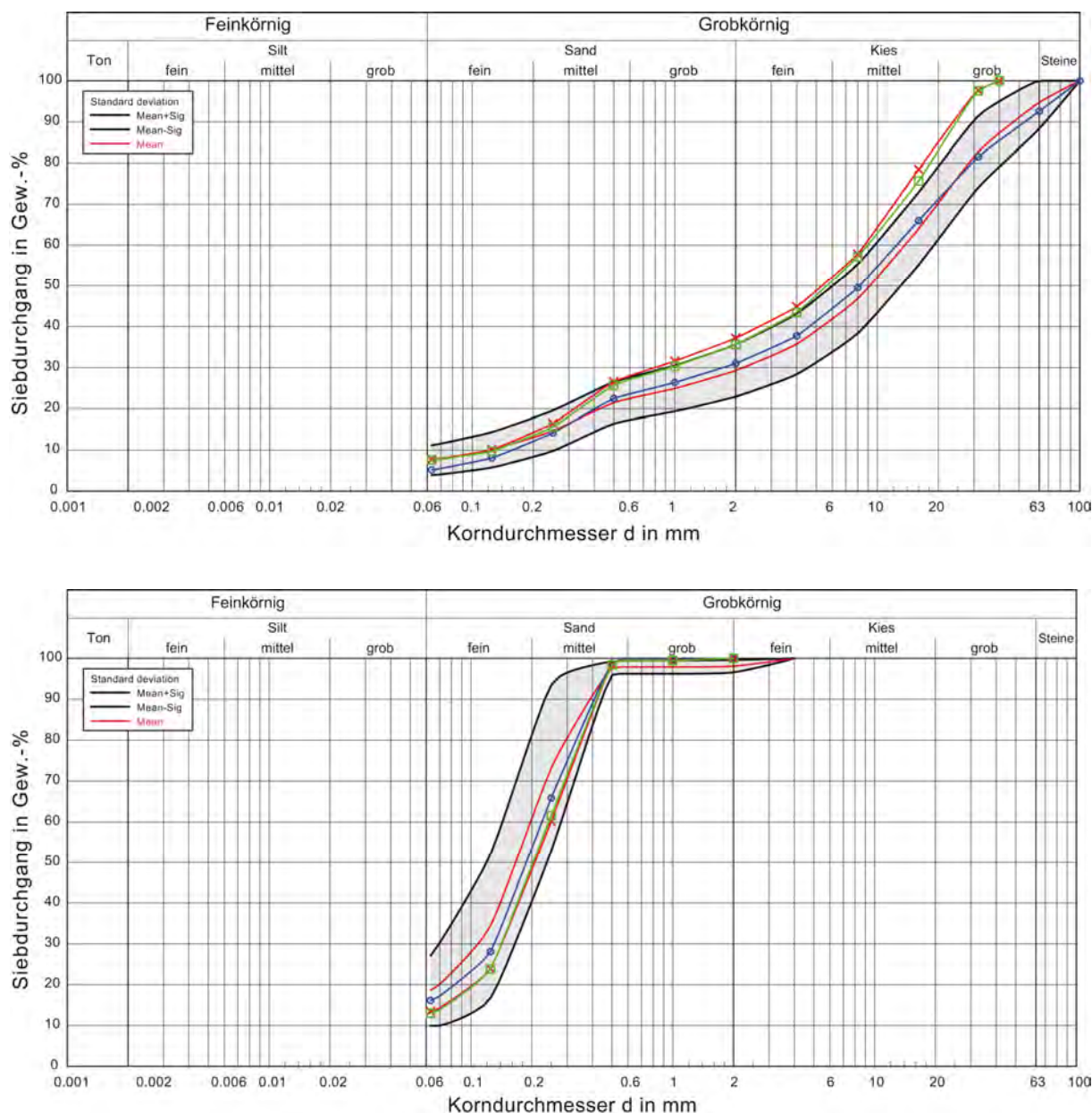


Figure 3.6-22 Courbes de distribution granulométrique du gravier (en haut) et du sable (en bas), données issues des forages 2008 - 2009 (Interoil 2009)

Du point de vue géotechnique, les alluvions de basse terrasse sont généralement considérés comme des terrain durs et adéquats pour les fondations. Il est connu que le gravier convient peu pour les essais de mécanique des sols. En général, il n'est possible d'effectuer que des essais de pression latérale et de fonçage (Standard Penetration Test, SPT), bien que leur valeur soit contestée pour les roches meubles (Terzaghi en 1967). La résistance au battage rencontrée lors de la dernière campagne de forage indique une stratification très compacte: pour environ 70 SPT effectués, et à l'exception de quelques tests réalisés près de la surface, le nombre de frappes N_{30} est nettement supérieur à 50, voir la figure 3.6-23a.

Des essais antérieurs dans cette région avec des pieux dotés de sondes indiquent un module de compressibilité (valeur ME) avec en moyenne 160 - 200 MPa. Les valeurs de portance admissibles ϕ' et c' pour le gravier sableux dépendent fortement de la densité apparente. Dans le cas présent, avec une densité apparente incontestablement élevée, les essais triaxiaux effectués dans le cadre du projet PRP ont confirmé des coefficients de cisaillement adéquats: $\phi' = 45 - 49^\circ$ et $c' = 5 - 30$ kPa. On obtient pour les sables silteux SM une plage de valeurs de $\phi' = 37 - 42^\circ$ resp. $c' = 14 - 27$ kPa (Interoil 2009). De plus, des essais triaxiaux dynamiques à grande échelle ont été effectués sur des échantillons de gravier du sous-sol de l'aire principale de la CNN dans le cadre des études PRP sur le site. Ces résultats seront pris en compte avec les vitesses des ondes de cisaillement mesurées pour la détermination des caractéristiques dynamiques du terrain pour le projet de construction.

Les cailloutis de basses terrasses sont considérés comme hautement perméables et exigent des mesures d'épuisement des eaux lors de travaux de génie civil. La perméabilité moyenne à grande échelle des cailloutis a été déterminée par des essais de pompage étendus et s'élève à $K = 5 \times 10^{-3}$ m/s (AF-Colenco 2009h). Cette valeur empirique typique a été confirmée par les études sur l'aire principale de la CNN (Baechler et al. 2009). Une diminution de la perméabilité avec la profondeur croissante n'a pas été observée. En raison des couches intermédiaires de sables fins mentionnées, la perméabilité verticale est à un ordre de grandeur plus petit que la perméabilité horizontale (anisotropie). Les perméabilités effectives déterminées à partir des essais de pompage reflètent les valeurs K_{hor} . Le gravier sableux est un matériau de construction de grande qualité, et ceci sera pris en compte dans la gestion des matériaux déblayés (voir au chapitre 3.6.6.4).

e. Argilleuses de base des graviers (tableau 3.6-3):

L'apparition des sédiments à grains fin à la base des alluvions de basse terrasse, qui doivent être mentionnés comme dépôts lacustres resp. dépôts argileux lacustres, n'a jusqu'à présent été confirmé que par résultats de forages sur l'aire partielle Nord. Il s'agit de silt argileux ou de sable fin, de couleur grise ou gris bleu, graveleux par endroits. Dans la partie septentrionale, ces dépôts ont été constatés dans les forages de la centrale hydro-électrique de Gösgen (Sieber Cassina + Partner 1996), de même que plus au sud dans le forage Vibroseis de la Nagra en 1984 (GASO 2008) et sur la rive de l'Aar dans les forages d'amenée d'eau de refroidissement de la CNG (AF-Colenco 2009h). Dans le cadre de ces derniers forages, une couche de 2.5 m d'épaisseur à base de dépôts argileux lacustres a été observée dans le forage à une profondeur de 24 m en-dessous du lit de l'Aar (forage n° B402 dans AF-Colenco 2009h). Il s'agit de l'argile de fond lacustre observée par forage dans la zone la plus Sud. A cet endroit, elle est recouverte de graviers compacts d'une épaisseur de 24 m, et ne sera donc pas mise en charge par les constructions dont les fondations sont peu profondes. Sous l'aire principale de la CNN et sur le site de la CNG voisine, aucune couche de ce type n'a été trouvée à la base des graviers de basse terrasse. Ce résultat a pu être confirmé par les derniers forages 2008 - 2009 (Interoil 2009).

Les sédiments à grains fins sont considérés comme critiques pour les fondations du point de vue de la géotechnique et devraient être décapés et remplacés par des remblais de qualité. Il ne faut s'attendre à de telles conditions défavorables que dans la limite la plus au nord du canal de la vallée de l'Aar, c.-à-d. dans la partie nord-ouest de l'aire partielle Nord.

f. substratum rocheux (malm, tableau 3.6-4):

Le substratum rocheux présente une surface d'érosion irrégulière, karstifiée par endroits et remplie resp. recouverte d'argiles tertiaires résiduelles (argiles bolaires) (figure 3.6-21). Les excavations pour la restauration de la centrale hydro-électrique de Gösgen, ont permis d'observer le substratum rocheux qui se présente sous la forme de calcaires karstifiés du Malm, à fort pendage. Il plonge d'environ 15° vers le SE (Sieber Cassina + Partner 1996). La profondeur et la nature du substratum rocheux sur l'aire principale de la CNN ont ou être explorées, du moins localement, par la campagne géophysique et de forages PRP (PRP 2008 - 2009). Le phénomène de karstification du substratum a été décrit en détail au chapitre 3.6.5.3. Les dolines et cavités karstiques avec remplissage d'argiles résiduelles surconsolidées n'ont pas d'implications négatives sur la portance sur sol. Comme déjà mentionné, aucune cavité ouverte n'a été découverte dans le sous-sol du site - ni par forages ni par géophysique.

Une caractérisation provisoire des horizons pris en considération dans le profil géologique est fournie dans les tableaux suivants.

Tableau 3.6-1 *Caractéristiques géotechniques: a. - c. Couches de couverture en général et sables alluviaux au nord du site*

Classification USCS	SM, SM-ML, SM-MC	Sensibilité à l'affaissement, risque de gel, pas compactable
Densité apparente	meuble, mou	
Perméabilité	$K = 10^{-6} - 10^{-5} \text{ m/s}$	estimation pour les couches de couverture, pour dépôts alluviaux sableux, facteur supérieur de 10 environ
Poids volumique du sol	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	
Angle de frottement	$\phi' = 22 - 25^\circ$	
Cohésion	$c' = 2 - 5 \text{ kPa}$	
Valeur M_E	$M_E = 3 - 4 \text{ MPa}$	

Tableau 3.6-2 Caractéristiques géotechniques: d. Alluvions de basse terrasse

Classification USCS	GP-GW / SM	Solide
Densité apparente	de compact à très compact	SPT dans les forages PRP
Perméabilité	Moyen 5×10^{-3} m/s	Essais de pompage CNG et CNN (Baechler et al 2009)
Poids volumique du sol	$\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$ de gravier $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ de sable	Essais en laboratoire CNN (Interoil 2009)
Angle de frottement	$\phi' = 45 - 49^\circ$ de gravier GW $\phi' = 37 - 42^\circ$ de sable SM	Essais de cisaillement dir., Triax CD, Triax CU (Interoil 2009)
Cohésion	$c' = 5 - 30 \text{ kPa}$ gravier $c' = 14 - 27 \text{ kPa}$ sable	Essais de cisaillement dir., Triax CD, Triax CU (Interoil 2009)
Valeur M_E	$M_E = 60 - 200 \text{ MPa}$	Zone d'expérimentation composée de plaques de charge et d'essais de pieux

Tableau 3.6-3 Caractéristiques géotechniques: e. Argilles de base des graviers, argiles de fond lacustre et simil. (surtout sur l'aire partielle Nord)

Classification USCS	GM ; ML dépôts argileux sous-marins	Sensibilité à l'affaissement
Densité apparente	moyennement dense	
Perméabilité	estimation 10^{-7} m/s	
Poids volumique du sol	$\gamma = 18 - 20 \text{ kN/m}^3$	Bord septentrional
Angle de frottement	$\phi' = 22 - 28^\circ$	(Sieber Cassina + Partner 1996)
Cohésion	$c' = 0 - 8 \text{ kPa}$	(Sieber Cassina + Partner 1996)
Valeur M_E	$M_E = 3 - 30 \text{ MPa}$	(Sieber Cassina + Partner 1996)

Tableau 3.6-4 Caractéristiques géotechniques: f. Substratum rocheux du Malm moyen

	Calcaires de malm	Marne (Effingen)	Remarque:
Perméabilité	Aquifère fissural, karstifié	Toit supérieur	
Poids volumique du sol	$\gamma = 26.15 \text{ kN/m}^3$	25.70	(Interoil 2009)
Angle de frottement	$\phi = 40-67^\circ$	$\phi = 35-48^\circ$	Test Triax CFS (Interoil 2009)
Cohésion	$c = 10-30 \text{ MPa}$	$c = 18-29 \text{ MPa}$	
UCS	$s = 87 \pm 28 \text{ MPa}$	$s = 77 \pm 33 \text{ MPa}$	(Interoil 2009)
Module E, E [GPa]	21 - 52	9 - 40	(Interoil 2009) Triax et UCS
Poisson ν	0.06 - 0.15	0.10 - 0.43	
Valeur M_E	$M_E > 100 \text{ MPa}$		

Propriétés dynamiques

Les propriétés dynamiques du sous-sol ont été déterminées par voie expérimentale dans le cadre des études du site 2008-2009 (Interoil 2009, supplément B7). Les valeurs déterminantes pour la conception seront déterminées dans le cadre du projet PRP.

3.6.6.3 Comportement du sous-sol à des charges dynamiques

Globalement

Le sous-sol se compose essentiellement de graviers de terrasse avec en partie des lentilles sableuses intercalées. Il s'agit donc d'un sous-sol avec une bonne portance, qui ne présente aucun problème pour les charges statiques.

Pour l'évaluation du comportement des sous-sols à une charge dynamique, il faut surtout étudier l'augmentation potentielle de la pression interstitielle induite par un séisme: les sables fins meubles, saturés et homogènes ont tendance à provoquer une augmentation de la pression interstitielle lorsqu'ils sont soumis à une charge cyclique. Celle-ci entraîne une réduction de la cohésion, étant donné que les tensions effectives diminuent. Dans le cas extrême, en présence d'un matériau meuble, le phénomène de "liquéfaction du sol" peut apparaître, le matériau correspondant se comportant temporairement comme un liquide visqueux.

Les graviers compacts de la formation des alluvions de basse terrasse sont considérés comme un ensemble non critique. Les couches de sables fins proches de la surface, qui se trouvent en-dessous du niveau des eaux souterraines (dépôts alluviaux sableux et silteux), constituent l'exception. De telles couches critiques seront identifiées par des reconnaissances in-situ. Elles seront ensuite décapées et remplacées par d'autres matériaux mieux appropriés.

Risques de liquéfaction sur le site de la CNN

Le potentiel de liquéfaction sur le site de la CNN a été étudié sur la base expérimentale existante. Le risque par une "liquéfaction du sol" est évalué sur la base des critères suivants (pour la discussion, voir p. ex. Studer et al. 2007):

- (1) Extension et profondeur des couches de sable critiques: dans la littérature, il n'y pas de cas connu pour des profondeurs > 15 m (pression de recouvrement). Zone de la CNN: -1 à -20 m
- (2) Niveau des eaux souterraines: dans la littérature, il n'y pas de cas connu pour un niveau piézométrique profond (> 5 m). Sous l'aire principale de la CNN, le niveau des eaux souterraines est mesuré dans les forages PRP depuis mai 2009. Selon la cote du terrain, la profondeur de la nappe phréatique est de 5.5 à 6.9 m.

(3) Distribution granulométrique: les sables fins à grains uniformes constituent un risque important, les sables grossiers et les graviers ne présentent pas de risque. Les domaines de distribution granulométrique à risque de liquéfaction sont par exemple exclus dans la règle KTA 2201.2 (KTA 2000) et représentés sur la figure 3.6-4. Différents types de sols avec un potentiel de liquéfaction avéré sont cités dans Studer et al. (2007).

(4) Densité apparente: seuls les couches de sables perméables constituent un risque. Pour la CNN, les couches de sable testées par les forages SPT (Standard Penetration Test) sont considérées comme très compactes, voir la figure 3.6-23a et .

(5) Cisaillement dynamique (contraintes dynamiques au cisaillement, voir KTA 2000)

(6) Intensité et durée du séisme

La base de données expérimentale est composée en premier lieu des résultats des forages effectués (propagation et profondeur des couches de sable critiques, niveau des eaux souterraines), des essais sur site de détermination de la densité apparente (SPT) ainsi que des tests en laboratoire, à savoir la distribution granulométrique, les essais triaxiaux dynamiques et les essais de résonance.

Le résultat des forages sur le site peut être résumé comme suit en ce qui concerne le risque de liquéfaction du sol:

- Les dépôts alluviaux sableux proches de la surface sont considérés comme des matériaux sensibles. Ils se trouvent toutefois au-dessus du niveau de la nappe et seront décapés sur une grande surface et remplacés par des remblais.
- De telles couches de sol défavorables n'ont été observées que dans KB1 (0.60 - 4.0 m), KB2 (2.35 - 3.45 m) et KB5 (1.15 - 1.40 m).
- Sous la tour de refroidissement de la CNG dans le secteur du chenal de l'Aar, des dépôts alluviaux sableux d'une épaisseur de 1.9 m ont été découverts et remplacés par un autre sol.
- Dans le profil géologique, différentes couches de sables resp. des lentilles sableuses ont été trouvées dans les carottages KB1 - KB5a et leur densité apparente a été déterminée (SPT, voir à la figure 3.6-23a). Leur distribution verticale dans le profil du sol est présentée sur la figure 3.6-23b (Interoil 2009). Il ressort clairement de la figure 3.6-23b qu'il n'y a pas de corrélation latérale des couches de sable dans le profil stratigraphique du site. Leur extension est par conséquent limitée et s'élève au maximum à 20 - 25 m. Ce résultat est cohérent avec le mode de sédimentation des chenaux de sable.

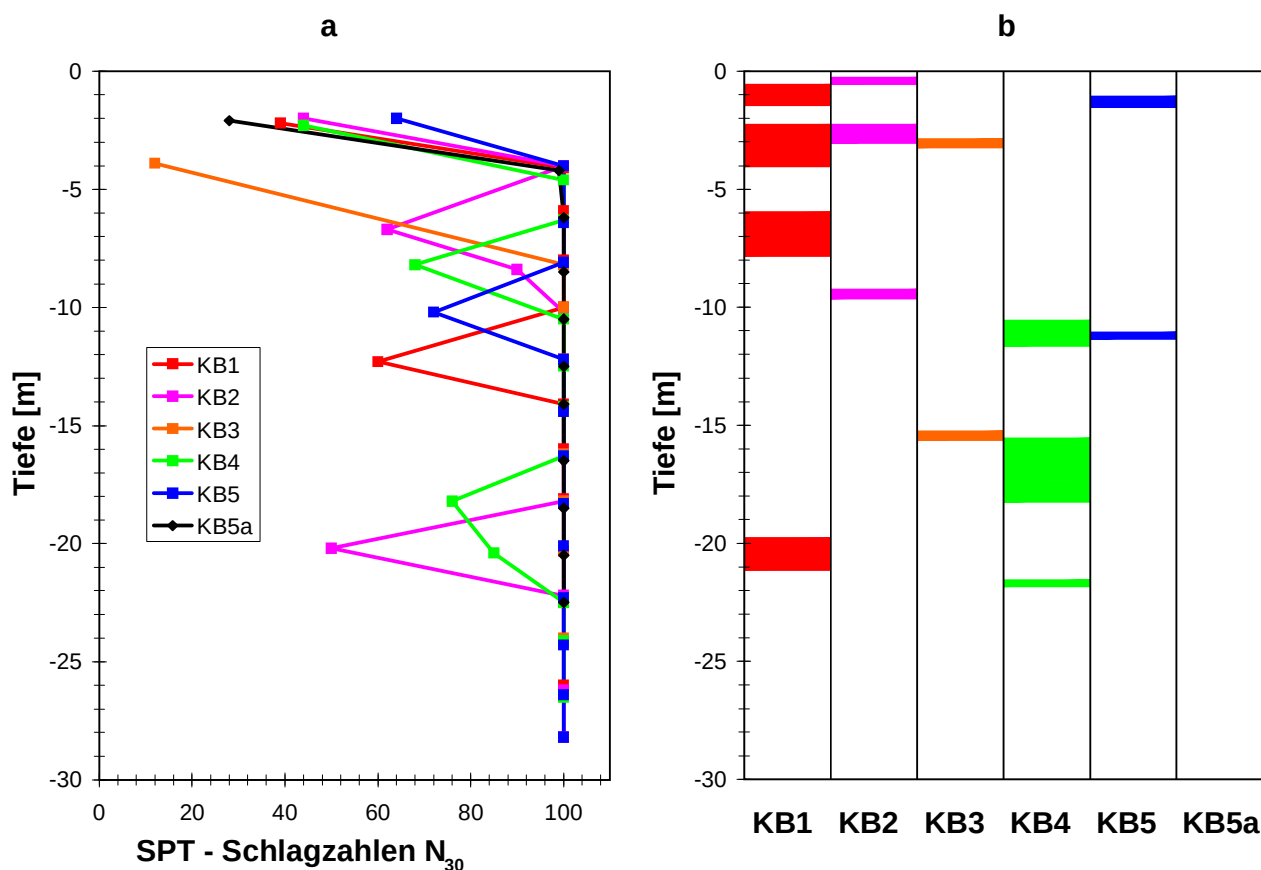


Figure 3.6-23 a) Forages PRP sur le site: résultats de tous les nombres de coups SPT N_{30} , valeurs > 100 coupées
b) Distribution verticale des lentilles sableuses dans le profil de la couche

En raison de leur distribution granulométrique étroite, les sables du type de sol 2 (sable SM silteux) ont été classés comme formation à risque potentiel (figure 3.6-24) et ont fait l'objet d'analyses supplémentaires. Les résultats des analyses et l'évaluation détaillée du risque de liquéfaction sont documentés (Interoil 2009, annexe B7).

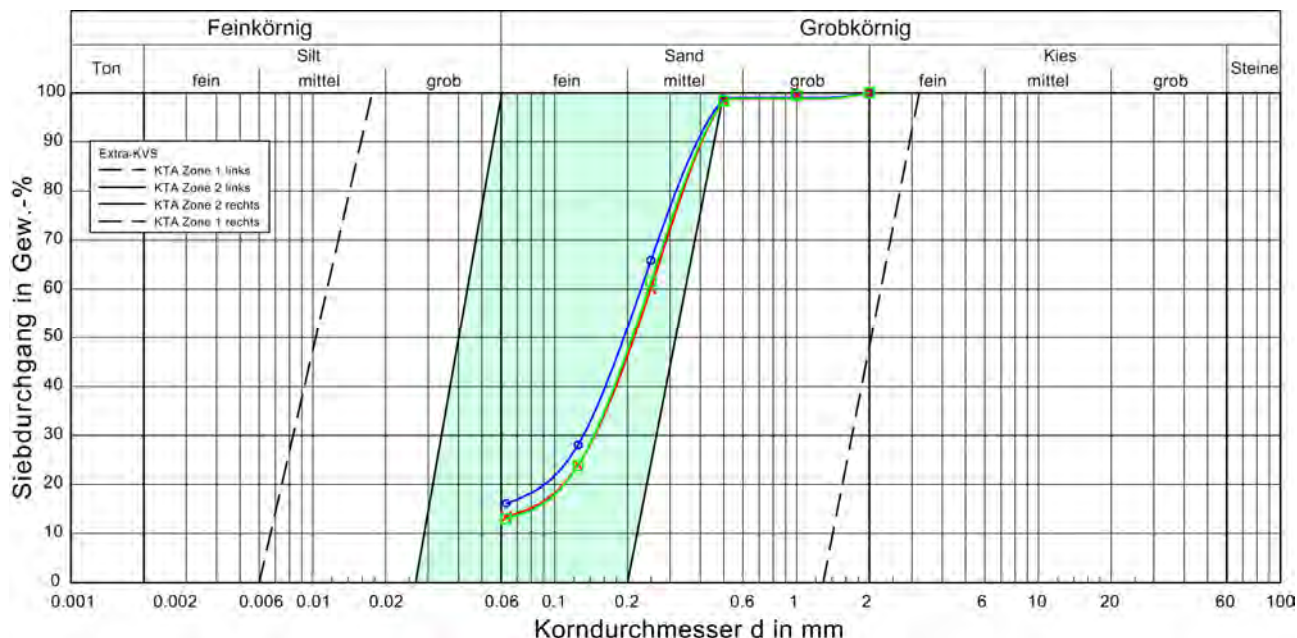


Figure 3.6-24 Limites pour le potentiel de liquéfaction selon la règle KTA (2000), comparaison avec la distribution granulométrique du type de sol 2 de la CNN

Le nombre de coups SPT N_{30} est considéré comme la mesure de la densité apparente D . Tous les résultats des essais SPT effectués dans les forages KB1-KB5a sont présentés sur la figure 3.6-23a (Interoil 2009). Il ressort de la comparaison des deux graphiques 3.6-23a et 3.6-23b que les faibles valeurs locales des forages SPT ne peuvent pas être corrélées avec les lentilles sableuses. Les couches de sable présentent donc une haute densité apparente. Pour confirmer ceci, les valeurs expérimentales pour le type de sol 2 (sable silteux SM) sont résumées au tableau 3.6-5. Les sables avec $N_{30} > 50$ sont considérés comme très compacts (p. ex. Terzaghi 1967) ; "la densité relative" correspondante est indiquée $I_D = 85-100\%$ (Interoil 2009, annexe B7).

Tableau 3.6-5 Résumé des nombre de coups SPT mesurés dans le sable

Forage	Profondeur (m)	USCS	SPT N_{30}
KB1	5.9	SP-SM	196
KB1	20.3	SM	121
KB4	10.5	SP-SM	> 100
KB4	16.3	SM	83
KB4	18.2	SM	54
KB5	2.0	-	57

Les autres études d'estimation du risque de liquéfaction du type de sol 2 étaient composées, suivant La règle KTA (2000) de calculs du rapport dynamique de la contrainte de cisaillement τ/σ'_0 , qui caractérise l'effet combiné de la contrainte de cisaillement cyclique τ et de la pression géostatique σ , et d'essais triaxiaux et de résonance cycliques. Les contraintes dynamiques de cisaillement déterminées sur 13 échantillons se trouvaient dans une plage de valeurs de 0.140 à 0.182. Selon les critères KTA (KTA 2000, image A4), "aucune liquéfaction" ne doit être présumée pour une densité apparente relative de $I_D > 50\%$. Un risque correspondant peut être exclu, compte tenu de la densité apparente qui prédomine ici (). Ce résultat a été confirmé par voie expérimentale par les essais triaxiaux cycliques sans drainage effectués sur le type de sol 2. Chacun des 3 échantillons d'essai a été chargé avec 500 cycles, sans augmentation excessive de la pression interstitielle de l'eau et sans atteindre un état de rupture. Au contraire, une diminution de la pression interstitielle a été observée pendant la troisième phase de charge. Il s'agit là d'un comportement typique pour un matériau à haute densité apparente, qui tend à se dilater sous l'effet d'une charge cyclique. Il augmente l'espace interstitiel, ce qui entraîne la réduction de la pression d'eau interstitielle (Studer et al. 2007).

Évaluation du risque de liquéfaction du sol

Le risque de liquéfaction éventuelle du sol sur le site de la CNN a été évalué sur la base de plusieurs critères. Deux horizons géologiques différents ont été identifiés dans les forages comme types de terrain probablement à risque:

- Dépôts d'inondation superficiels de sables fins
- Couches de sables (chenaux glaciaires) dans les graviers des alluvions de basse terrasse

Les premières n'ont pas été étudiées plus en détail, car elles seront éliminées en grande partie dans la zone de fondation des bâtiments par l'excavation et le remplacement du sol. Par le remplacement de ces couches, le risque de liquéfaction du sol en cas de séisme, et même d'inondation simultanée avec une augmentation du niveau de la nappe d'eau souterraine, est éliminé.

Les couches de sable intercalées dans le gravier (type de sol 2) ont été soumises à d'autres études, après que le critère de la distribution granulométrique ait indiqué un risque possible, voir sur la figure 3.6-24. Tous les autres critères, en premier lieu la densité apparente élevée, excluent toutefois tout risque de liquéfaction du sol. Ceci a été également confirmé par voie expérimentale par des essais triaxiaux dynamiques et des tests Resonant Column. Dans le cadre de la planification détaillée de la construction, des études approfondies seront effectuées sur les sites spécifiques, pour confirmer la situation actuelle. Si - contre toute attente - des couches de sables meubles sont rencontrées en profondeur, des mesures techniques efficaces pour l'amélioration de sol (comme p. ex. le "compaction grouting") pourront être appliquées.

En raison de la base de données expérimentale existante, on peut conclure que le terrain sur le site de la CNN permet la construction de fondations parasismiques sans grand problème; néanmoins, le comportement dynamique du terrain sera pris en compte lors de la conception de la centrale. Le potentiel de risque de liquéfaction du sol est classé comme très faible pour le site de la CNN, en raison de l'étroite stratification des graviers sableux.

3.6.6.4 Gestion des matériaux

Pour la construction, des excavations et des évacuations importantes de matériaux seront nécessaires. Hormis les couches de couverture proches de la surface et les remblais dans la zone adjacente à l'aire principale, la plus grande partie des matériaux excavés se composent de graviers des alluvions de basse terrasse. En ce qui concerne cette formation, il s'agit d'un gravier de haute qualité qui peut avantageusement être exploité comme matière première. On peut estimer qu'environ 2/3 du volume des déblais produits atteindront la qualité de gravier tout-venant et seront utilisés de manière correspondante. Les couches intermédiaires silteuses et de sables fins proches des dépôts alluviaux sableux (aire partielle Nord) ainsi que les dépôts lacustres argileux à la base des graviers ne sont pas exploitables.

Ceux-ci représentent un matériel de basse qualité et seront en grande partie évacuées en décharges ; une partie des déblais peut éventuellement être utilisée les constructions de digue et des réaménagements de terrain, ainsi que de manière générale comme déblai non polluant pour le remblayage de fouilles et de gravières. En raison des risques de déformation, il n'est pas adapté comme matériau de remblai pour le terrain d'exploitation.

3.6.7 Évaluation de l'aire du projet de la CNN

3.6.7.1 État des connaissances

Les connaissances actuelles et l'aptitude à prévoir la géologie sont différentes pour le sud et le nord de l'Ancienne Aar. L'aire principale ainsi que l'aire partielle Sud adjacente se trouvent sur la terrasse très épaisse de gravier de l'Aar. Du point de vue géologique, le sous-sol est considéré comme similaire à celui de la CNG voisine, sa lithologie peut être globalement bien anticipée et sa structure a été également confirmée par la dernière campagne de forages PRP 2008 - 2009 (Interoil 2009). Les caractéristiques les plus favorables du sous-sol proviennent de manière générale d'une couche de graviers d'une épaisseur de 25 à 28 m, qui garantit la stabilité et la résistance des fondations. Les graviers des alluvions de basse terrasse sont denses à très denses. Ils sont également saturés, puisqu'ils sont le siège d'une nappe phréatique d'importance régionale (aspect important pour la phase de construction). Dans la zone adjacente à l'aire principale, il faut s'attendre à la présence de remblais d'une épaisseur atteignant 7 m, qui proviennent de la construction du canal d'amenée de la centrale hydro-électrique de Gösgen. La connaissance des propriétés du sous-sol sera approfondie par des études complémentaires dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, en tenant compte des bâtiments et de leur disposition qui seront alors connus.

Les propriétés du sous-sol sont moins bien connues sur l'aire partielle Nord et sur la rive gauche de l'Aar,. Les connaissances géologiques sont succinctes, et la région présente une structure hétérogène en raison de sa position géologique limitrophe. Une base de données suffisante n'est disponible que dans le domaine de la centrale hydro-électrique de Gösgen, qui se trouve au bord resp. au-delà des graviers (Sieber Cassina + Partner 1996).

La partie du nord-ouest de l'aire partielle Nord, dans la zone de la station de couplage de la centrale hydro-électrique de Gösgen, se trouve sur les alluvions qui disparaissent en biseau. Les graviers, de faible épaisseur, font progressivement place, latéralement, à des "sables limoneux". De plus, des dépôts lacustres à grains fins ont été découverts par forage à faible profondeur à la base des graviers.

D'autres résultats ponctuels sur la structure stratigraphique de l'aire partielle Nord sont fournis d'une part par les captages d'eaux souterraines d'Atel, année de construction 1949 (GASO 2008) et la fabrique de papier (KANI, année de construction 1954). Pour la partie sud de l'aire partielle Nord, les études de la Nagra (forage Vibroseis AZ-065 de 1984, GASO 2008) ainsi que les forages d'amenée d'eau de refroidissement de la CNG sont disponibles (AF-Colenco 2009h). Il ressort de la base de données ci-dessus que la partie orientale de l'aire partielle Nord est caractérisée par un chenal de profondeur croissante dans la direction du sud-est, qui s'accompagne d'une augmentation rapide de l'épaisseur des graviers. Dans la station de pompage d'Atel, à peu près au centre de l'aire partielle Nord, le rocher a été atteint à une profondeur de 15 m,. Le forage de la Nagra sur la rive gauche de l'Aar a rencontré le substratum à une profondeur de 42 m (GASO 2008). Ici aussi, les graviers de l'Aar reposent sur des formations lacustres argileuses et silteuses d'une épaisseur de 5 à 8 m. Ce matériau défavorable du point de vue géotechnique n'apparaît qu'à partir d'une profondeur de 15 m et plus, ce qui n'est par conséquent pas critique pour les fondations peu profondes sur les graviers. Les forages MC effectués immédiatement en aval du pont sur l'Aar montrent que la surface du rocher se trouve à une profondeur d'environ 24 m sous le lit de l'Ancienne Aar (AF-Colenco 2009h). On peut donc anticiper des conditions géologiques plus favorables du NO vers le SE pour l'aire partielle Nord.

3.6.7.2 Évaluation

En ce qui concerne les propriétés du sol, l'aire principale et l'aire partielle Sud peuvent être considérées comme offrant des conditions similaires et de bonne qualité. Les propriétés géotechniques du sol pour accueillir des fondations importantes sont démontrées par la construction et l'exploitation de la CNG. Les graviers de basse terrasse du Plateau central suisse, sont généralement considérés comme un terrain solide. Par contre, les remblais locaux dans la zone adjacente ainsi que les couches de couverture à grains fins ne sont pas appropriés du point de vue géotechnique. Si nécessaire, ils peuvent être décapés sur une grande surface.

Une caractéristique des graviers qui doit être analysée de manière ciblée dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire est le potentiel de liquéfaction du sol, en cas de présence éventuellement importante de sables fins et à faible cohésion. Seuls les sables fins meubles, saturés et à grains fins homogènes ont tendance à développer une pression interstitielle excessive lorsqu'ils sont soumis à une contrainte dynamique due à un séisme ; ceci peut, dans les cas extrêmes, entraîner la liquéfaction du sol. En cas de présence de couches de sables fins "suspectes", ce risque potentiel peut être clarifié par de simples essais de fonçage (SPT) dans le forage et une analyse granulométrique.

En raison de l'architecture sédimentaire des graviers, de la faible sismicité et des récents résultats des forages et des essais en laboratoire, un tel risque peut être classé comme très faible sur le site de la CNN. De plus, en cas de besoin, des mesures techniques éprouvées pourraient être appliquées pour améliorer localement la qualité du sol (p. ex. injections de ciment).

L'aire partielle Nord doit être évaluée de manière différente sur la base de sa position périphérique:

- La zone au nord-ouest se trouve sur les alluvions de basse terrasse qui disparaissent en biseau. Les graviers, favorables du point de vue géotechnique ne sont présents qu'avec une faible épaisseur, sur des dépôts lacustres argileux et silteux à faible profondeur. En outre des sables limoneux apparaissent sur le flanc nord de la vallée. Cette zone n'est donc pas appropriée pour accueillir des grands bâtiments de la centrale. Mais elle peut être utilisée pour les bâtiments non critiques du point de vue de la sécurité et n'exigeant pas de fondation profonde.
- Le secteur oriental est caractérisé par une augmentation rapide de l'épaisseur des graviers. Il en résulte des propriétés du sol toujours plus favorables, comparables à celles de la rive droite de l'Aar. Il y a donc une couche de graviers suffisamment épaisse et solide dans la zone au sud-est de la vallée de l'Aar, pour recevoir les constructions du système de refroidissement principal (tour de refroidissement hybride) prévu dans la variante de projet 1.

L'aptitude générale du site de la CNN pour le projet est confirmée. Pour déterminer en détail les propriétés du sous-sol, des investigations géologiques supplémentaires sont prévues dans la zone d'excavation des bâtiments importants. Il faut tenir compte en particulier de la variabilité à faible échelle des graviers de la formation des alluvions de basse terrasse.

3.6.7.3 Conclusions pour la disposition des bâtiments

Sur la base d'anciennes données et des forages les plus récents, les connaissances sur les propriétés du sous-sol peuvent être considérées comme suffisantes et fiables, pour confirmer l'aptitude du site de la CNN pour le projet. La classification différenciée des aires partielles amènent à définir des conditions claires et précises pour la disposition des bâtiments de la centrale (figure 3.6-19):

- Les aires au sud de l'Ancienne Aar offrent les meilleures conditions pour les bâtiments de la centrale nucléaire. Les conditions sont aussi adéquates que pour la CNG existante. L'aire principale et l'aire partielle Sud peuvent être qualifiées d'équivalentes du point de vue géotechnique.
- L'aire partielle Nord située sur la rive gauche est appropriée pour les constructions prévues dans la variante de projet 1, à savoir les ouvrages du système de refroidissement principal sur la partie sud-est (tour de refroidissement hybride, installation de traitement des eaux, station de pompage) et les différentes installations externes et auxiliaires sans fondation profonde sur les parties occidentale et septentrionale.

3.6.8 Dimensionnement sismique

3.6.8.1 Spectres de réponse de dimensionnement pour le site de la CNN

Dans le cadre du projet PEGASOS terminé en 2004 (DSN 2007), l'aléa sismique pour le site voisin de la CNG a été à nouveau étudié (cf. aussi chapitre 3.6.3.2). Les résultats du projet PEGASOS ont été obtenus sur la base des connaissances internationales les plus récentes. Ils constituent actuellement la meilleure base pour déterminer l'aléa sismique sur le site. Le projet PRP (PEGASOS Refinement Project) actuellement en cours doit permettre de réduire le spectre relativement grands d'incertitudes (PRP) le PEGASOS.

Le spectre de dimensionnement sismique pour la CNN sera fixé de manière définitive sur la base d'études géologiques/géotechniques supplémentaires dans le cadre du projet de construction et des résultats alors disponibles du projet PEGASOS et du projet PRP conformément aux directives suisses. A cette occasion, les conditions géotechniques locales du sous-sol seront prises en compte sur l'aire du projet (p. ex. éventuelles couches meubles interposées). Des indications relatives aux spectres de réponse spécifiques au site sont données sur la figure 3.6-16 au chapitre 3.6.3.2, qui présente les résultats du projet PEGASOS pour le site voisin de la CNG. Sur la base des constatations précédentes, on peut supposer que le spectre de dimensionnement définitif en matière sécurité parasismique sera dans cette gamme de valeurs.

3.6.8.2 Interaction dynamique sol - bâtiment et influence mutuelle des constructions voisines

Les dimensionnements sismiques en surface prévus dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire seront définis respectivement comme "excitation en champ libre" en surface. L'interaction entre le bâtiment et le sol peut, selon la rigidité du sous-sol et de la masse du bâtiment, influencer considérablement le comportement de ce bâtiment. Par conséquent, il faut clarifier pour chaque objet, si cette interaction est quantitativement importante ou si un bâtiment et le sol peuvent être étudiés séparément.

L'effet de l'interaction sol - bâtiment peut être résumé comme suit:

- L'excitation du bâtiment est différente du mouvement en champ libre, la composante horizontale est habituellement réduite, mais un mouvement de basculement supplémentaire se produit. Dans l'ensemble, ceci a généralement un effet positif.
- La souplesse du sol entraîne une réduction de la fréquence propre en comparaison avec un bâtiment sur des fondations rigides. En fonction des caractéristiques de ces fréquences par rapport aux fréquences d'excitation dominantes sur le site, ceci peut avoir des conséquences favorables ou défavorables.

- Les mouvements imposés au sol par le bâtiment produisent des forces d'atténuation supplémentaires dans le sol et génèrent, ce qui est plus important, des ondes qui sont en mesure de dissiper l'énergie vibratoire à "l'infini". Cette dissipation d'énergie est appelée atténuation géométrique ; dans le cas de caractéristiques à peu près homogènes pour des dépôts de roche meubles de très grande épaisseur, il provoque une augmentation considérable de l'atténuation effective.

Les conditions géologiques du site de la CNN sont caractérisées par une couche de roche meuble relativement épaisse. Ainsi, par la prise en compte de l'interaction entre le sol et le bâtiment, de même que par l'encastrement de l'enceinte du réacteur en profondeur et la grande masse de l'ouvrage, on peut s'attendre à une atténuation de l'excitation du bâtiment surtout dans le domaine des fréquences élevées.

L'interaction sol - bâtiment est prise en considération lors du dimensionnement de la CNN. Une éventuelle interaction entre constructions voisines en cas d'événement sismique est prise en considération lors de la conception et du dimensionnement des ouvrages dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

3.6.8.3 Option: isolation parasismique de base

Comme alternative à une conception parasismique conventionnelle, une isolation sismique des fondations (Base Isolation), est prise en considération. Il s'agit d'une technologie qui est parvenue à maturité et a fait ses preuves depuis plus de 30 ans dans des ouvrages complexes et des bâtiments publics importants.

Mode de fonctionnement

Le principe de l'isolation sismique des fondations se base sur le fait que le positionnement particulier de l'ouvrage entraîne une modification de sa période propre, de manière à le décaler d'une zone d'accélération maximale à une zone avec des accélérations spectrales plus faibles. L'exécution appropriée des coussins et la disposition des éléments d'amortissement favorisent la dissipation d'énergie, ce qui entraîne une augmentation du comportement d'atténuation. Une réduction de la charge sismique du bâtiment est obtenue par le décalage de la période propre et l'augmentation de la masse d'atténuation. Le mode de fonctionnement est présenté schématiquement sur la figure 3.6-25.

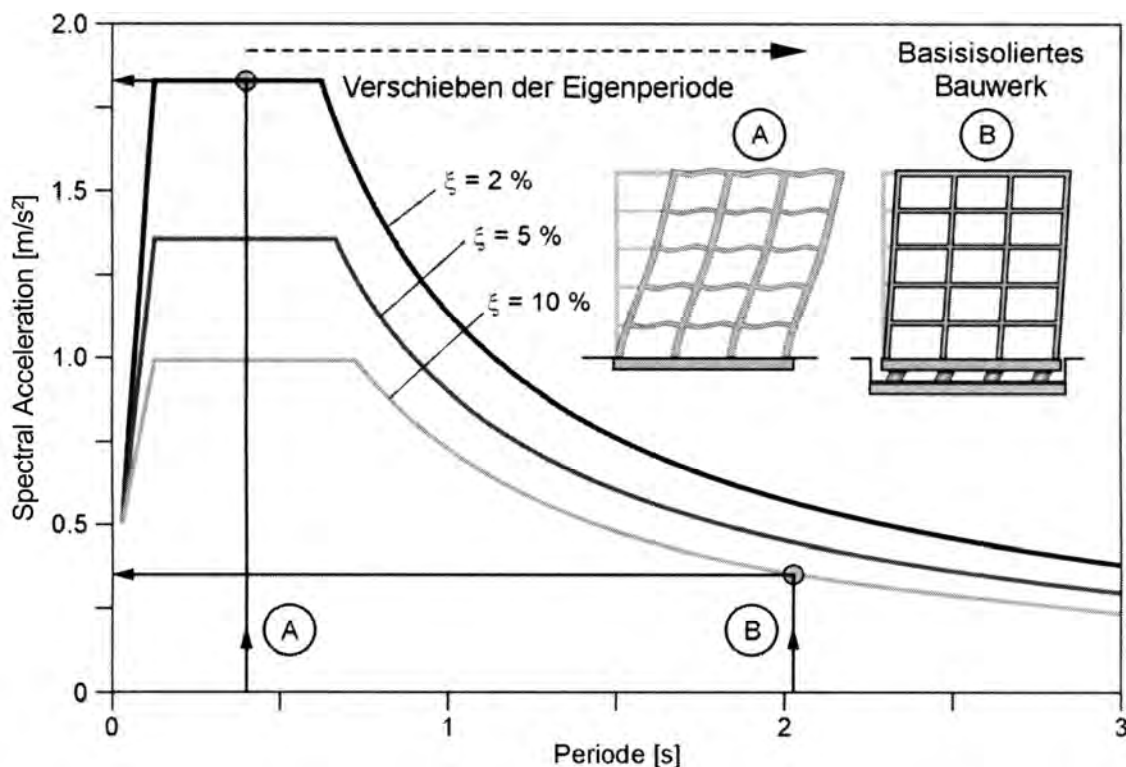


Figure 3.6-25 Principe d'isolation parasismique des fondations (Baur 2003), réduction de l'excitation par le décalage de la fréquence propre et l'augmentation de l'amortissement

En principe, une isolation sismique des fondations peut permettre de réduire les efforts de coupe de la structure portante. La superstructure se découple de la fondation. Le comportement d'oscillation de la construction est principalement dominé par sa forme d'oscillation de base. C'est surtout la couche qui oscille, et la superstructure a un comportement rigide. Le comportement sismique de la construction peut être facilement modélisé et calculé en phase de planification, car les conditions de stratification et le comportement d'oscillation qui en résulte sont bien connus.

Toutefois, parallèlement à l'atténuation des effets sismiques, les mouvements du bâtiment augmentent. Ceux-ci doivent être pris en compte dans la conception et le dimensionnement des réseaux d'alimentation (câbles, conduites, ..) du bâtiment. Les coussins doivent donc avoir une faible rigidité horizontale, mais une rigidité verticale élevée.

Exemples d'isolation parasismique des fondations avec dans des centrales nucléaires

La première application de l'isolation sismique des fondations dans des centrales nucléaires se trouve à Koeberg en Afrique du Sud. La centrale y a été construite en 1973 sur de l'élastomère. Peu de temps après, la centrale nucléaire près de Cruas en France a également été dotée de couches d'élastomère (Chang et al. en 1991, Kelly 2004). La technologie de cette première isolation sismique des fondations ne serait plus appliquée de cette manière aujourd'hui, car cette technique a beaucoup évolué au cours des 30 dernières années.

Une série d'études internationales montre que l'isolation sismique des fondations comme alternative à la conception conventionnelle des centrales nucléaires est largement discutée et en partie prise en compte dans le dimensionnement. Il y a des exemples de projets pour les surrégénérateurs rapides (Fast Breeder Reactor) en Europe, aux USA et au Japon (p. ex. Tajirian et al. 1990, Bhoje et al. 1999, Kageyama et al. 2003).

Des pré-études pour les réacteurs coréens sont présentées dans Yoo et al. (2000), Yoo & Kulak (2002) et Chang (2004).

En cas de choix de l'option d'isolation parasismique des fondations, la démonstration de la qualification de cette technologie sera donnée par des calculs et des essais dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire. En particulier les questions suivantes seront abordées:

De manière générale:

- Implications sur la conception générale de l'installation (maquette)
- Implications des cas de charge tels que sont les effets des séismes, les chutes d'avions et les explosions externes.
- Maîtrise des mouvements horizontaux et des effets tridimensionnels

Spécifique aux coussins:

- Justificatifs du mode de fonctionnement des coussins
- Possibilités de remplacement des coussins
- Résistance au vieillissement des matériaux utilisés
- Programme de gestion de la qualité pour la fabrication des coussins et le montage
- Inspection périodique (contrôle) des coussins

3.6.8.4 Conséquences pour la conception de la CNN

Avec des méthodes de dimensionnement efficaces comme l'interaction sol – bâtiment (Studer et al. 2007), la prise en considération des "Beyond design basis events" ou avec l'option d'isolation sismique des fondations (Kelly 2004), il est possible de garantir une conception parasismique.

3.6.8.5 Conclusions sur le séisme à proximité de la centrale nucléaire de Kashiwazaki-Kariwa (Japon)

Le site de la centrale nucléaire dans le Niederamt se trouve dans un secteur avec une faible activité sismique. C'est pour cette raison qu'il y a très peu d'enregistrements de séismes. Ainsi, seuls quatre séismes de faible magnitude, avec de très faibles accélérations du sol de l'ordre de quelques millièmes de g, ont été enregistrés pendant 30 ans d'exploitation. C'est la raison pour laquelle l'évaluation des expériences des enregistrements des activités sismiques dans d'autres pays présentant une activité sismique plus élevée est d'un intérêt général pour le dimensionnement des nouvelles centrales nucléaires.

Le 16 juillet 2007, la centrale nucléaire de Kashiwazaki-Kariwa au Japon, qui compte 7 réacteurs, a été affectée par le séisme Niigata-Chuetsu-Oki d'une magnitude M_w de 6.6, dont l'épicentre se trouvait à une distance d'environ 16 km de la centrale nucléaire.

En collaboration avec Tokyo Electric Power Company (TEPCO) et Industrial Safety Agency (NISA), l'Agence internationale de l'énergie atomique (IAEA) a étudié les conséquences du tremblement sur place et consigné les résultats correspondants dans trois rapports (IAEA 2007, IAEA 2008, IAEA 2009).

En résumé, on peut constater que:

- les valeurs de dimensionnement pour l'accélération du sol sur le site ont largement été dépassées (accélérations du sol à champ libre jusqu'à 0.9 g environ)
- les systèmes de sécurité ont fonctionné normalement. Cela concerne en particulier le système d'arrêt d'urgence du réacteur, déclenché par des sondes sismiques, le refroidissement fiable du cœur et essentiellement la rétention de matières radioactives. Le rejet constaté de faibles quantités de substances radioactives était de loin inférieur aux valeurs limites annuelles. La sécurité de la centrale nucléaire n'a jamais été menacée
- des dommages de faible ampleur ont été observés, en particulier dans la partie non nucléaire de la centrale
- il est possible de remettre les centrales nucléaires progressivement en service, après des vérifications techniques détaillées et des réparations dans la partie non nucléaire des installations, malgré le dépassement des valeurs de dimensionnement de l'accélération du sol.

Les vérifications de l'IAEA, de TEPCO et de NISA ont montré que le décrochement géologique (chevauchement) sous les fonds marins, cause du séisme de Niigata-Chuetsu-Oki, n'avait pas été identifié lors des études effectuées sur le site de la centrale nucléaire de Kashiwazaki-Kariwa.

Ainsi, l'IAEA recommande également la réalisation d'études probabilistes des risques pour la détermination de l'aléa sismique, en plus de la réalisation d'études très détaillées pour découvrir les failles potentiellement actives dans le voisinage du site d'une centrale nucléaire. Des études probabilistes de l'aléa sismique (PSHA = Probabilistic Seismic Hazard Analysis) en sont la base. Pour le site de la centrale nucléaire dans le Niederamt, de telles études détaillées ont déjà été effectuées dans le cadre de la vérification de l'aptitude du site. Le projet PRP fournira également les courbes probabilistes d'aléa sismique requises pour la réalisation d'une étude de risque sismique.

On peut, dès aujourd'hui, affirmer que le site de la centrale nucléaire de Kashiwazaki-Kariwa et celui de la centrale nucléaire prévue dans le Niederamt ne sont pas comparables en ce qui concerne la situation géologique/géotechnique et l'aléa sismotectonique. Contrairement au site de la centrale nucléaire de Kashiwazaki-Kariwa, le site de la CNN se trouve sur une plaque continentale stable, avec un aléa sismique considérablement plus faible. Les fortes accélérations, inattendues, observées au Japon sont dues entre autres au fait que le site de la centrale nucléaire se trouve sur la couche chevauchante de la faille au sein de laquelle s'est produit le séisme. Les accélérations sont toujours plus élevées que sur de ce côté de la faille que du côté sous-jacent. C'est la raison pour laquelle l'apparition d'accélérations d'une telle ampleur est extrêmement peu probable sur le site de la CNN.

Du point de vue de l'ingénierie, l'évaluation des dommages observés est utile. Les conclusions suivantes peuvent être tirées à ce sujet:

- La plupart des dommages sont dus aux forts mouvements et affaissements du sol. En raison des caractéristiques du sol sur le site de la centrale nucléaire prévue dans le Niederamt, avec des graviers très compacts de la formation des alluvions de basse terrasse, on peut exclure les dommages dus à de forts mouvements du sol, à des affaissements et à une liquéfaction du sol, en cas de tremblement de terre de magnitude élevée.
- La plupart des autres dommages pourraient difficilement se produire avec une centrale nucléaire en Suisse, en particulier avec une nouvelle centrale prévue, car les mesures proposées par TEPCO, NISA et l'IAEA sont pour la plupart déjà réalisées dans la conception suisse et un dimensionnement correspondant est prévu pour la conception de la centrale nucléaire dans le Niederamt dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire
- Les études réalisées par NISA et une commission d'experts japonais sur les conséquences du séisme de Niigata-Chuetsu-Oki sur la centrale nucléaire de Kashiwazaki-Kariwa ont montré que les bâtiments, leurs composants et leurs équipements qui ont été conçus selon l'état de la science et de la technique et ont été vérifiés par des tests spécifiques en matière de sismicité disposaient de réserves de conception élevées. Dans le cas de Kashiwazaki-Kariwa, ceci a eu pour conséquence que même les charges sismiques au-delà du dimensionnement ont pu être maîtrisées dans dommages pour la sécurité. Le redémarrage des unités de réacteur qui avait été arrêtées est de nouveau possible.

Pour la planification de la centrale nucléaire dans le Niederamt, il est important que les méthodes de conception parasismique d'une centrale nucléaire disponibles aujourd'hui aient fait leurs preuves dans la pratique internationale. L'application des résultats PEGASOS et PRP spécifiques au site permet d'assurer que la sécurité d'exploitation de la centrale nucléaire est garantie même en cas d'occurrence improbable d'un séisme de grande magnitude.

3.6.9 Évènements externes d'origine géologique et sismique

Ci-après sont évalués les événements externes qui entrent en ligne de compte et doivent être pris en considération pour l'analyse PSA conformément à la directive ENSI-A05 (ENSI 2009a).

Les risques géologiques possibles ne sont pas mentionnés sur les cartes cantonales de dangers. La carte des dangers naturels sur le serveur de l'AfU de Soleure ne comporte que des événements de crue à plus grande distance du site. Les inondations externes sont traitées au chapitre 3.5. Le canal d'amenée long de 4.8 km de la centrale hydro-électrique de Gösgen se compose en partie d'une tranchée et d'un remblai, et est considéré comme stable et en grande partie étanche depuis sa réalisation en 1917. Cependant, à titre conservatif, une rupture de digue a été prise en considération dans les scénarios d'inondation (voir au chapitre 3.5.2.7).

Séisme

Le risque de vibrations induites par des séismes a été présenté au chapitre 3.6.3. Il est considéré comme certain que le site se trouve dans une zone avec une faible activité sismique. De plus, il n'y a pas dans la région de zone d'accidents connue, qui pourrait constituer un risque sismotectonique pour le site de la CNN (chapitre 3.6.4 et chapitre 3.6.5.2).

De plus, l'aléa sismique est important en rapport avec des risques de rupture de barrage. La preuve de la sécurité parasismique du canal d'amenée de la centrale hydro-électrique de Gösgen n'est pas apportée ici. Dans le cadre du choix des options du système de refroidissement auxiliaire, nous partons du principe qu'une alimentation en eau de refroidissement à partir du canal d'amenée ne serait pas disponible en cas de séisme déterminant pour la sécurité.

La combinaison d'évènements séisme/rupture de digue a été étudiée par des calculs numériques d'inondation au chapitre 3.5.2.7 (voir au tableau 3.5-8 et prise en compte dans les conclusions relatives à la sécurité de l'aire principale contre les crues.

Surface Faulting

Le risque éventuel de mouvements différentiels en surface dus à un évènement sismique le long des failles a été étudié et discuté aux chapitres 3.6.4.3 et 3.6.5.2. En raison des propriétés sismotectoniques et géométriques, aucun des accidents reconnus dans le socle et plus en surface n'est en mesure de déclencher des mouvements différentiels du sous-sol sur le site.

Érosion

En raison de la topographie plate et des caractéristiques de terrain favorables, seul le risque d'érosion lié à l'écoulement des rivières est d'importance sur le site. Le potentiel d'érosion des rives est évalué au chapitre 3.5.2.7. sur la base des contraintes de cisaillement du lit de rivière, calculées par méthode numérique. Le risque dû à l'érosion des berges est limité à des endroits locaux sur les parties extérieures des méandres de l'Aar et peut être traitée par des mesures architecturales. L'aire du projet n'est pas concernée par ce risque.

D'autres processus d'érosion comme par exemple le vent ou la lixiviation chimique dans le sous-sol (subrosion) peuvent être exclus. De même, l'érosion à grande échelle (= dénudation) est considérée comme insignifiante, du moins jusqu'à la prochaine période glaciaire.

Glissements de terrain

Le risque de glissement de terrain et d'instabilités de pentes dus à des causes géologiques est globalement faible dans la plaine. Des événements tels que les chutes de pierres, les avalanches et les éboulements rocheux peuvent être complètement exclus en raison des caractéristiques topographiques du site. Un léger risque de glissements de rive le long de la bordure de l'Ancienne Aar constitue l'exception (voir aussi au chapitre 1.1). Un tel événement de faible profondeur toucherait la zone de protection des rives et pourrait à tout moment être traité par des mesures correctives.

Suivant la carte des dangers naturels du canton de Soleure (SOGIS 2008), les cas les plus proches de glissements de terrain se trouvent le long du versant méridional au niveau de Gretzenbach ainsi que sur le Haut Jura Plissé au niveau d'Erlinsbach et de Lostorf. Les caractéristiques géologiques et topographiques correspondantes ne sont pas comparables à celles du site et de ses environs.

Les déclarations ci-dessus concernant l'érosion et les glissements de terrain sont également valables en cas d'événement sismique.

Changement du sol

Différents processus pouvant entraîner un changement durable de la structure du sol sont abordés ici. En font partie le compactage, la liquéfaction, les processus de liquéfaction de dilatation/d'hydratation et les processus chimiques de dissolution (la subrosion comme cas particulier de l'érosion). Parmi les événements possibles mentionnés ici, seule la liquéfaction du sol est d'importance et doit être traitée comme tel dans les investigations du terrain. Théoriquement, ce phénomène peut se produire, en cas d'évènement sismique, dans des couches de sables fins saturées d'eau et meubles. Cet aspect a été étudié au chapitre 3.6.6.3. Le potentiel de risque correspondant sur le site est considéré comme très faible. Les roches gonflantes, variables ou solubles (anhydrite, sel de gemme et similaires) n'existent pas aux profondeurs considérées du sous-sol.

3.6.10 Perspective

On peut exclure tout bouleversement géologique au cours des prochains siècles et millénaires. Il n'y a pas, dans les environs, de processus géologiques actifs connus, qui pourraient provoquer une modification de l'état géodynamique actuel. Le volcanisme, un événement géologique rare, ne représente aucun risque dans la région. L'activité volcanique la plus récente a eu lieu il y a 7 millions d'années dans la région de Hegau et est considérée comme éteinte depuis lors.

Les effets anthropogènes généralement limités à des couches proches de la surface (activités de construction, carrières, décharges, remblais) n'ont pas d'influence sur la stabilité du terrain. Dans le secteur, il ne faut pas s'attendre à des processus naturels d'altération (subrosion du sel gemme et de l'anhydrite), à des activités minières, à la production pétrolière, à la géothermie et des activités similaires qui peuvent entraîner un déséquilibre géotechnique capable de provoquer un accident souterrain et d'éventuels affaissements à la surface.

Les propriétés des sols ne subiront pas non plus de modification à long terme.

En résumé, on peut conclure que les propriétés de l'aire du projet de la CNN ne sont pas compromises par des changements à long terme (géologiques ou anthropogènes). On peut anticiper une stabilité géologique jusqu'à la prochaine période glaciaire. Cette durée est vraisemblablement de deux ordres de grandeur supérieur à celle, d'environ 60 ans, prévue pour l'exploitation de la centrale nucléaire.

3.7 Raccordement de la CNN au réseau électrique

Dans les centrales nucléaires, il doit être possible à tout moment de mettre le réacteur dans un état de sécurité sous-critique et de maintenir cet état de sécurité à long terme.

Pour ce faire, différents systèmes de sécurité sont utilisés avec un certain besoin en énergie qui doit être assuré à tout moment par une alimentation.

A un premier niveau, ceci est garanti par raccordement à un réseau externe avec une sécurité d'approvisionnement aussi élevée que possible. Indépendamment de cette possibilité, des systèmes supplémentaires sont disponibles à d'autres niveaux pour couvrir les besoins en énergie, notamment des systèmes électrogènes de secours internes (cfr. chapitre 3.7.3 et chapitre 3.7.4) qui assurent la couverture des besoins propres des systèmes de sécurité.

3.7.1 Puissance électrique fournis dans le réseau existant sur site

3.7.1.1 Réseau existant sur le site de la CNN

Du point de vue du raccordement au réseau électrique, le site de la CNN est très approprié pour un projet de centrale nucléaire. Les sous-stations Gösgen 380 kV et Gösgen 220 kV sont des nœuds de réseau importants dans le réseau électrique suisse à haute tension. En outre, les deux nœuds de réseau sont reliés par un transformateur de couplage de 380/220 kV. Dans la proximité immédiate, la centrale nucléaire de Gösgen (KKG) et la centrale hydro-électrique de Gösgen (WKW) alimentent leur production d'électricité dans les deux réseaux.

Les lignes 380 kV Gösgen-Mettlen 1, Gösgen-Mettlen 2, Gösgen-Laufenburg et Gösgen-Asphard passent par la sous-station de Gösgen et reçoivent la puissance générée par la KKG.

De plus, la sous-station Gösgen est reliée par le jeu de barres 220 kV avec les sous-stations d'Ormingen, de Laufenburg, de Flumental, de Sursee et de Mettlen. La centrale hydro-électrique de Gösgen alimente sa production dans le réseau 220 kV par les deux transformateurs de 220/50 kV de la sous-station de Gösgen.

3.7.1.2 Intégration de la CNN dans le réseau existant

Les schémas généraux mentionnés dans les chapitres suivants (figure 3.7-1 et figure 3.7-2) montrent les schémas généraux du raccordement de la CNN aux installations de commutation 380 kV et 220 kV qui seront alors mises en place et protégées par des enceintes dans le cadre de la rénovation du réseau à haute tension (sous-station Gösgen 380 kV et sous-station Gösgen 220 kV). Les autres installations représentées sur les schémas généraux (figure 3.7-1 et figure 3.7-2) sont soumises à la planification continue des propriétaires de réseau respectifs, avec la conséquence de modifications supplémentaires ultérieures.

Essentiellement, on peut retenir qu'en plus de l'alimentation de la puissance nette de 970 MW par la KKG, une puissance électrique supplémentaire de la CNN pouvant s'élever à 1'920 MW peut être transportée sans problème via le réseau existant de 380 kV. Des études effectuées ont montré que les mesures de renforcement du réseau entre la sous-station 380 kV de Gösgen et la sous-station 380 kV de Mettlen, planifiées indépendamment du projet de la CNN, permettront de transporter une puissance totale d'environ 2'900 MW. De plus, il est possible d'exploiter une ligne de 220 kV existante entre Gösgen et Mettlen également à un niveau de tension de 380 kV. Ces mesures permettraient d'augmenter considérablement les réserves de réseau avec peu d'effort.

Dans le cadre du renouvellement de l'installation de commutation 380 kV à Gösgen, il est prévu d'exécuter l'installation avec un double jeu de barres et un jeu de barres de transfert (figure 3.7-1 et figure 3.7-2, pos. a) ce qui représente une amélioration de la situation actuelle de la KKG. La nouvelle installation de commutation 380 kV ne fait pas partie du projet de la CNN, mais sera plus tard aussi utilisée pour le raccordement de l'installation au réseau électrique.

En exploitation normale, la KKG et la CNN prévue n'alimentent pas le même jeu de barres; la KKG alimente p. ex. le jeu de barres SS1, et la CNN prévue le jeu de barres SS2. Les deux jeux de barres sont reliés par des disjoncteurs de couplage. Le jeu de barres de transfert combiné avec les disjoncteurs de couplage sert uniquement à déconnecter sans perturbation des composants défectueux et à des fins de maintenance.

Les circuits décrits ci-dessus avec les deux jeux de barres et les disjoncteurs de couplage veillent à ce que les deux unités de centrale de la KKG et de la CNN puissent être séparées localement en cas d'incidents dans le réseau 380 kV par l'ouverture des disjoncteurs de couplage.

3.7.1.3 Incidents sur le jeu de barres 380 kV à Gösgen

La répartition sur deux jeux de barres comme décrite permet d'exclure par la conception la défaillance de toute l'installation de commutation 380 kV par suite d'un incident sur l'un des jeux de barres. Le système de protection est en mesure de reconnaître le jeu de barres défectueux, de le désactiver et d'ouvrir les disjoncteurs de couplage entre les deux jeux de barres SS1 et SS2. Avec la disposition choisie pour les jeux de barres pour la KKG et la CNN, ainsi que les quatre lignes de départ, le transport d'énergie est toujours assuré pour au moins une unité de centrale. La perte peut atteindre 1'920 MW, ce qui ne constitue aucun problème pour le réseau de transport. L'interruption de l'alimentation par une unité de centrale n'a pas d'influence sur l'autre unité de centrale en raison de la possibilité de séparer les jeux de barres.

A l'exception du nœud d'alimentation, les deux unités de centrale de la KKG et de la CNN sont complètement indépendantes et autonomes. Le déclencheur possible pour un délestage de charge simultané des deux blocs de centrale est une défaillance simultanée des disjoncteurs de couplage SS et des sectionneurs longitudinaux SS durant l'activation de la protection des jeux de barres. La probabilité d'un déclenchement de la protection des jeux de barres en combinaison avec une défaillance des disjoncteurs de couplage SS et des sectionneurs longitudinaux SS est quand-même extrêmement faible. Cette thématique sera traitée plus en détail dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire de la CNN.

3.7.1.4 Évaluation

L'énergie des deux unités de centrale de la KKG et de la CNN peut être transporté en toute sécurité à partir du nœud de Gösgen. Un incident dans l'installation de commutation 380 kV de Gösgen entraîne, dans le plus défavorable des cas, l'isolation d'une unité de centrale (par rapport au réseau externe). Ceci n'a pas d'influence notable sur le réseau, et l'exploitation ultérieure de la deuxième unité de centrale n'est pas touchée.

Une défaillance complète des deux jeux de barres est extrêmement peu probable, mais sera quand-même traitée de manière approfondie dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

3.7.2 Assurer l'alimentation pour les besoins propres de la CNN par des réseaux externes

L'alimentation pour les besoins propres de la nouvelle unité de centrale de la CNN est assurée par des réseaux externes équivalente à la solution pour la centrale de la KKG. On distingue les modes d'exploitation suivants:

3.7.2.1 Exploitation normale de la CNN

En exploitation normale, pour la 1^{ère} solution de raccordement au réseau, l'énergie requise pour les besoins propres (figure 3.7-1, pos. d) est alimentée via le transformateur (figure 3.7-1, pos. c) par le jeu de barres du générateur (figure 3.7-1, pos. b). Pour la 2^e solution de raccordement au réseau, l'énergie requise pour les besoins propres (figure 3.7-2, pos. d) est alimentée via le transformateur (figure 3.7-2, pos. c) et après transformation (tension du générateur à 380 kV) par le niveau de tension de 380 kV côté sortie du transformateur principal (figure 3.7-2, pos. b).

3.7.2.2 La CNN hors service: ligne 380 kV dans l'installation de commutation de Gösgen en service

Dans ce mode d'exploitation, pour la 1^{ère} solution de raccordement au réseau, l'énergie requise pour les besoins propres est également alimentée par le jeu de barres du générateur, via le transformateur (figure 3.7-1, pos. c). Le transport d'énergie s'effectue à partir de l'installation de commutation de Gösgen 380 kV via le transformateur de machines (figure 3.7-1, pos. e).

Pour la 2^e solution de raccordement au réseau, l'énergie requise pour les besoins propres est alimentée par le jeu de barres 380 kV et le transformateur (figure 3.7-2, pos.c). Le transport d'énergie s'effectue à partir de l'installation de commutation Gösgen 380 kV vers le jeu de barres 380 kV de la CNN.

Le nœud de 380 kV de Gösgen a une capacité de sortie (puissance pouvant être prélevée du réseau au nœud mentionné) de l'ordre de grandeur de la puissance de la centrale CNN prévue. Cette capacité de sortie est de loin supérieure aux besoins propres éventuellement simultanément nécessaires des deux unités de centrale de la KKG et de la CNN (environ 10 à 100 MW). La charge pour le nœud 380 kV de Gösgen est donc faible.

3.7.2.3 La CNN hors service: ligne 380 kV dans l'installation de commutation de Gösgen hors service

Si le raccordement 380 kV n'est pas en service, par exemple en raison de travaux de révision, l'alimentation pour les besoins propres est effectuée par une ligne 220 kV supplémentaire (figure 3.7-1 et figure 3.7-2, pos. f) à partir de l'installation de commutation Gösgen 220 kV. L'énergie est acheminée vers le jeu de barres pour les besoins propres après transformation de 220 kV à la tension des besoins propres (figure 3.7-1 et figure 3.7-2, pos. g).

En cas de nécessité, la commutation de l'alimentation du niveau de tension 380 kV au niveau 220 kV est effectuée automatiquement. Le nœud de 220 kV de Gösgen a une capacité de sortie d'environ 2000 MW.

La couverture des besoins propres des deux unités de centrale de la KKG et de la CNN (environ 10 - 100 MW) ne signifie donc qu'une charge très légère pour le nœud de Gösgen 220 kV.

3.7.2.4 Évaluation

Le site de la CNN/Gösgen, point nodal dans le réseau à haute tension suisse, peut être considéré comme très approprié du point de vue d'alimentation fiable pour la couverture des besoins propres d'une centrale nucléaire. L'alimentation est assurée par les deux niveaux de tension du réseau à haute tension suisse (niveaux du réseau de transport) avec ses disponibilités élevées.

En cas de perte de la totalité de l'alimentation externe, on aura recours aux systèmes électrogènes de secours internes, qui seront décrits en détail au chapitre 3.7.3.

Rapport de sécurité pour la CNN

-3.7 Raccordement de la CNN au réseau électrique-

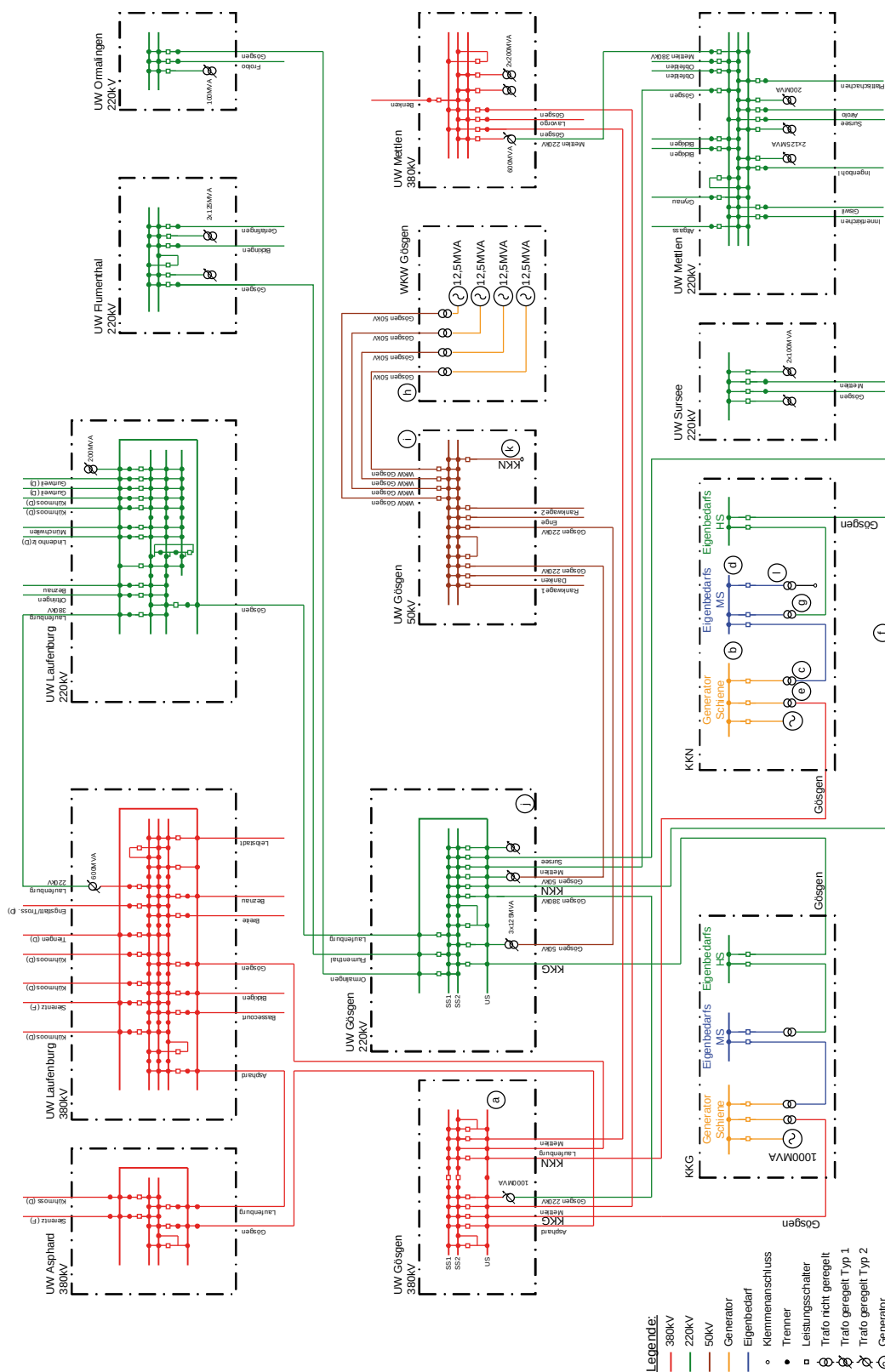


Figure 3.7-1

Schéma général de la 1ère solution de raccordement au réseau électrique (380 kV et 220 kV)

Rapport de sécurité pour la CNN

-3.7 Raccordement de la CNN au réseau électrique-

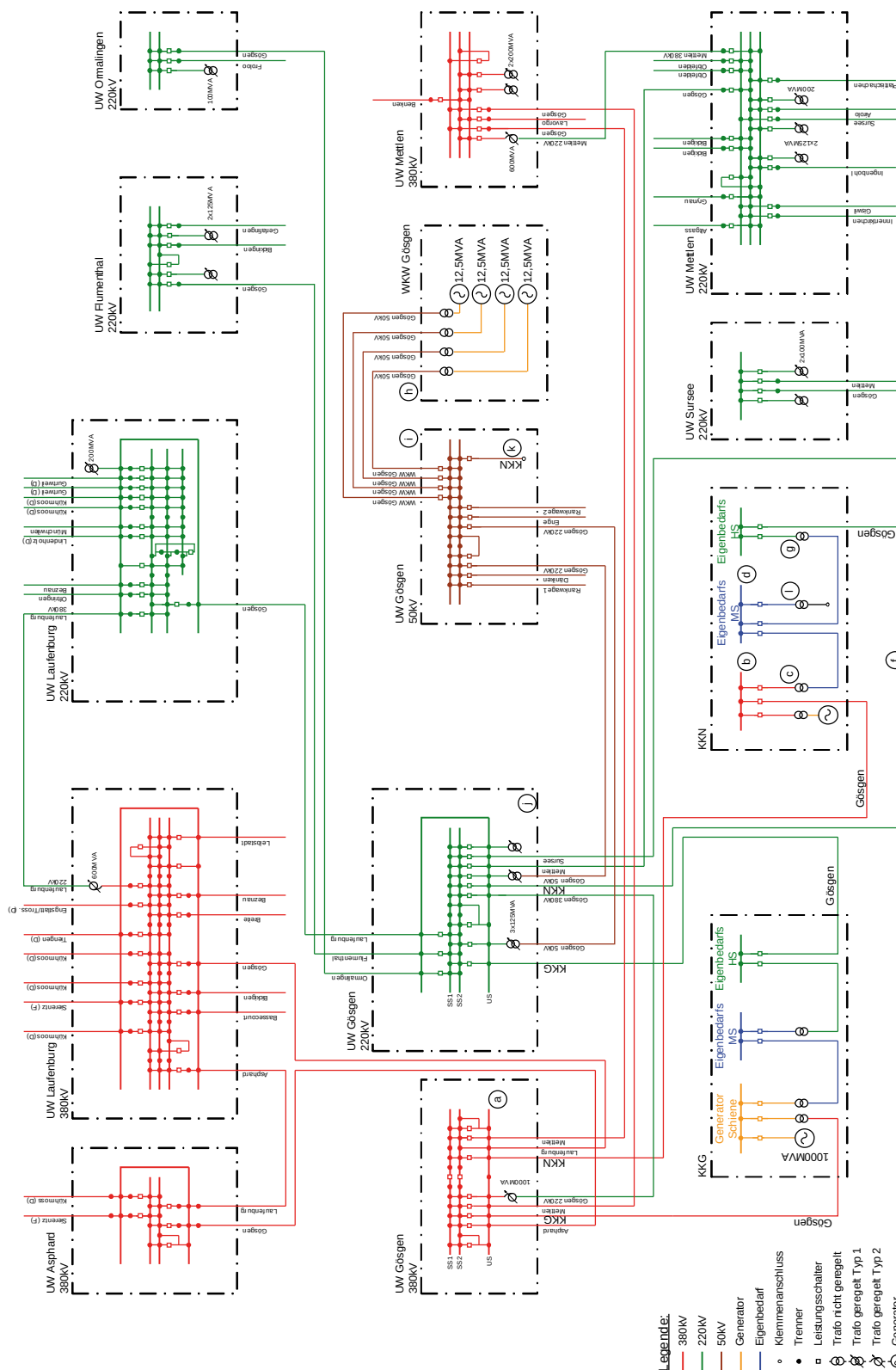


Figure 3.7-2 Schéma général de la 2^e solution de raccordement au réseau électrique (380 kV et 220 kV)

3.7.3 Assurance de l'alimentation pour les besoins propres de la CNN en cas de perte totale des réseaux externes

3.7.3.1 Exploitation en mode d'alimentation de secours/exploitation à court et à moyen terme de la CNN

Si, par un enchaînement de plusieurs incidents, les deux niveaux de tension 380 kV et 220 kV ainsi que le fonctionnement en îlot avec le système turbine-générateur interne ne sont plus disponibles, l'alimentation des systèmes importants du point de vue de la sécurité est assurée par l'alimentation électrogène de secours interne à l'installation. La mise en fonctionnement de l'installation électrogène de secours et la mise en opération séquentielle des consommateurs nécessaires pour l'arrêt en sécurité de l'installation s'effectuent de manière automatique. Plusieurs lignes redondantes et séparées spatialement sont disponibles, chacune d'elles étant équipée d'un système électrogène de secours.

L'ensemble du système électrogène de secours est conçu de manière redondante selon le principe (n+2). Ainsi, une erreur sur une ligne pendant des travaux de maintenance sur une autre ligne peut à tout moment être maîtrisée. Le système électrogène de secours alimente tous les systèmes de sécurité (y compris les consommateurs importants pour la sécurité), qui sont nécessaires pour permettre un arrêt en sécurité du réacteur et pour évacuer la chaleur résiduelle décroissante et la chaleur accumulée (refroidissement à l'arrêt).

Selon le type de réacteur, dans certains cas d'autres protections sont prévues. En cas de perte totale de tous les systèmes électriques principaux et de tous les systèmes électrogènes de secours, les systèmes de sécurité les plus importants sont alimentés en courant par des dispositifs électrogènes de secours supplémentaires (système d'alimentation en courant d'urgence).

3.7.3.2 Évaluation

La conception et l'évaluation des systèmes électrogènes de secours pour la CNN sont spécifiques pour l'installation et seront discutés dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

3.7.4 Régime d'alimentation de secours/exploitation à long terme de la CNN

3.7.4.1 Couverture des besoins propres de la CNN par la centrale hydro-électrique de Gösgen

Si l'alimentation pour les besoins propres de la CNN par les niveaux de tension externes 380 kV et 220 kV ne peut pas être rétablie pendant une longue période, et si la centrale hydro-électrique de Gösgen est encore en service, il est possible d'assurer l'alimentation directement à partir de la centrale hydro-électrique de Gösgen. Celle-ci n'est certes pas conçue de manière parasismique, mais reste disponible dans la plupart des cas d'incidents considérés dans les études conceptuelles.

Pour la couverture des besoins propres de la CNN, deux générateurs de la centrale hydro-électrique (figure 3.7-1 et figure 3.7-2, pos. h) sont directement raccordés à la CNN par une connexion spéciale. La connexion spéciale sera réalisé comme suit: la centrale hydro-électrique de Gösgen alimente l'installation de commutation 50 kV de la sous-station de Gösgen (figure 3.7-1 et figure 3.7-2, pos. i). L'installation de commutation 50 kV est raccordée par deux transformateurs de 125 MVA (figure 3.7-1 et figure 3.7-2, pos. j) à l'installation de commutation 220 kV de Gösgen. Tous les consommateurs externes sont désactivés dans l'installation de commutation 220 kV. Le transport d'énergie de l'installation de commutation 220 kV de Gösgen à la CNN est effectuée via une ligne 220 kV (figure 3.7-1 et figure 3.7-2, pos. f). En cas de nécessité, des dispositifs identiques sont déjà aujourd'hui disponibles pour la KKG.

La connexion décrite peut être établi en 48 heures et garantit une alimentation électrique de secours permanente et indépendante de combustible des deux unités de centrale de la KKG et de la CNN de 12 MW au moins (sur la base d'un débit particulièrement faible de l'Aar de 80 m³/s, cfr. chapitre 3.5.2.3). La puissance garantie est suffisante pour l'alimentation en électrique de secours de la KKG existante ainsi que pour la CNN prévue, les besoins propres des centrales étant réduits au minimum. Cette option renforce la qualification particulière du site.

En cas d'indisponibilité de l'installation de commutation 220 kV de Gösgen en raison d'un séisme, une connexion séparée directe est établie en quelques jours de la sous-station 50 kV de Gösgen (figure 3.7-1 et figure 3.7-2, pos. k) vers l'installation des besoins propres d'électricité de la CNN et y est transformée au niveau de tension requis.

La centrale hydro-électrique n'est pas disponible pour tous les cas d'incidents considérés dans les études conceptuelles (séismes). Toutefois, elle améliore la sécurité d'exploitation dans une approche probabiliste. Une clarification détaillée à ce sujet sera l'objet des travaux dans le cadre de la demande d'autorisation de construire.

Pour l'option susmentionnée d'alimentation à partir de la sous-station 50 kV de Gösgen, un transformateur approprié est prévu dans l'installation des besoins propres d'électricité de la CNN (figure 3.7-1 et figure 3.7-2, pos. l).

3.7.4.2 Autre possibilité de couverture des besoins propres de la CNN

Une autre possibilité alternative d'approvisionnement sur le site de la CNN est la ligne à haute tension de 110 kV qui traverse l'aire du projet à partir de la sous-station d'Oberentfelden.

3.7.4.3 Évaluation

Par la présence de la centrale hydro-électrique voisine de Gösgen et la ligne à haute tension de 110 kV, le site de la CNN dispose d'autres bonnes possibilités de couverture fiable de ses besoins propres, même en cas de perte prolongée des réseaux de 220 kV et 380 kV.

3.7.5 Aperçu des scénarios de recours possibles

En fonction de l'événement déclencheur, différents scénarios de recours aux différents systèmes d'alimentation sont disponibles. La présentation synoptique suivante montre l'ordre des recours aux systèmes d'alimentation pour les événements indiqués dans le tableau 3.7-1. La disponibilité effective des différents systèmes d'alimentation est ici soumise à une évaluation qualitative, mais n'est pas traitée de manière définitive, étant donné que l'étendue resp. l'intensité de l'événement déclencheur ne sont pas abordées. Ceci sera l'objet des travaux qui seront effectués dans le cadre de la demande d'autorisation de construire.

Explication au sujet du tableau 3.7-1: "1" correspond au premier niveau de recours, le chiffre le plus élevé dans la série de l'événement externe respectif représente le dernier niveau de recours. De plus, les niveaux de recours qui ne sont pas disponibles en raison d'événements externes sont marqué par un "-". La disponibilité d'un niveau de recours représentée avec un "1" mis en indice n'est pas toujours garantie en raison d'un événement externe.

Rapport de sécurité pour la CNN

-3.7 Raccordement de la CNN au réseau électrique-

Tableau 3.7-1 Scénarios de recours de l'alimentation en courant

Événement externe	Renvoi (tableau 3.1-1, chapitre 3.1.1)	Exploitation normale (livraison de courant)	Réseau 380 kV (alimentation en électricité)	Réseau 220 kV (alimentation en électricité)	Le fonctionnement en îlot, uniquement si la fonctionnalité est garantie	Alimentation électrogène de secours (minimum 100 %)	Alimentation électrogène de secours (si disponible)	Centrale hydro-électrique de Gösgen (à long terme)
Séisme (SSE) avec des glissements de terrain, des détournements de cours d'eau	3.6	-	-	-	-	1	2	-
Vents extrêmes, y compris les tornades	3.4	0 ₁	1 ₁	2 ₁	3	4	5	6 ₁
Inondation externe	3.5	0 ₁	1 ₁	2 ₁	3	4	5	6 ₁
Chute d'avion, y compris des débris et incendie de carburant	3.3	-	1 -	- 1	2	3	4	5
Sécheresse	3.4, 3.5	0	1	2	3	4	5	6
Incendie de forêt	3.3	0	1	2	3	4	5	6
Hautes températures d'été	3.4	0	1	2	3	4	5	6
Givrage	3.4, 3.5	0	1	2	3	4	5	6
Accidents dans les installations industrielles ou militaires	3.3	0 ₁	1 ₁	2 ₁	3	4	5	6 ₁
La foudre	3.4	0	1	2	3	4	5	6
Rivière - Etiage	3.5	0	1	2	3	4	5	6
Faibles températures en hiver	3.4, 3.5	0	1	2	3	4	5	6
Pipeline - Accident	3.3	0 ₁	1 ₁	2 ₁	3 ₁	4	5	6 ₁
Rejet de substances chimiques sur le terrain d'installation	3.3	0	1	2	3	4	5	6
Bouchage des grilles d'entrée et des filtres d'admission par les objets transportés par la rivière (comme par exemples des troncs d'arbres, des branches, des feuilles, des coquilles, des algues etc.)	3.5	0	1	2	3	4	5	6
Neige (amas de neige)	3.4	0	1	2	3	4	5	6
Accidents de circulation/de transport	3.3	0 ₁	1 ₁	2 ₁	3	4	5	6 ₁

Le tableau 3.7-1 montre entre autres que pour l'alimentation fiable des systèmes de besoins propres de la CNN, les réseaux à haute tension ne doivent pas impérativement être disponibles. En cas de perte des alimentations d'exploitation externes pour la CNN en raison d'un des événements externes spécifiés plus haut, une ou plusieurs autres possibilités d'alimentation sont disponibles, comme par exemple le fonctionnement en îlot, les groupes électrogènes de secours internes et redondants et la centrale hydro-électrique de Gösgen. Comme il ressort encore clairement du tableau 3.7-1, la centrale hydro-électrique de Gösgen est disponible en cas d'un très grand nombre d'événements externes

3.8 Évaluation récapitulative des caractéristiques du site, y compris les combinaisons d'évènements

3.8.1 Géographie et répartition de la population

La distribution de la population autour du site de la CNN a été actualisée sur la base des chiffres les plus récents. Par rapport à la situation en 2002, il y a une tendance à l'augmentation de la population. Il n'y a toutefois pas de nouveaux centres d'agglomération, d'hôpitaux, de foyers, d'écoles, etc. dans le voisinage immédiat de la CNN.

La distribution de la population autour du site est importante pour l'évaluation des conséquences de la CNN sur l'environnement (voir le rapport d'impact sur l'environnement KKN 2008c). Avec le raccordement aux voies de communication et les caractéristiques de propagation dans l'atmosphère, elle est aussi importante pour l'évaluation de la faisabilité du plan d'urgence. Pour les réacteurs de la 3^e génération qui entrent en ligne de compte pour la CNN, les rejets radioactifs sont très limités même en cas de défaillance grave, de telle sorte que les conséquences se limiteraient à la zone proche.

En raison de l'infrastructure existante de protection civile et de la population, l'évacuation verticale est possible partout en Suisse. En ce qui concerne les discussions sur une éventuelle évacuation horizontale, le site dispose de voies de communication performantes à l'intérieur et à l'extérieur de la zone 1, qui permettent de quitter rapidement cette zone.

En résumé, le site de la CNN peut être considéré comme approprié du point de vue des mesures de protection d'urgence également.

En ce qui concerne l'exploitation des terres agricoles, on peut exclure quasi totalement qu'il soit nécessaire de prendre des mesures de limitation de la consommation de denrées alimentaires en cas de défaillance de l'installation. Après un incident avec une émission de substances radioactives, les denrées alimentaires produites à proximité de l'installation seraient contrôlées, pour savoir si elles peuvent être distribuées pour la consommation ou doivent éventuellement être retirées de la consommation.

L'évolution du nombre d'habitants et de la densité de la population ainsi que de l'exploitation du sol ne compromet pas l'aptitude ultérieure du site.

3.8.2 Voies de communication, entreprises, installations de canalisation, forêts

Les conséquences sur la CNN d'incidents sur les voies de communication adjacentes (y compris pour le transport aérien), dans des entreprises et des installations de canalisation ainsi que le risque d'incendie de forêt ont été étudiées.

Les incendies ou explosions suite à une fuite des matières volatiles telles que l'essence ou le propane depuis des wagons ou camion citernes, de réservoirs de stockage ou de gaz naturel provenant de canalisations à haute pression ainsi que le rejet de substances toxiques et les incendies de forêts n'entraînent pas de risques qui pourraient remettre en question l'aptitude du site de la centrale nucléaire prévue dans le Niederamt ou exiger des mesures de protection particulières.

Dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, les conséquences de rejets de chlore, de propane et de gaz naturel à inflammation retardée ainsi que la pénétration de gaz dans le bâtiment de la CNN seront étudiés dans le cadre d'analyses de risques.

L'aptitude du site de la CNN n'est donc pas non plus affectée par ce type d'événements.

Indépendamment des fréquences de chutes sur le site, la CNN est conçue de manière déterministe contre les chutes d'avions. Les exigences relatives à la protection de l'installation en cas de chutes d'avions sont définies dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

Dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, les changements intervenus entre-temps concernant les voies de communication et les entreprises avoisinantes seront pris en considération.

Plus tard, en cas de réalisation des modifications prévues, de réaménagement des voies de communication routières et ferroviaires ou de changement dans les entreprises situées à proximité de la CNN, les maîtres d'ouvrage respectifs et les autorités compétentes devront prendre en considération les conséquences potentielles sur l'exploitation et la sécurité des installations de la CNN.

Dans le cadre de la conception de la protection contre les chutes d'avions, les types d'avions militaires ou civiles en service au moment de la demande d'autorisation de construire seront pris en compte.

Même en tenant compte de l'influence potentielle par le changement climatique, les risques d'incendie de forêt restent très faibles sur le site.

3.8.3 Météorologie

Dans l'évaluation des conditions météorologiques, l'influence du vent (y compris les tornades), des précipitations (y compris la neige et la grêle), de la foudre et de la température de l'air a été prise en compte.

Les données météorologiques évaluées et les valeurs extrêmes ainsi déterminées sont comprises exclusivement dans le cadre de ce qui peut être pris en considération par les mesures habituelles de conception d'une installation de 3^e génération.

En ce qui concerne les conséquences de conditions météorologiques extrêmes, dans le cas plus défavorable, l'installation doit être arrêtée. Ceci serait simplement dû au fait que des dispositifs externes – comme p. ex. le raccordement au réseau – ont été endommagés par des orages violents, des objets volants, etc. La sécurité nucléaire de l'installation globale ne serait en aucun cas compromise.

En ce qui concerne les orages, il faut s'attendre en Europe centrale plutôt à une augmentation de leur fréquence. La fréquence d'orages très forts pourrait augmenter parallèlement. En règle générale, il faut s'attendre à un accroissement des conditions météorologiques extrêmes à l'avenir. D'après les études de scénarios avec des modèles climatiques, il faudra s'attendre en particulier à l'augmentation des températures extrêmes. Les conséquences sur l'installation nucléaire prévue doivent toutefois être classées comme très faibles et seront le cas échéant prises en considération lors de la conception de l'installation dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

3.8.4 Hydrologie

Pour la sécurité du site du point de vue hydrologique, les risques de crue sont déterminants. En particulier les événements extrêmes sont importants. À ce sujet, les événements de crue ont été analysés et les valeurs extrêmes ont été déterminées. La "plus grande crue probable" (PMF) a également été déterminée dans ce contexte. Les inondations pouvant résulter des crues extrêmes en combinaison avec des effondrements de ponts ainsi que des ruptures de digues et barrages ont été simulées à l'aide de modèles numériques. Sur la base des modélisations effectuées, la sécurité contre les crues sur le site de la CNN peut être réalisée dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

Les événements extrêmes d'étiage ont été étudiés à l'aide d'une analyse des valeurs extrêmes. Les résultats montrent que l'alimentation en eau du système de refroidissement auxiliaire et/ou l'alimentation en eau d'extinction est assurée dans tous les cas.

Des analyses de valeurs extrêmes aussi bien pour les températures les plus élevées que pour les plus basses températures de l'eau de rivière ont également été réalisées. Lors de la sélection des options d'eau de refroidissement auxiliaire effectuée dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, il sera clarifié dans quelle mesure les valeurs extrêmes de la température de l'eau de rivière peuvent être prises en compte de manière déterministe, en tenant compte des systèmes diversitaires.

Le site de la CNN se trouve dans le secteur de protection des eaux. L'aquifère se caractérise par une transmissivité élevée et un débit important. Même dans des conditions météorologiques extrêmes, le niveau des eaux souterraines influencé par l'eau de surface ne peut s'abaisser que faiblement.

Un prélèvement des eaux souterraines pour les cas d'urgence et/ou l'alimentation en eau d'extinction de la CNN est possible sans que le prélèvement d'urgence de la CNG subisse une influence significative en terme de sécurité. L'interférence induite par un prélèvement des eaux souterraines en cas d'urgence à la CNG et la CNN sera traitée en détail dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire, lorsque tous les critères et conditions-cadres seront établis.

Dans l'ensemble, les répercussions du projet de construction et des ouvrages sur les écoulements souterrains et l'exploitation des nappes phréatiques peuvent être considérées comme très faibles voire insignifiants. Ces aspects sont traités de manière détaillée dans le rapport relatif à l'étude de l'impact sur l'environnement.

3.8.5 Géologie

La sécurité à long terme, du point de vue géologique, est déterminée d'une part par des processus géodynamiques continus et d'autre part par la stabilité du massif.

Selon la carte des risques sismiques de la Suisse, le site de la CNN se trouve dans un secteur avec un faible aléa sismique. Du point de vue sismotectonique, le Plateau suisse, le Jura plissé et le Jura tabulaire se trouvent à l'intérieur d'une plaque continentale, au sein de laquelle les tremblements de terre qui s'y produisent sont majoritairement faibles à moyens.

Pour estimer les conséquences de séismes proches de la surface (vibrations, mouvements différentiels du sol et affaissements), des vérifications sismotectoniques régionales et locales ont été effectuées. Toutes les grandes failles et celles de surface et du socle détectables par la sismique réflexion ont été répertoriées dans un catalogue et étudiées du point de vue de leur potentiel sismique. On peut conclure de l'étude que pour le site, l'aléa sismique résultant de ces accidents – vibrations du sol et mouvements différentiels induits par les séismes (surface faulting) – est bien connu et peut être considéré comme très faible. Les failles observées et suspectées à proximité du site (comme p. ex. la structure de Froburg) à des profondeurs accessibles de moins de 3 kilomètres ne possèdent toutes qu'une extension limitée et ne peuvent donc déclencher qu'un séisme de faible magnitude. De plus, aucune des structures n'est orientée de manière à affecter le plan horizontal de l'installation prévue, même dans le cas d'une hypothétique ouverture de la faille jusqu'en surface. Les structures significatives comme la zone de Fribourg sont très éloignées et n'ont également qu'un faible potentiel de risque sismique pour le site. Pour les failles profondes de la croûte terrestre qui sont inaccessibles à l'exploration, les modèles PEGASOS et les conclusions qui en résultent restent valides jusqu'à la publication des résultats du projet en cours PRP.

La faible activité sismique sur le site se reflète dans les observations faites pendant l'exploitation de la centrale nucléaire voisine de Gösgen. Au cours de la durée d'exploitation d'environ 30 ans, seuls quatre séismes de faible magnitude ont été enregistrés ; les accélérations mesurées étaient de l'ordre de 0.001 g. Pour affiner davantage la base de données expérimentale pour la caractérisation sismotectonique du site de la CNN, un réseau de sismographe de précision pour

les faibles magnitudes est mis en place dans un rayon de 10 km. À l'avenir les événements sismiques les plus faibles pourront ainsi être également enregistrés.

Dans le cadre du projet PRP, des investigations géologiques étendues ont été effectuées sur les sites de Gösgen et de la CNN au cours de la période de 2008 à 2009. Celles-ci étaient composées de forages, de sismique à haute résolution, d'essais en forage et d'un programme en laboratoire. Les résultats de ces études montrent que la structure géologique ainsi que les caractéristiques statiques et dynamiques des sites de la CNG et de la CNN sont pratiquement identiques en ce qui concerne l'aléa sismique, et confirment la qualification du sol pour le projet de construction de la CNN. Les graviers de la formation des alluvions de basse terrasse constituent une fondation solide. Un éventuel risque de liquéfaction du sol induite par un événement sismique dans d'éventuelles couches de sable intercalées a été déterminée par des études ciblées. Compte tenu de la haute densité des couches de sable isolées, qui a été déterminée par des tests in-situ et des essais triaxiaux cycliques, le potentiel de risque par la liquéfaction des sols est classé comme très faible.

Aussi bien les forages que les études sismiques à haute résolution n'ont mis aucune faille en évidence dans le substratum rocheux. Les cartes d'isohypses de la base du Quaternaire et du toit de la série d'Effingen-Member ne montrent pas non plus d'irrégularités resp. de failles avec un rejet > 5 m (limite de détection). Dans plusieurs forages, des dépôts compacts de la formation du minerai pisiforme (Eocène) ont été observés, y compris dans des fissures, dolines et des cavités karstiques du calcaire du Malm. Aucune cavité ouverte n'a été trouvée.

Pour le comportement dynamique du terrain pendant un séisme, les vitesses des ondes de cisaillement V_s dans le sous-sol sont de premier intérêt. Les caractéristiques dynamiques du sol et du rocher sur le site ont été évaluées en détail par diverses méthodes géophysiques et des essais en laboratoire. Elles sont considérées comme appropriées.

En résumé, on peut conclure en s'appuyant sur la base des données expérimentales disponibles que le sous-sol de la CNN est approprié pour la réalisation de fondations parasismiques sans problème particulier, le comportement dynamique du sol devant toutefois être pris en considération dans la conception de la centrale.

L'aire partielle Nord située au nord de l'Ancienne Aar doit être évaluée de manière différenciée en raison de sa position géologique en bord de vallée. En tant que terrain favorable, les graviers des alluvions de basse terrasse sont certes un élément favorable, mais ils disparaissent en biseau vers le nord-ouest, et font place à des sables limoneux provenant du bord septentrional. Du nord-ouest au sud-est, l'épaisseur des graviers augmente rapidement et la qualité du sol pour les bâtiments à fondation profonde s'améliore en conséquence.

Les conclusions suivantes peuvent être tirées de l'évaluation comparative des aires du projet pour la disposition des bâtiments :

- Les surfaces du site au sud de l'Ancienne Aar sont les plus aptes à accueillir les bâtiments prévus de la centrale nucléaire. Les caractéristiques géologiques et géotechniques de l'aire principale et de l'aire partielle Sud doivent être considérées comme adéquates et comparables à celles du site de la CNG voisine.

- L'aire partielle Nord située sur la rive gauche est appropriée pour les bâtiments prévus dans la variante de projet 1, à savoir les ouvrages du système de refroidissement principal sur la partie sud-est et différentes installations externes et auxiliaires sur les parties occidentale et septentrionale.

On peut exclure tout bouleversement géologique au cours des prochains siècles et millénaires. Aussi bien les processus géodynamiques que les caractéristiques des matériaux du sol ne connaîtront pas de changement à long terme. On ne s'attend pas non plus à des activités anthropogènes qui pourraient provoquer un accident du sous-sol (industrie minière, utilisation géothermique, etc.).

3.8.6 Raccordement de la CNN au réseau électrique

L'énergie des deux unités de centrales de la KKG et de la CNN peut être transporté en toute sécurité à partir du nœud de Gösgen. Un incident dans l'installation de commutation 380 kV entraîne, dans le plus défavorable des cas, l'isolation d'une unité de la centrale. Ceci n'a pas d'influence notable sur le réseau, et l'exploitation ultérieure de la deuxième unité de centrale n'est pas touchée.

Le site de la CNN/Gösgen, point nodal dans le réseau à haute tension suisse, est particulièrement approprié du point de vue de l'alimentation fiable pour la couverture des besoins propres d'une centrale nucléaire. L'alimentation est assurée par plusieurs niveaux de tension du réseau de transport suisse ainsi que par la proximité directe de la centrale hydro-électrique de Gösgen avec une disponibilité élevée.

La perte de la totalité de l'alimentation externe est maîtrisée par le principe (n+2) du système électrogène de secours redondant, qui peut aussi être soutenu à long terme par l'alimentation exclusive à partir de la centrale hydro-électrique de Gösgen, si celle-ci est disponible. L'intégration de la centrale hydro-électrique de Gösgen en tant que fournisseur d'énergie électrique dans les scénarios d'incidents de la KKG et de la CNN compte, à l'échelle européenne, parmi les particularités en matière de sécurité, ce qui souligne la qualification particulière du site de la CNN.

En fonction de l'événement déclencheur, différents scénarios de recours aux différents systèmes d'alimentation sont disponibles. Le tableau suivant présente une récapitulation qualitative de l'ordre des recours aux systèmes d'alimentation (base tableau 3.7-1).

Explication au sujet du tableau 3.8-1: "1" correspond au premier niveau de recours, le chiffre le plus élevé dans la série de l'événement externe respectif représente le dernier niveau de recours. De plus, les niveaux de recours qui ne sont pas disponibles en raison d'événements externes sont marqué par un "-". La disponibilité d'un niveau de recours représentée avec un "1" mis en indice n'est pas toujours garantie en raison d'un événement externe.

Rapport de sécurité pour la CNN

-3.8 Évaluation récapitulative des caractéristiques du site, y compris les combinaisons d'évènements-

Tableau 3.8-1 Aperçu des scénarios de recours de l'alimentation en courant

Événement externe	Exploitation normale (livraison de courant)	Réseau 380-kV (alimentation en électricité)	Réseau 220-kV (alimentation en électricité)	Fonctionnement en îlot, uniquement si la fonctionnalité est disponible	Alimentation électrogène de secours (minimum 100 %)	Alimentation électrogène de secours (si disponible)	Centrale hydro-électrique de Gösgen (à long terme)
Perte de (jusqu'à) 4 niveaux d'alimentation Séisme	-	-	-	-	1	2	-
Pipeline - Accident	0₁	1₁	2₁	3₁	4	5	6₁
Perte de jusqu'à 3 niveaux d'alimentation Vents extrêmes y compris les tornades, inondation externe, accidents dans des installations industrielles ou militaires, accidents de circulation/de transport	0 ₁	1 ₁	2 ₁	3	4	5	6 ₁
Perte de 1 niveau d'alimentation Chute d'avion y compris des débris et incendie de carburant	-	1	-	2	3	4	5
		-	1				
Bouchage des grilles d'entrée et des filtres d'admission	-	1	2	-	3	4	5
Pas de perte des niveaux d'alimentation Sécheresse, incendie de forêt, températures estivales élevées, givrage, foudre, rivière - étiage, températures hivernales basses, rejet de substance chimiques sur le terrain de l'installation, neige (amas de neige)	0	1	2	3	4	5	6

Le tableau 3.8-1 montre entre autres que pour l'alimentation fiable des systèmes de besoins propres de la CNN, les réseaux à haute tension ne doivent pas impérativement être disponibles. En cas de perte des alimentations d'exploitation externes pour la CNN en raison d'un des événements externes spécifiés plus haut, une ou plusieurs autres possibilités d'alimentation sont disponibles, comme par exemple le fonctionnement en îlot, les groupes électrogènes de secours internes et redondants et la centrale hydro-électrique de Gösgen. Comme il ressort encore clairement du tableau 3.8-1, la centrale hydro-électrique de Gösgen est disponible en cas d'un très grand nombre d'événements externes.

3.8.7 Combinaisons d'évènements

Après la procédure de sélection et d'exclusion effectuée au chapitre 3.1, les combinaisons suivantes d'évènements externes doivent être considérées plus en détail:

- Tremblement de terre avec
 - inondation externe (rupture de digue/de barrage)
 - glissement de terrain
 - étiage, jusqu'à la perte du canal d'amenée
 - détournement de cours d'eau
 - bouchage des grilles d'entrée et des filtres d'admission
 - incendie
 - accidents de circulation sur des voies de communication voisines, dans des entreprises et au niveau de pipelines
- Vents extrêmes/tornades avec
 - chute d'avion
 - foudre
- Inondation externe (crue/rupture de digue/de barrage) avec
 - érosion des berges
 - glissement de terrain
 - bouchage des grilles d'entrée et des filtres d'admission
- Conditions estivales particulièrement difficiles, avec
 - des températures élevées de l'air
 - des températures élevées de l'eau
 - la sécheresse
 - un faible débit/niveau d'eau de la rivière
 - un faible niveau des eaux souterraines

3.8.7.1 Combinaison de séismes avec des évènements externes induits par des séismes

Les exigences relatives à la conception parasismique de l'installation, resp. les spectres de dimensionnement seront définis dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

L'installation est conçue conformément aux exigences de conception parasismique fixées dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire. Elle peut donc être considérée comme à sécurité parasismique déterministe; ceci signifie que les fonctions de sécurité prises en compte dans le cadre du dimensionnement sont assurées pendant et après un séisme de sécurité (SSE), en tenant compte des redondances requises pour l'observation des critères de défaillance unique et de maintenance. L'installation peut être mise à l'arrêt en toute sécurité et rendu dans un état de sécurité à long terme.

Les événements consécutifs de séismes spécifiés au chapitre précédent peuvent être réunis en quatre groupes:

- Inondation externe (rupture d'une digue/d'un barrage)
- Glissement de terrain, étiage jusqu'à la perte du canal d'amenée, détournement de cours d'eau, bouchage des grilles d'entrée et des filtres d'admission: en résumé, il est postulé comme cas extrême que l'alimentation en eau de refroidissement auxiliaire n'est plus en état de fonctionnement. Suite à la conception parasismique des systèmes d'eau de refroidissement auxiliaire de l'installation de la KKG existante, avec une conception correspondante des structures d'entrée et en raison de la jonction avec l'Aar et les eaux souterraines, l'alimentation en eau de refroidissement auxiliaire à partir du canal de fuite est considérée comme à l'épreuve des séismes. Si dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire l'option de cellules frigorifiques sur le terrain est choisie, il ne sera plus nécessaire de procéder à des captages d'eau supplémentaires dans le canal de fuite. Les cellules frigorifiques optionnelles sont protégées contre le séisme de sécurité (SSE).
- Incendie
- Accidents sur des voies de communication voisines, dans des entreprises et au niveau de pipelines

Inondation externe (rupture d'une digue/d'un barrage)

L'installation, y compris les bâtiments et les systèmes protégés contre les séismes, sont protégés contre les crues en remblayant le terrain jusqu'à une hauteur telle que le terrain ne puisse pas être inondé dans les cas d'inondations externes qui doivent être pris comme hypothèses. Les ruptures de digues et de barrages font partie des inondations externes postulées; pour la hauteur de l'inondation, le fait que la rupture de digue ou de barrage ait été provoquée par un séisme ou une autre cause n'est pas essentiel.

Étant donné que l'installation est conçue de manière parasismique et que le terrain ne peut pas être inondé en cas de ruptures de digues et de barrages, la combinaison de ces deux événements n'a pas de répercussion supérieure à celle de chaque événement considéré séparément sur la sécurité de l'installation.

Perte de l'alimentation en eau de refroidissement auxiliaire provenant du canal d'amenée

Dans ce cas, les alimentations et les systèmes d'eau de refroidissement auxiliaires redondants et/ou diversitaires déterminants pour la sécurité sont utilisés. Au stade actuel de planification, les options et les combinaisons suivantes sont possibles:

- Alimentation en eau de refroidissement auxiliaire à partir du canal de fuite (comme pour la KKG)
- Cellules frigorifiques sur le terrain de la centrale
- Puits d'eau souterraine pour des cas d'urgence (comme pour la KKG)

Incendie

Les mesures de lutte contre les incendies résultant d'un séisme sont prises en considération dans le concept de protection contre les incendies. Le concept de protection contre les incendies sera établi dans le cadre de la documentation G1 pour la technique du bâtiment selon l'annexe 4 (OENU 2004) et l'annexe 3 de la directive HSK-R-30 (HSK 1992a) et soumis avec la demande d'autorisation de construire. Les détails des mesures de protection contre les incendies sont fixés dans le cadre de la procédure d'autorisation de construire.

Accidents sur des voies de communication voisines, dans des entreprises et au niveau de pipelines

Les accidents sur des voies de communication, dans des entreprises et au niveau de pipelines dans le voisinage par suite d'un séisme sont traités au chapitre 3.3.2.8, "Incidents dans le voisinage en raison d'un tremblement de terre".

Évaluation

Tous les événements dus aux séismes et événements consécutifs sont maîtrisés par la conception de l'installation contre les séismes y compris les incendies consécutifs, en tenant compte d'événements consécutifs dans les installations voisines, et contre des inondations externes, ainsi que par la conception redondante et diversitaire des systèmes de refroidissement auxiliaires déterminants pour la sécurité.

3.8.7.2 Combinaison de vents extrêmes/de tornades, y compris des débris et d'autres objets transportés par le vent, avec d'autres événements externes consécutifs potentiels

Chute d'avion

Ici, seulement les plus petits avions privés sont à considérer; les pilotes des grands avions reconnaissent les orages sur le radar et sont tenus d'éviter ces perturbations météorologiques.

Le cas extrêmement improbable d'une chute d'avion sur la CNN due à des vents extrêmes et des tornades est couvert par la conception de l'installation contre les vents extrêmes y compris les tornades.

La foudre

En combinaison avec les vents extrêmes et les tornades il faut s'attendre à des impacts de foudre; ceci signifie que la fréquence de la combinaison de vents extrêmes et d'impacts de foudre n'est pas substantiellement inférieure à celle de vents extrêmes et de tornades pris isolément. Les dispositifs de protection contre la foudre sont soit intégrés dans les structures des bâtiments (mise à terre des bâtiments), soit enterrés (mise à terre de la centrale), soit installés à l'intérieur des bâtiments (composants de l'installation et électronique). Une conception appropriée des bâtiments déterminants pour la sécurité permet de mettre les dispositifs de protection contre la foudre à l'abri des vents extrêmes et des tornades. En outre, les composants et les systèmes déterminants pour la sécurité sont protégés par une séparation spatiale des redondances contre les coups de foudre qui représentent un risque pour les redondances.

Évaluation

Tous les événements et événements consécutifs résultants de vents extrêmes et de tornades sont pris en considération par la conception correspondante de l'installation y compris la séparation spatiale des redondances des systèmes de sécurité.

3.8.7.3 Combinaison d'une inondation externe (crue/rupture de digue/de barrage) avec des événements externes consécutifs potentiels

L'installation, à savoir au moins les bâtiments et les systèmes déterminants pour la sécurité, est protégée contre les crues par un remblai supplémentaire du terrain, de manière à ce que celui-ci ne puisse pas être inondé au cas où les inondations externes, qui doivent être prises comme hypothèses, se produiraient.

Rapport de sécurité pour la CNN

-3.8 Évaluation récapitulative des caractéristiques du site, y compris les combinaisons d'évènements-

Dans le cas extrême, un évènement consécutif isolé ou plusieurs événements consécutifs, comme par ex. une érosion des berges, un glissement de terrain et le bouchage des grilles d'entrée et des filtres d'admission, peuvent entraîner la perte d'un système ou des deux systèmes d'eau de refroidissement auxiliaires à partir du canal d'amenée et du canal de fuite.

Dans ce cas, les alimentations et les systèmes d'eau de refroidissement auxiliaires redondants et/ou diversitaires déterminants pour la sécurité sont utilisés. Au stade actuel de planification, dans l'ensemble les options suivantes (y compris les combinaisons) sont possibles:

- Alimentation en eau de refroidissement auxiliaire à partir du canal d'amenée (comme pour la KKG)
- Alimentation en eau de refroidissement auxiliaire à partir du canal de fuite (comme pour la KKG)
- Cellules frigorifiques sur le terrain de la centrale
- Puits d'eau souterraine pour des cas d'urgence (comme pour la KKG)

Évaluation

Tous les événements et événements consécutifs d'inondations externes sont maîtrisés par la conception de l'installation contre des inondations externes et par la conception redondante et diversitaire des systèmes d'eau de refroidissement déterminants pour la sécurité.

3.9 Évaluation finale

En raison des caractéristiques du site présentées, analysées et évaluées au chapitre 3, la qualification particulière du site de la CNN pour la construction d'une nouvelle centrale nucléaire est confirmée.

La qualification du site est valable non seulement du point de vue des caractéristiques naturelles (météorologie, hydrologie, géologie, séismologie et conditions du terrain), mais également en ce qui concerne les caractéristiques civilisatrices (peuplement, utilisation de l'espace, raccordements aux voies de communications et raccordement au réseau électrique).

4 Principes de conception de la radioprotection

Dans ce chapitre, les principes de conception en matière de radioprotection pour l'exploitation normale de l'installation sont présentés. La limitation de l'exposition aux rayonnements en cas d'incidents est traitée au chapitre 2.3.2.2.

4.1 Exigences relatives à la conception de l'installation du point de vue de la radioprotection

Du point de vue de la radioprotection, la centrale nucléaire dans le Niederamt (CNN) satisfera à toutes les exigences de la réglementation suisse; ceci signifie que l'installation sera conforme à toutes les lois, ordonnances et directives applicables.

Les exigences fondamentales du droit suisse pour la conception de l'installation du point de vue de la radioprotection sont définies dans les documents suivants:

- Loi sur l'énergie nucléaire (LENu 2003)
- Ordonnance sur l'énergie nucléaire (OENU 2004)
- Loi sur la radioprotection (LRaP 1991)
- Ordonnance sur la radioprotection (ORaP 1994)
- Directives HSK-R-07 (HSK 1995), HSK-R-11 (HSK 2003) et ENSI-G11 (ENSI 2009c) resp. les documents subséquents

Ces documents fondamentaux feront partie de l'appel d'offres. Ceci permet de réaliser la conformité de l'installation à construire avec les exigences suisses relatives à la radioprotection. En outre, le fournisseur est tenu à faire appel aux expériences d'exploitation pluriannuelles d'installations comparables pour l'optimisation de la conception et aussi en ce qui concerne la radioprotection.

Si aucune règle suisse n'est disponible, les normes correspondantes du pays d'origine du fournisseur de l'installation (p. ex. KTA, NRC, ASN, NSC) ou des recommandations internationales comme celles de l'ICRP, de l'AIEA, de l'UE et de l'AEN peuvent être appliquées.

4.2 Principes de la radioprotection

Conformément aux réglementations suisses, à savoir la loi sur la radioprotection (LRaP 1991), l'ordonnance sur la radioprotection (ORaP 1994), ainsi qu'aux recommandations internationales (Euratom 1996, AIEA 2005, AEN 2005, ICRP 2006a, ICRP 2006b, ICRP 2007), pour assurer la radioprotection de la CNN, les trois principes hiérarchiques suivantes sont observées:

- Justification de l'exposition aux rayonnements
- Limitation de l'exposition aux rayonnements
- Optimisation de la radioprotection

4.2.1 Justification de l'exposition aux rayonnements

Par l'existence de la loi sur l'énergie nucléaire (LENu 2003) et l'ordonnance sur l'énergie nucléaire (OENU 2004) dans le recueil de lois suisses, le législateur a exprimé qu'il estime que l'exposition aux rayonnements liée à l'exploitation d'une centrale nucléaire est justifiée dans un cadre bien défini.

Dans le cadre de la conception et de l'exploitation de la CNN, les processus seront choisis de manière à ce que les avantages correspondants prédominent nettement sur les inconvénients liés aux rayonnements et qu'il n'y ait pas d'alternative globalement plus favorable pour la population et l'environnement sans exposition aux rayonnements (art. 8 LRaP 1991 et art. 5 ORaP 1994). En plus, des activités qui entraînent, pour les personnes concernées, une dose effective inférieure à 0.01 mSv par an sont dans tous les cas considérées comme justifiées.

4.2.2 Limitation de l'exposition aux rayonnements

Pendant les phases d'étude, de planification et de construction, la CNN veillera à ce que toutes les mesures soient prises qui s'imposent selon l'expérience et l'état de la science et de la technique, afin de maintenir à un niveau aussi bas que raisonnablement possible l'exposition de toute personne individuelle et de toutes les personnes concernées aux rayonnements induits par l'exploitation de l'installation et son démantèlement (art. 9 LRaP en 1991).

4.2.2.1 Limitation de l'exposition aux rayonnements de la population des environs

La protection de la population des environs contre les répercussions radiologiques résultant de l'exploitation de la centrale nucléaire est réalisée essentiellement par l'épaisseur suffisante des murs des bâtiments comme protection contre le rayonnement direct de l'installation, ainsi que par des systèmes de rétention suffisamment dimensionnés pour limiter les émissions de substances radioactives liquides, gazeuses et sous forme d'aérosol.

Ceci permet de maintenir l'exposition de la population des environs au rayonnement direct et aux émissions de substances radioactives sous les valeurs limites correspondantes (art. 37 et art. 7 ORaP 1994). Des mesures supplémentaires pour la réduction de l'exposition aux rayonnements en-dessous des valeurs limites sont prises dans le cadre de l'optimisation des mesures de radioprotection (voir au chapitre 4.2.3).

4.2.2.2 Limitation de l'exposition du personnel aux rayonnements

Des mesures de planification appropriées permettront de créer pour le personnel des conditions de travail pour limiter l'exposition aux rayonnements lors de travaux avec des expositions potentielles aux rayonnements. Ceci est effectué en particulier par l'observation des principes suivants:

- Une conception appropriée des différents systèmes de la centrale en ce qui concerne les processus fonctionnels et organisationnels pendant l'exploitation, l'entretien et le démantèlement des systèmes.
- Le choix de composants et matériaux appropriés pour ces systèmes, dans le but de maintenir à un niveau aussi faible que possible le nombre de sources d'irradiation existantes dans l'installation et les doses émises qui en résultent. Pour les composants, une durée de vie aussi longue que possible et un besoin minimal de maintenance sont recherchés.
- L'assurance d'une bonne accessibilité aux composants, pour permettre des inspections et éventuellement des travaux de maintenance aussi simples que possible avec une exposition aussi faible que possible aux rayonnements.
- La réservation d'espaces suffisamment grands pour des possibilités supplémentaires de protection pendant les inspections et la maintenance.

Ainsi, l'exposition du personnel aux rayonnements peut être maintenue en-dessous des valeurs limites appropriées prévues par l'ordonnance sur la radioprotection (art. 35 et art. 36 ORaP 1994). Des mesures supplémentaires pour la réduction de l'exposition aux rayonnements en-dessous des valeurs limites sont prises dans le cadre de l'optimisation des mesures de radioprotection (voir au chapitre 4.2.3).

4.2.3 Optimisation de la radioprotection

4.2.3.1 Principes d'optimisation des mesures de radioprotection

La CNN optimisera les mesures de radioprotection pour l'installation au sens de l'art. 9 (LRaP 1991) et de l'art. 6 (ORaP 1994). En ce qui concerne l'exposition aux rayonnements, ceci comprend que des activités justifiées, en-dessous des valeurs limite de dose, sont considérées comme optimisées dans les conditions suivantes:

- La solution alternative choisie correspond à l'expérience et à l'état actuel de la science et de la technique, et a été sélectionnée après une évaluation des avantages et des inconvénients par rapport à d'autres options. Elle comprend également le principe ALARA (voir plus bas).
- La voie de décision pour la solution choisie est compréhensible.
- La survenue d'incidents et l'élimination des sources de radiation qui en résultent sont prises en considération.

Ces trois conditions pour l'optimisation de la radioprotection pour la population des environs et le personnel seront observées pendant l'élaboration, la planification, la construction ainsi plus tard pendant l'exploitation de l'installation, par une collaboration intensive en matière de radioprotection et surveillance du projet par des spécialistes expérimentés de la radioprotection. Les expériences pluriannuelles d'exploitation d'installations comparables sont également utilisées pour optimiser les mesures de radioprotection.

Les mesures d'optimisation sont appliquées aussi bien aux activités individuelles qu'aux processus de travail. Si les activités de toutes les personnes exposées aux rayonnements dans l'exercice de leur profession donnent lieu à des doses individuelles effectives inférieures à 0.1 mSv par an, le principe de l'optimisation est réalisé. En-dessous 0.01 mSv par an, les activités sont considérées essentiellement comme justifiées et optimisées (HSK-R-11, HSK 2003).

Le principe ALARA

Le principe ALARA - "to keep all exposures as low as reasonably achievable, economic and social factors being taken into account" - connu et appliqué depuis des années dans la pratique de la radioprotection, est aujourd'hui décrit par l'ICRP (International Commission on Radiological Protection) comme suit (publication ICRP 103, ICRP 2007): "the likelihood of incurring exposures (where these are not certain to be received), the number of people exposed, and the magnitude of their individual doses should all be kept as low as reasonably achievable, taking into account economic and societal factors."

Suite à la formulation dans la version allemande de la publication 60 de l'ICRP (ICRP 1993), ceci signifie (traduit) que l'exposition aux rayonnements est maintenue à un niveau aussi faible que raisonnablement possible, en tenant compte des facteurs économiques et sociaux. Ceci est valable pour la probabilité des expositions potentielles aux rayonnements (au cas où ce n'est pas sûr que celles-ci iront se produire), le nombre de personnes exposées aux rayonnements, de même que pour la hauteur des doses individuelles.

4.2.3.2 Optimisation des mesures de radioprotection pour une exposition aux rayonnements aussi faible que possible de la population des environs

Pour la population des environs, la définition dans la directive HSK R-11 (HSK 2003) d'une valeur directrice de dose liée à la source de 0.3 mSv/an pour le site de l'installation nucléaire, qui est inférieure à la valeur limite de 1 mSv/an prescrite à l'art. 37 ORaP (1994), est déjà une mesure d'optimisation (art. 7, ORaP 1994).

La CNN sera une installation à la pointe de l'expérience et de la science. Les mesures mentionnées au chapitre 4.2.2.1 ont pour but de maintenir le rayonnement direct et les émissions de substances radioactives de l'installation, de même que l'exposition aux rayonnements qui en résulte pour la population des environs, dans la même plage de valeurs ou en-dessous des valeurs actuelles des centrales nucléaires suisses récentes de Gösgen et de Leibstadt. Aussi en comparaison internationale, les émissions de substances radioactives et le rayonnement se situeront au niveau inférieur. La dose effective maximale pour la population des environs résultant des émissions de substances radioactives pendant l'exploitation normale sera en règle générale inférieure au seuil de 0.01 mSv par an, qui, selon les articles 5 et 6 (ORaP 1994), peut dans tous les cas être considéré comme justifié et optimisé.

4.2.3.3 Optimisation des mesures de radioprotection pour une exposition aux rayonnements aussi faible que possible du personnel

La mise en œuvre des principes énoncés au chapitre 4.2.2.2 pour la planification et la construction de l'installation avec la participation de spécialistes expérimentés de la radioprotection entraîne déjà une limitation de l'exposition du personnel aux rayonnements en-dessous des valeurs limites prescrites par l'Ordonnance sur la radioprotection. En plus, suivant les principes d'optimisation de la radioprotection mentionnés au chapitre 4.2.3.1, la CNN maintiendra conformément au principe ALARA l'exposition du personnel aux rayonnements à un niveau aussi faible que raisonnablement possible, en tenant compte des facteurs économiques et sociaux.

4.3 Proposition motivée pour la valeur directrice de dose liée à la source pour la CNN

Pour l'opération en puissance simultanée des centrales de la KKG et de la CNN, la requérante propose pour le site une valeur directrice de dose liée à la source de 0.3 mSv/an. La valeur se trouve en-dessous de la valeur limite de 1 mSv/an pour les personnes pas professionnellement exposées aux rayonnements conformément à l'art. 37 (ORaP 1994) et correspond, conformément aux recommandations internationales, à la valeur indicative de 0.3 mSv/an fixée pour un site dans la directive HSK-R-11 (HSK 2003). Les limites d'émission à court et à long terme pour la CNN qui doivent être dérivées de cette valeur directrice de dose liée à la source seront fixées dans le cadre de la procédure d'autorisation d'exploiter en tenant compte des limites d'émission pour la KKG.

4.4 Observation et surveillance des valeurs limites d'immission

Avec la définition des limites d'émission pour l'installation, qui doivent être dérivées ultérieurement de la valeur directrice de dose liée à la source, et leur surveillance sur les points d'émission, et avec la dilution ultérieure dans le milieu récepteur, resp. dans l'air, également les limites d'immission conformément à l'article 102 (ORaP 1994) en ce qui concerne les émissions de substances radioactives sont respectées.

Les immissions et le débit de dose locale produite par l'installation seront mesurés dans le cadre habituel et l'observation des valeurs limites appropriées sera vérifiée. Il s'agit notamment de mesures:

- de l'activité de l'air
- de l'activité de l'eau de pluie
- de l'activité du sol
- de l'activité du milieu récepteur
- de l'activité des eaux souterraines
- de l'activité des denrées alimentaires, des aliments pour animaux et des autres plantes
- de l'activité des sédiments, des matières en suspension, du plancton et des plantes aquatiques du milieu récepteur, ainsi que
- du débit de dose ambiante

Le programme de surveillance des environs de la CNN sera coordonné avec le programme correspondant de la KKG.

4.5 Situation radiologique actuelle sur le site de la CNN

La situation radiologique actuelle du site est bien documentée par la surveillance radiologique des alentours de la centrale nucléaire de Gösgen (KKG) et décrit en détail dans les rapports annuels de radioprotection de HSK/ENSI.

Les résultats de la surveillance des alentours de la KKG peuvent être utilisés pour la CNN comme résultats de mesures du bruit de fond local de niveau zéro conformément à l'art. 81 (ORaP1994).

Centrale nucléaire de Gösgen (KKG)

Selon les résultats de la surveillance des alentours de la KKG depuis plus de 30 ans, il n'y a jusqu'aujourd'hui pratiquement aucune influence artificielle de la situation initiale. De faibles traces de tritium (H-3) dans les échantillons d'eau de l'Aar et du C-14 dans les feuilles d'arbre ont été décelées. Les concentrations mesurées sont nettement inférieures aux valeurs limites d'émission conformément à l'art. 102 (ORaP 1994).

LEONI Studer AG

L'entreprise LEONI Studer AG exploite à l'usine Hard différentes sources de rayonnement avec de très hautes intensités d'irradiation pour la mise en réseau de produits en matière plastique et la stérilisation médicale. Ces sources sont toutefois si bien blindées que leur présence ne peut pas être démontrée de manière radiologique à l'extérieur des installations. Étant donné que les dispositifs de blindage sont très robustes, ils ne sont pas faciles à enlever, même en faisant usage d'un effort considérable.

Autres entreprises

Selon l'Office fédéral de la santé publique (OFSP), il existe dans les communes environnantes de Dulliken, Niedergösgen, Lostorf, Schönenwerd, Däniken et Obergösgen 26 installations radiographiques médicales autorisées et 8 sources radiologiques non-médicales autorisées (situation en 2008). Ces installations sont exploitées avec des dispositifs de protection totale ou dans des salles protégées par d'autres moyens.

L'exposition aux rayonnements dans les environs par des installations radiographiques médicales et techniques ainsi que par des sources d'irradiation est selon l'OFSP insignifiante et peut être négligée.

4.6 Concept de radioprotection

Le concept de radioprotection de l'installation globale sera établi dans le cadre de la documentation G1 prévue conformément à l'annexe 4 (OENU 2004) et à l'annexe 3 de la directive HSK-R-30 (HSK 1992a) et présenté avec la demande d'autorisation de construire. Le concept de radioprotection présente des concepts pour des zones radiologiques, le blindage, la surveillance des environs ainsi que la surveillance des locaux, des systèmes et des émissions.

5 Indications importantes relatives au personnel et à l'organisation

Dans le cadre de ce rapport de sécurité, les exigences de base relatives à la gestion de la qualité, de l'organisation et du personnel ainsi que leur qualification sont récapitulées. Ces principes fondamentaux sont basés sur les exigences légales, telles qu'elles sont énumérées au chapitre 5.5. La structuration des organisations (organisations de projet, de construction et d'exploitation) et les exigences relatives au personnel sont effectuées sur la base de méthodes reconnues (Rüegg-Stürm 2002).

Les représentations dans les chapitres suivants permettront de montrer que les bases des indications relatives au personnel et à l'organisation sont déjà disponibles, comme requis, dans cette phase précoce du projet. La requérante souligne qu'elle possède une expérience industrielle dans les domaines du développement organisationnel dans le secteur nucléaire, de la gestion de la qualité et de la gestion des facteurs humains et organisationnels, expérience qui sera mise en œuvre dans les phases ultérieures du projet. Les descriptions suivantes sont données à titre d'exemples et ne peuvent pas être traitées de manière définitive dans la Demande d'autorisation générale (DAG). Dépendant de l'avancement du projet le développement nécessaire est effectué.

La requérante s'engage dès le départ à conduire et à réaliser le projet pour une nouvelle centrale nucléaire en considérant la sécurité comme première priorité. Pour ce faire, et dès que ceci semblera judicieux du point de vue de l'organisation du personnel, une charte sur la culture de sécurité sera élaborée et appliquée pendant le déroulement global du projet. En fonction de l'avancement du projet, cette charte sera régulièrement contrôlée et adaptée (voir au chapitre 5.4.6).

5.1 Calendrier

Le présent chapitre montre quelles précautions relatives au personnel et à l'organisation sont prises en fonction de l'évolution dans le temps de la procédure d'autorisation (voir aussi au chapitre 5.3, Organisation). Cette coordination avec l'avancement du projet permettra d'assurer en temps utile les mesures d'assurance qualité, les aspects de culture de sécurité, ainsi que la compétence et les connaissances techniques dans l'ampleur requise. Prise en compte sont aussi les expériences opérationnelles acquises dans les installations existantes concernant organisation, gestion de projets, gestion de qualité, culture de sécurité, formation, et les durées de temps contenus et prescrits dans les directives HSK/ENSI par rapport à l'expérience professionnelle.

La procédure d'autorisation et le déroulement du projet global sont déterminants pour la structure définitive de l'organisation ainsi que pour le recrutement et la formation de l'ensemble du personnel. Ceci est effectué en étroite coordination temporelle. Essentiellement, une distinction est faite entre les trois phases principales que sont l'autorisation générale, l'autorisation de construire et l'autorisation d'exploiter.

Pour la phase d'autorisation générale, le présent rapport de sécurité donne entre autres des indications importantes relatives au personnel et à l'organisation. Des indications concernant le personnel et l'organisation pour la sûreté de la CNN sont données dans le rapport de sûreté (KKN 2008a).

Dès que l'autorisation générale est accordée, le recrutement du personnel commence en fonction de la phase du projet global. L'organisation structurelle est définie à cette fin. Celle-ci s'oriente sur les exigences en fonction de l'avancement du projet. Pour chaque fonction au sein de la structure, une description du poste est fournie. Les indications nécessaires pour le prochain titulaire de la fonction, entre autres sur les exigences, les compétences, la formation, l'expérience, ressortent de cette description du poste.

Pour garantir ces aspects, un échange d'expériences régulier avec les centrales nucléaires existantes est effectué.

Pour la phase d'autorisation de construire, en plus des documents à présenter selon l'annexe 4 (OENU 2004), un programme de gestion de la qualité (programme QM) doit être soumis pour les phases d'élaboration et d'exécution du projet. Ce programme de gestion de la qualité a une influence sur les domaines du personnel et de l'organisation.

Une classification supplémentaire peut être effectuée, dans la mesure où pour la phase d'autorisation de construire un concept d'organisation et d'allocation des ressources humaines est présenté (Annexe 4, OENU 2004). Ce concept contient la structure organisationnelle, l'effectif du personnel, la formation du personnel et l'allocation des ressources humaines pendant les phases de construction, ainsi qu'un concept de formation et de perfectionnement. Pour le premier permis de construire, la conception de l'organisation est présentée. Celui-ci contient des indications détaillées concernant les dispositions organisationnelles, les spécifications pour chaque fonction, le programme de formation pour la mise en service ainsi que les documents d'exploitation provisoires, les règlements et les processus de travail.

Dans la troisième phase d'autorisation d'exploitation, les documents organisationnels et techniques selon l'annexe 3 OENU (2004) et la documentation nécessaire selon l'annexe 4 (OENU 2004) doivent être présentés. Ceci est effectué également en conformité avec l'article 30 OENU (2004) relatives aux exigences concernant l'organisation.

L'une des conditions pour obtenir l'autorisation d'exploiter est le justificatif de qualification. Celui-ci contient le justificatif de l'aptitude et de la qualification de l'ensemble du personnel, conformément à l'Ordonnance sur les qualifications du personnel d'installations nucléaires (OQPN 2006).

Lors de la communication de la mise en service et de la montée en puissance ou l'exploitation continue, les dispositions pour l'exploitation continue seront présentées. Celles-ci se composent de la définition de l'effectif du personnel et des programmes de formation et de perfectionnement pour l'exploitation en continu.

5.2 Gestion de la qualité

5.2.1 Assurance de la qualité dans l'élaboration des documents pour la demande d'autorisation générale

Les explications suivantes constituent la compréhension de la qualité appliquée par toutes les parties participantes pour élaborer la présente demande d'autorisation générale. L'accent en ce qui concerne la qualité est mis sur les aspects suivants:

- Définition et spécification détaillées et claires des tâches à effectuer
- Fixation et description des interfaces dans le projet, définition des responsabilités
- Contrôle continu d'avancement et de la qualité des différents résultats et de la documentation complète
- Processus de revue systématique avec des modifications et des corrections correspondantes
- Contrôle continu de l'observation de toutes les lois, ordonnances et dispositions pertinentes pour le projet

Le but principal était la mise en place de processus de travail récurrents et stables, pour provoquer des améliorations continues du projet et des documents de la demande. La base de ce processus de qualité est une amélioration continue selon le cycle Deming (Plan-Do-Check-Act, PDCA figure 5.2-1).

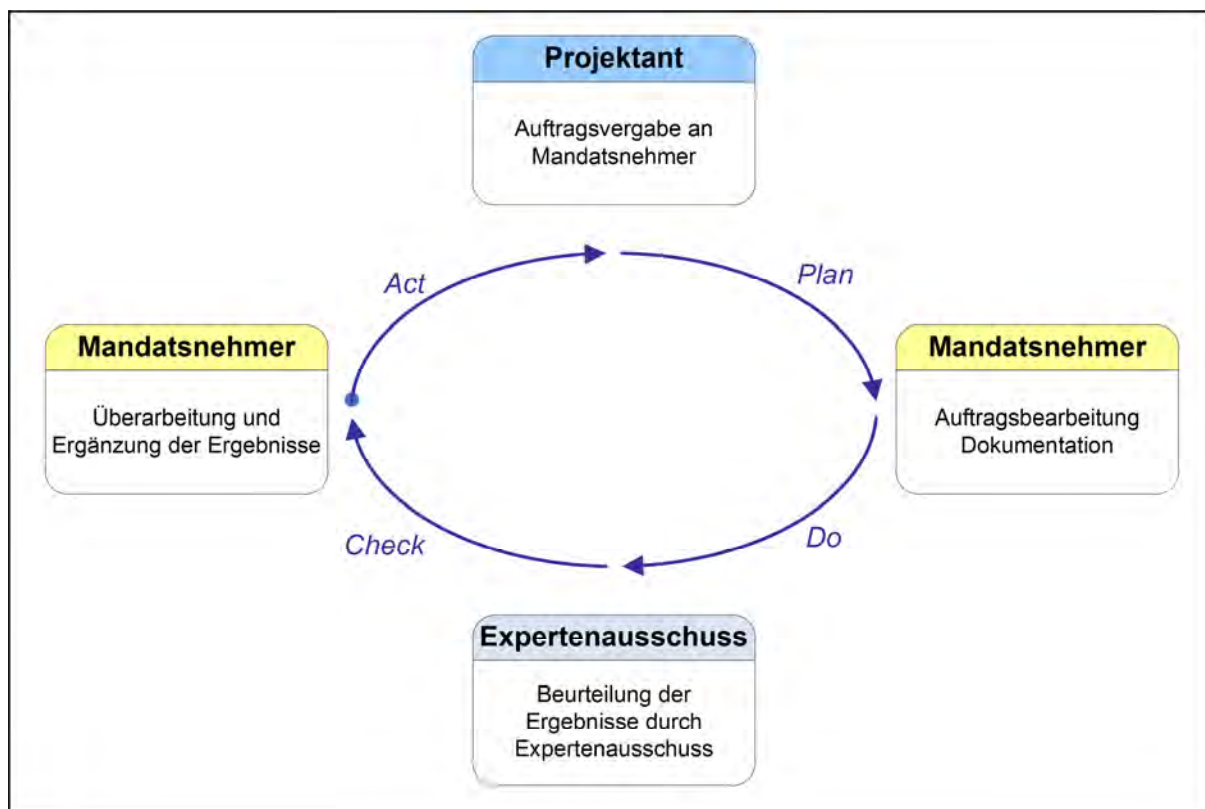


Figure 5.2-1 Assurance qualité pour la demande d'autorisation générale

Auteur du projet Attribution du contrat au titulaire du mandat		
Titulaire du mandat Réviser et compléter les résultats		Titulaire du mandat Elaborer le contrat Documentation
Comité d'experts Evaluation des résultats par le Comité d'experts		

Les entreprises mandatées AF-Colenco AG, BSB+Partner Ingenieure und Planer (désignés BSB+Partner dans le tableau 5.2-1) ainsi que Gähler und Partner AG ont travaillé sur la base de leurs processus internes certifiés ISO 9001:2000. En outre, toutes les activités du département Techniques Nucléaires d'AF-Colenco AG s'orientent à la certification selon les exigences de la règle KTA 1401 (KTA 2001). Pour l'élaboration de toutes les documentations, on a eu recours aux lois et ordonnances suisses, aux directives HSK/ENSI, aux recommandations de l'AIEA ainsi qu'à toutes les normes et réglementations pertinentes et applicables des organismes suivants: KTA, ANSI, ASME, SIA, ISO, DIN, VDI/VDE. Cette énumération n'est pas exhaustive; selon les besoins, des normes et des réglementations supplémentaires ont été mises à contribution.

Le tableau 5.2-1 présente les principales mesures d'assurance de la qualité en relation avec les acteurs concernés.

Tableau 5.2-1 Mesures d'assurance de la qualité en relation avec les acteurs concernés

Acteurs	Représenté par:	Tâche	AQ/GQ
Plan: Formulation des exigences et planification de la mise en œuvre (définition des mandats)			
Auteur du projet	Atel	Attribution du mandat selon OENu/LENU, définition des "Good Practices"	Gestion du projet suivant le manuel du projet
Instances/ Branches	Groupe de travail rapport de sécurité	Définition du sommaire et du degré de détail du rapport de sécurité, du rapport de sureté, du concept de désaffectation, du justificatif de l'évacuation des déchets	
	Groupe de travail RIE/RCAT	Définition du sommaire et du degré de détail du RIE/RCAT	
Do: Réalisation des activités prévues selon les directives relatives au contenu et aux processus techniques.			
Titulaire de mandat	AF-Colenco AG	Direction du mandat Elaboration du mandat selon LENU/OENu	Processus internes certifiés selon ISO9001:2000 et KTA 1401
	BSB+Partner	Élaboration du mandat conformément à LENU/OENu	Processus internes certifiés selon ISO9001:2000 Application des normes correspondantes de la SIA, de l'OFEV Utilisation des données géographiques conformément aux principes de la Mensuration officielle
	Gähler und Partner AG	Élaboration du mandat conformément à LENU/OENu	Processus internes certifiés selon ISO9001:2000 Application des normes correspondantes de la SIA
Check: Contrôle du déroulement du processus et de ses résultats, identification de défauts, de déviations et du besoin d'amélioration.			
Experts projet CNN	Comité d'experts en énergie nucléaire	Vérification et appréciation sur la base des lois de réglementation nucléaire, ordonnances et directives à observer	Contrôle Engineering Design Contrôle des spécifications Revue de la documentation de la DAG
Instances/branches	Groupe d'accompagnement OFEN - Responsables du projet	Décision de la procédure sur la base de LENU/OENu	Responsabilité pour le pilotage des processus concernant le déroulement des procédures
	Groupe de travail rapport de sécurité	Contrôle du sommaire et du degré de détail du rapport de sécurité, du rapport de sureté, du concept de désaffectation et du justificatif de l'évacuation des déchets	
	Groupe de travail RIE/RCAT	Contrôle du sommaire et degré de détail du RIE/RCAT	
Autorités/ Services spécialisés	ENSI	Contrôle sommaire	Contrôle d'intégralité du rapport de sécurité, du rapport de sureté, du concept de désaffectation et du justificatif de l'évacuation des déchets
	OFEV/ARE	Contrôle sommaire/examen préliminaire du RIE	Contrôle sommaire/examen préliminaire avec prise en considération/observation des normes et directives pertinentes
	AfU SO	Examen préliminaire pour VU1	Examen préliminaire avec prise en

Acteurs	Représenté par:	Tâche	AQ/GQ
		fonction consultative dans le cadre de la procédure directrice	considération/observation des normes et directives pertinentes Assurance d'une procédure correcte, revue de résultats ponctuels
Act: Formulation des mesures et des exigences pour remédier aux défauts, aux déviations et au besoin d'amélioration constatés, et élaboration d'un plan de mise en œuvre.			
Titulaire de mandat	AF-Colenco AG	Révision DAG sur la base de la revue des résultats et du contrôle sommaire	Processus internes certifiés selon ISO9001:2000 et KTA 1401
	BSB+Partner	Révision DAG sur la base de la revue des résultats et du contrôle sommaire	Processus internes certifiés selon ISO9001:2000 Application des normes correspondantes de la SIA, de l'OFEV Utilisation des données géographiques conformément aux principes de la Mensuration officielle
	Gähler und Partner AG	Révision DAG sur la base de la revue des résultats et du contrôle sommaire	Processus internes certifiés selon ISO9001:2000 Application des normes correspondantes de la SIA

Une importance centrale a été accordée à la vérification des différents résultats par le comité d'experts. Celui-ci se compose d'experts et de spécialistes reconnus, avec une longue expérience dans l'industrie nucléaire. Ces spécialistes externes ont apporté une contribution professionnelle essentielle et ont contribué à l'assurance de la qualité de la DAG.

5.2.2 Expérience et compétence professionnelle

Pour l'élaboration de la demande d'autorisation générale, on a veillé dès le début à faire appel à une compétence professionnelle aussi élevée que possible et à une expérience aussi grande que possible dans la conception, la construction et l'exploitation d'installations nucléaires. La requérante a veillé à recruter dans ses propres rangs et dans l'industrie nucléaire le personnel possédant cette expérience et cette compétence professionnelle, et l'a intégré dans l'équipe du projet.

Le chef de projet a commencé sa carrière dans la technologie nucléaire, dans une société d'ingénierie, il y a plus de 25 ans. Elle la menée ensuite aux fonctions de chef de département, responsable de centrale, directeur général d'une centrale nucléaire et responsable d'un domaine de production dans une entreprise de distribution d'énergie électrique.

Le chef du sous-projet Technique possède plus de 10 années d'expérience dans la conduite et la réalisation de projets multidisciplinaires dans le domaine nucléaire, expérience qu'il a acquise après sa dissertation et une longue activité en outre-mer.

Le chef du sous-projet RIE/RCAT a, au terme de ses études universitaires en sciences naturelles, travaillé pendant cinq ans dans le conseil environnemental, où il a traité de questions importantes dans les domaines du Risk & Safety Management et des systèmes de management, d'abord en qualité de collaborateur de projet et plus tard en tant que chef de projet. Parallèlement, il passait son doctorat en économie d'entreprise à l'EPFZ.

Lors de l'élaboration de la DAG, les responsables des sous-projets Technique et RIE/RCAT ont été soutenus par des spécialistes d'Atel possédant les expériences et les connaissances les plus diverses.

Pour coopérer à l'élaboration de la demande d'autorisation générale, on a fait appel à AF-Colenco, BSB+Partner et Gähler und Partner. Lors de l'attribution des mandats, on a veillé à ce que seuls des preneurs de mandats qualifiés entrent en ligne de compte et soient pris en considération disposant incontestablement non seulement de la compétence professionnelle requise, mais également d'une longue expérience dans l'industrie nucléaire nationale et internationale ou dans leur domaine spécialisé.

Cette approche est observée de manière résolue avec l'avancement du projet. La requérante veille à ce que la compétence professionnelle et l'expérience dans la spécialité respective soient prises en considération dans la mesure nécessaire lors du recrutement et de l'engagement du personnel requis dans toutes les phases du projet.

5.2.3 Système de gestion de la qualité pour les phases ultérieures de planification, de construction et d'exploitation

L'OENU exige dans l'article 25 (OENU 2004) la mise en place et la représentation d'un programme de gestion de la qualité par la requérante pour les phases d'élaboration et d'exécution du projet. La représentation doit montrer l'organisation et les processus, y compris la collaboration avec les autorités et des tiers. Le programme de gestion de la qualité doit correspondre à l'état actuel des connaissances dans la technique de la sécurité nucléaire et doit être vérifié et/ou mis à jour périodiquement.

Cette exigence de l'OENU est réalisée par la mise en place d'un système de gestion de la qualité basé sur la norme ISO9001, qui est appliqué pendant les phases d'élaboration du projet, d'exécution et d'exploitation. En fonction de l'avancement du projet, ce système de gestion de la qualité englobera tous les domaines pertinents et sera régulièrement adapté aux exigences actuelles selon les vérifications périodiques.

Un système de gestion sera mis en place progressivement et prendre en compte non seulement le système de gestion de la qualité selon ISO9001, mais également les éléments applicables de la norme ISO14001 (systèmes de management environnemental), la norme OHSAS18001 (systèmes de gestion de la sécurité au travail), la directive HSK G07 (HSK 2008b) ainsi que, de manière appropriée, les facteurs humains.

L'importance requise sera accordée aux facteurs humains dans tous les domaines et phases du projet (par exemple Human and Organizational Factors Engineering dans la phase de conception, ergonomie dans l'organisation des procédures, facteurs humains dans l'expérience d'exploitation).

Les contrôles sont effectués conformément au processus d'assurance de la qualité (voir au chapitre 5.2.1). Cette procédure en circuit fermé veille à ce que le processus respectif soit adapté en permanence aux exigences.

Le système de gestion sera décrit dans un document autonome et adapté régulièrement aux nouvelles exigences du projet.

5.2.4 Aspects humains, techniques et organisationnels (HTO)

Les centrales nucléaires présentent certaines caractéristiques concernant entre autres la sécurité passive, le degré d'automatisation, la technique des procédés, etc. L'homme, l'organisation et la technique doivent former ensemble une unité pour pouvoir remplir les tâches et les fonctions dans la mesure exigée. L'importance requise sera accordée aux facteurs humains et organisationnels (HOF) dans tous les domaines et phases du projet (par exemple HOF-Engineering dans la phase de conception, ergonomie dans l'organisation des procédures, facteurs humains dans l'expérience d'exploitation). Cette interaction entre l'homme, la technique et l'organisation (voir figure 5.2-2) exige, en particulier dans la technique nucléaire, une planification soignée à un stade aussi précoce que possible du projet. D'une part, les expériences des installations nucléaires existantes sont prises en considération pour la construction globale. D'autre part, les rôles de l'homme, de la technique et de l'organisation et leurs interdépendances sont évalués sur la base d'une analyse d'exploitation globale, p. ex. l'analyse MTO (Strohm & Ulich 1999). Les différents aspects partiels sont coordonnés de manière à ce que les tâches concernées soient remplies de façon optimale. Les exigences de l'article 10j OENu (2004) sont ainsi prises en compte.

L'interaction et l'influence réciproque entre l'homme, la technique et l'organisation, comme prévu dans le cadre du projet global, sont représentées sur la figure 5.2-2.

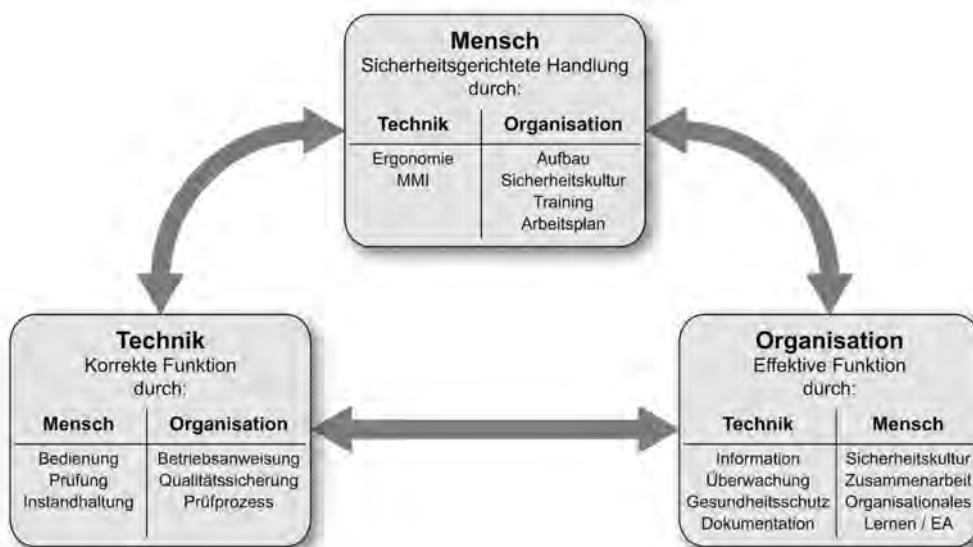
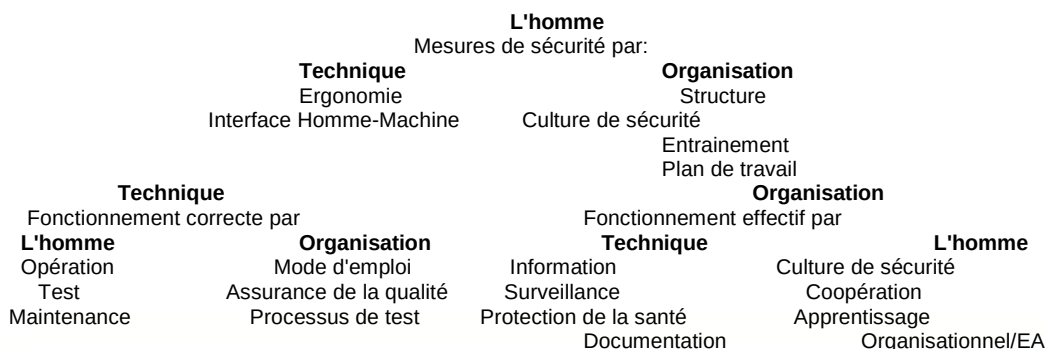


Figure 5.2-2 Relation homme-machine-organisation



Ces considérations sont prises en compte le plus tôt possible, au plus tard au moment spécifique fixée par le législateur et dans l'ampleur nécessaire, dans le cadre de la demande d'autorisation de construire et adaptées régulièrement à l'avancement du projet.

5.3 Organisation

5.3.1 Définition des bases

L'organisation est établie sur la base de modèles de gestion reconnus et après la réalisation de travaux préparatoires nécessaires (voir aussi au chapitre 5.1 Calendrier). En tenant compte des aspects de sécurité et des principes d'économie d'entreprise concernant les exigences relatives au type de réacteur encore à déterminer, les points suivants sont élaborés:

Situation initiale de l'organisation: en font partie une série de facteurs d'influence tels que les dispositions légales et la taille de l'entreprise

Objectifs de l'organisation: assurer et améliorer en permanence la sécurité ainsi que l'efficacité et le succès de l'organisation par une répartition optimale du travail

Fixation de la structure (organisationnelle) et de l'organisation fonctionnelle (processus)

Définition des ressources nécessaires (moyens financiers et ressources humaines)

Mise en œuvre de la planification par des mesures appropriées en tenant compte des aspects temporels

Il sera ainsi possible, pendant la phase globale de planification, de construction et d'exploitation, de veiller continuellement à ce que le personnel nécessaire soit disponible pour mettre en œuvre de manière efficace les mesures d'assurance de la qualité requises et à ce que le personnel reçoive la formation et le perfectionnement nécessaires. Avec le support en personnel approprié dans toutes les phases du projet, il est garanti que l'effectif de personnel complet, avec les compétences et les spécialisations nécessaires, est disponible au moment de l'octroi du permis d'exploiter.

5.3.2 Organisation dans la phase de la demande d'autorisation générale

Pour l'établissement de la demande d'autorisation générale, une organisation de projet a été mise sur pied suivant la figure 5.3-1. Cette organisation était composée du comité de projet, de la direction du projet, des fonctions d'état-major pour la gestion de la qualité, le droit, le controlling et le secrétariat ainsi que des équipes des sous-projets Technique, RIE/RCAT, Communication/ Affaires Publiques et Administration.

Pendant cette phase, la direction du projet et le comité de projet ont assumé la fonction supérieure de gestion et la surveillance. Le comité du projet était composé de membres de la direction d'Atel.

La demande d'autorisation générale a été réalisée par les équipes des sous-projets Technique et RIE/RCAT. Les équipes des sous-projets Communication/Affaires Publiques et Administration se sont chargées des fonctions de soutien de la communication externe (relations publiques) et des aspects administratifs au sein de l'organisation du projet.

Les équipes des sous-projets Technique et RIE/RCAT ont été complétées par des preneurs de mandat externes qui disposaient de la compétence professionnelle requise et d'une longue expérience dans l'industrie nucléaire nationale et internationale ou dans leur domaine de spécialisation spécifique.

Le comité d'experts, composé de personnel qualifié avec une longue expérience en particulier dans l'industrie nucléaire nationale, a assumé une fonction de conseil pour les équipes des sous-projets Technique et RIE/RCAT et a effectué les mesures d'assurance qualité en tant que groupe indépendant.

Les différentes fonctions au sein de l'organisation du projet ont été occupées par des personnes qui, en raison de leur formation et de leur expérience dans les domaines spécialisés appropriés (entre autres dans l'industrie nucléaire), possèdent les compétences professionnelles et méthodiques nécessaires, entre autres également en ce qui concerne les facteurs organisationnels et humains.

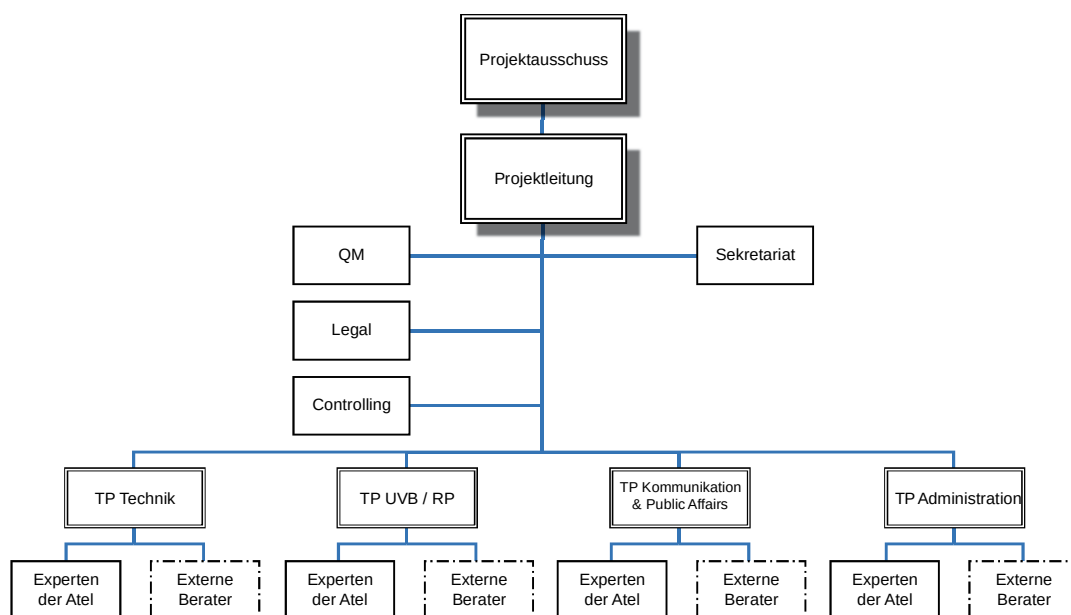
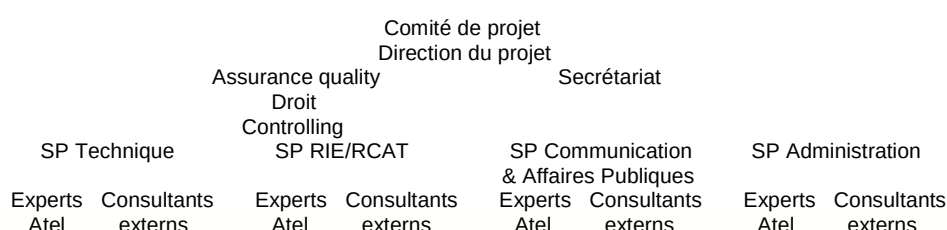


Figure 5.3-1 Organisation du projet pour l'élaboration de la demande d'autorisation générale



Suite à une occupation judicieuse des fonctions au sein de l'organisation par des personnes expérimentées provenant de l'industrie nucléaire et par un échange avec les centrales existantes (voir au chapitre 5.3.5), le requérant a veillé à ce qu'il y ait un transfert de savoir-faire et que les expériences disponibles dans la réalisation de grands projets soient intégrées dans ce projet. Une importance particulière a été accordée à la compétence professionnelle et à la culture de la sécurité dans l'environnement nucléaire. Lors de l'attribution de mandats ou d'ordres, on a veillé à ce que seuls des preneurs de mandats/preneurs d'ordres qualifiés et certifiés entrent en ligne de compte et soient pris en considération, disposant incontestablement non seulement de la compétence professionnelle requise, mais également d'une longue expérience dans l'industrie nucléaire nationale et internationale ou dans leur domaine spécialisé.

Les documents ont été soumis à un processus de contrôle et d'amélioration itératif sur la base du système de gestion de la qualité (voir au figure 5.2-1 et figure 5.2-2). Ces mesures d'assurance de la qualité ont été prises d'une part par les sous-projets Technique et RIE/RCAT, d'autre part par le comité d'experts. Ce processus a été surveillé par le poste d'état-major pour la gestion de la qualité. Les tâches et les responsabilités ont été clairement assignées (aperçu selon le tableau 5.2-1).

En fonction de l'avancement du projet, l'organisation du projet mise en place (figure 5.3-1) est régulièrement adaptée aux nouvelles exigences et étendue.

5.3.3 Organisation dans la phase de l'appel d'offres et de la demande d'autorisation de construire

Les nouvelles fonctions à remplir sont intégrées à partir de l'organisation de projet issue de la phase de demande d'autorisation générale. Depuis début 2009, le travail est organisé comme suit:

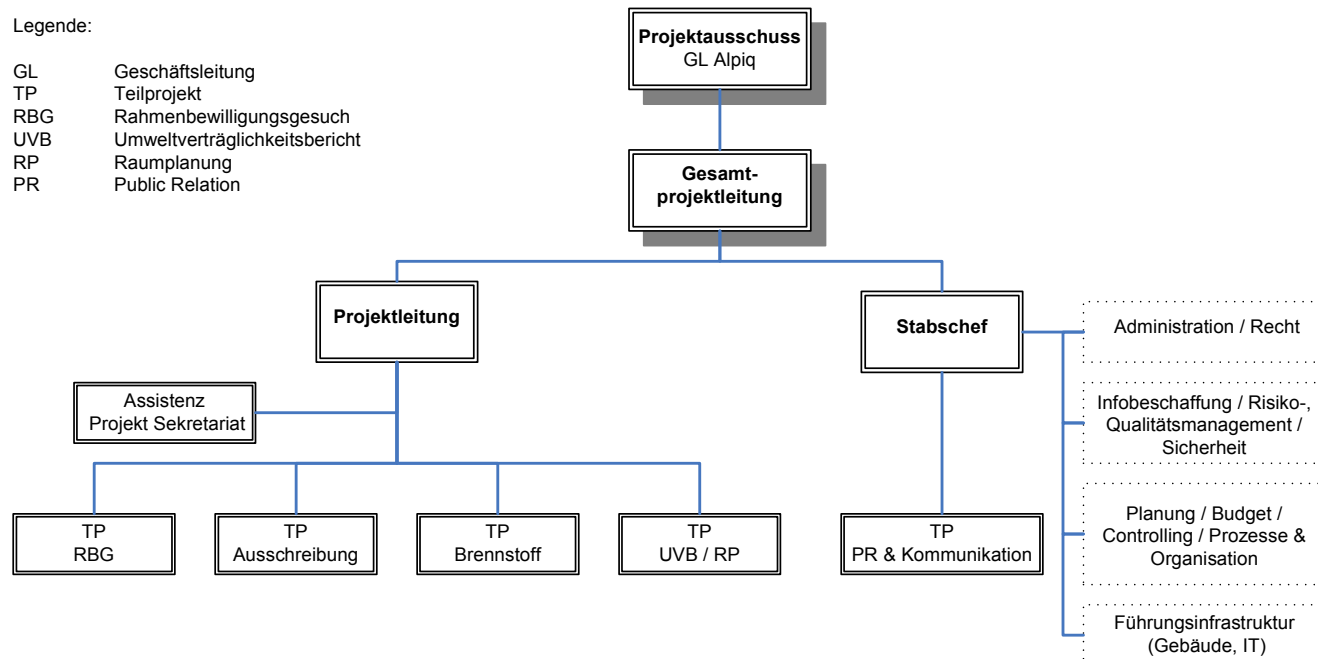
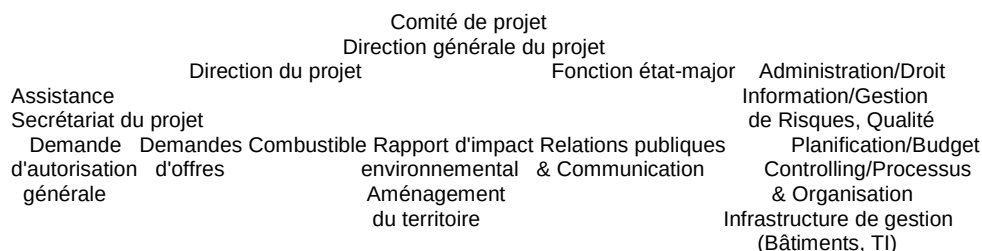


Figure 5.3-2 Organisation de la requérante depuis le début de l'année 2009

Légende:

- GL: Direction de l'entreprise
- TP: Sous-projet
- RBG: Demande d'autorisation générale
- UVB: Rapport d'impact environnemental
- RP: Aménagement du territoire
- PR: Relations publiques



Pour l'organisation ultérieure du projet, la collaboration entre le donneur d'ordre, les entrepreneurs, les fournisseurs et d'autres acteurs sera définie et les responsabilités seront fixées. Ainsi, l'organisation du projet est adaptée continuellement aux nouvelles exigences rencontrées au fil de l'avancement du projet.

Ceci est effectué sur la base de spécifications qui, outre les tâches proprement dites, contiennent des descriptions précises des interfaces avec d'autres spécialistes/collaborateurs. Ces descriptions de l'organisation, des tâches, des responsabilités et des compétences sont périodiquement réexaminées en conformité avec les mesures d'assurance de la qualité et adaptées aux conditions existantes (cycle Deming, PDCA).

5.3.4 Organisation dans les phases de demande d'autorisation d'exploiter et d'exploitation

L'organisation de l'entreprise est réalisée sur la base des lois, règlements et directives suisses ainsi que des expériences acquises dans les centrales nucléaires existantes en Suisse et dans l'espace européen, et en tenant compte des principes des modèles de gestion reconnus.

L'organisation sera définie et décrite en détail (tâches, compétences, responsabilités, interfaces), afin d'obtenir une organisation global fonctionnant harmonieusement et d'occuper tous les postes de manière optimale.

5.3.5 Coopération avec les exploitants d'installations

Par une coopération appropriée avec les exploitants d'installations, une contribution essentielle à la sécurité de la nouvelle installation est recherchée par le biais de transfert de savoir-faire et d'échange d'expériences dans le secteur nucléaire. La culture de la sécurité, qui doit être mise en place très tôt, prendra en considération les expériences de l'industrie nucléaire dans une mesure judicieuse. Une grande importance est accordée en particulier au transfert d'expériences dans la gestion de grands projets.

A long terme, on vérifiera dans quelle mesure des augmentations de personnel ciblées dans les installations existantes sont judicieuses du point de vue de la reprise de tâches dans la nouvelle organisation et assurent le déroulement en sécurité de travaux spécifiques ou de l'exploitation ultérieure. De tels accroissements de l'effectif du personnel permettent de préparer et de former à temps le personnel nécessaire et qualifié pour la nouvelle installation et d'assurer la continuité de la culture de sécurité exigée.

5.3.6 Interfaces/interactions avec organisations externes

Dans les descriptions de l'organisation, de la gestion de la qualité et d'autres documentations applicables, les interfaces et les processus d'interaction entre toutes les postes concernés sont définis. À l'aide de caractéristiques appropriées, ces jonctions critiques sont régulièrement contrôlées et adaptées aux conditions changeantes.

5.3.7 Organisation apprenante

Dans l'organisation à mettre en place, la conscience, les connaissances et la compréhension des exigences de sécurité dans l'environnement nucléaire seront présentes dans tous les domaines. L'organisation disposera de connaissances et d'expériences suffisamment étendues et profondes, de manière à pouvoir définir et contrôler les directives nécessaires pour les preneurs d'ordre (fournisseurs, entreprises de services, sous-traitants), en particulier dans les domaines des exigences de sécurité ("Intelligent Customer Capability").

Pour ce faire, l'organisation comprendra à tout moment pendant le déroulement du projet une direction compétente ainsi qu'un personnel expérimenté et compétent du point de vue technique et professionnel. L'organisation disposera des capacités requises pour pouvoir établir des spécifications techniques, décrire les interfaces et évaluer et contrôler les offres et les travaux avant et pendant la réalisation. Une compréhension vaste de coopération avec des contractants et des influences liées à cela sur les dossiers de sécurité à fournir fait partie de ces capacités.

Les mesures d'assurance de la qualité permettront de contrôler la présence et les capacités elles-mêmes par des vérifications régulières appropriées (audits CQ) et de les adapter continuellement aux changements des exigences pendant le déroulement complet du projet.

5.4 Bases de la formation

La formation du personnel se base sur le système de formation générale et de formation professionnelle en Suisse. Après la formation scolaire générale, on peut accéder aux filières de la formation professionnelle de base, des écoles techniques, des collèges spécialisées, des collèges secondaires, des collèges universitaires et des universités. En ce qui concerne la technologie nucléaire, on peut entre autres mentionner ici les possibilités de formation offertes, par exemple dans les institutions suivantes: École des opérateurs de réacteurs de l'Institut Paul Scherer (PSI), EPF Zurich et EPFL Lausanne (Master of Science in Nuclear Engineering), FHNW Brugg-Windisch (filière Bachelor en constructions mécaniques, spécialisation technique de l'énergie). Les instituts mentionnés collaborent avec d'autres instituts sur des thèmes spécifiques. Un aperçu est contenu dans le document "Offre et demande dans l'enseignement et la recherche nucléaires en Suisse" (Forum nucléaire 2007).

En ce qui concerne la compétence de conduite et les aspects HOF, les institutions suivantes sont disponibles (énumération non exhaustive):

- FHNW Olten, Institut de l'homme dans des systèmes complexes
- FHNW Olten, Institut de gestion des ressources humaines et d'organisation
- Université de Berne, département de psychologie du travail et des organisations
- EPF Zurich, groupe de recherche "Organisation-Travail-Technologie"
- EPF Zurich, groupe de recherche "Psychologie du travail dans l'organisation et la société"
- Institut de psychologie appliquée IAP-ZHAW
- Société Suisse de Psychologie du Travail et des Organisations
- Association Suisse d'Ergonomie

Les futurs titulaires des postes peuvent être formés sur la base d'une solide formation de base et à l'aide d'un système de gestion de formation (voir au chapitre 5.4.1) pour devenir des spécialistes.

5.4.1 Système de gestion de formation

Un système de gestion de formation sera mis en place pour saisir à temps les besoins de formation et réaliser les mesures de formation correspondantes selon les méthodes modernes de formation des adultes. Dans l'esprit d'un processus d'amélioration continue (cycle Deming), l'efficacité des mesures sera mesurée et les adaptations nécessaires seront réalisées.

5.4.2 Formation du personnel de la centrale nucléaire

Pour le personnel de la centrale nucléaire, des exigences définies pour la formation sont disponibles. Celles-ci sont contenues dans les documents suivants:

- Ordonnance sur les qualifications du personnel des installations nucléaires (OQPN 2006)
- Directive HSK-G07: "Organisation des installations nucléaires" (HSK 2008b)
- Directive ENSI-B10 (projet): "Dispositions d'exécution de l'ordonnance sur les qualifications du personnel des installations nucléaires" (ENSI 2008)
- Directive HSK-R37: "Reconnaissance des formations et perfectionnements en radioprotection dans le domaine de surveillance de HSK" (HSK 2001)

En tenant compte de ces directives, le personnel nécessaire sera recruté avec la qualification correspondante et formé avec des méthodes de formation appropriées (entre autres la simulation), afin qu'il soit disponible à temps en fonction de l'évolution du projet global.

5.4.3 Formation pendant la phase de construction

Pendant la phase de construction, la formation du personnel est effectuée en étroite collaboration avec le fournisseur, afin d'assurer un transfert de savoir-faire aussi grand que possible. Les thèmes traités couvrent la physique nucléaire, la technologie des réacteurs, la sécurité des réacteurs, la conception, les connaissances des systèmes, les caractéristiques et fonctions, le comportement des systèmes (fonctionnement normal, incidents et cas d'urgence), la spécification de la sécurité, la spécification technique et des conditions d'exploitation limitatives en relation étroite avec la nouvelle installation. Cette énumération n'est pas exhaustive; elle sera complétée et étendue sur la base du système de gestion de la formation (voir au chapitre 5.4.1). Des objectifs d'apprentissage permettent de garantir une formation ciblée et un soutien optimal pendant la phase de construction et de mise en exploitation. La formation comportera, autant que possible et selon la disponibilité des systèmes installés, un entraînement pratique sur les systèmes et les composants.

Le personnel de la centrale nucléaire sera recruté et si nécessaire formé (en interne/externe) en temps utile suivant la fonction respective et l'évolution du projet, de manière à ce qu'il puisse assumer dans son futur environnement de travail une fonction de support au projet et d'assurance qualité (surveillance et collaboration) dans le cadre du programme de gestion de la qualité. Une formation spécifique à l'installation est ainsi garantie.

5.4.4 Formation pendant la phase de mise en service

Pendant la phase de mise en service, le futur personnel d'exploitation et d'entretien est employé à l'exécution et au contrôle des tests de fonctionnement et des essais de réception. Ces travaux seront transformés en "On-the-Job Training" par la définition d'objectifs d'apprentissage appropriés et contribueront ainsi de manière essentielle à la formation du personnel. La formation pendant la phase de construction et de mise en service permet d'assurer que le personnel de la centrale nucléaire est en mesure d'exploiter l'installation avec le plus haut niveau de sécurité dès le premier jour d'exploitation.

5.4.5 Formation après la mise en exploitation

En principe, après la mise en exploitation, la formation reste la même qu'avant. Après la mise en exploitation, la formation se concentre sur l'approfondissement des connaissances en matière d'exploitation et les aspects connexes. Le besoin exact est déterminé au moyen du système de gestion de la formation avec l'approche systématique de formation incorporée (voir au chapitre 5.4.1).

5.4.6 Culture de la sécurité, Human and Organisational Factors (HOF)

Pour assurer une culture de la sécurité aussi élevée que possible, une collaboration étroite avec des organisations nationales et internationales (exploitants de centrales nucléaires, AIEA), l'utilisation d'outils modernes d'analyse d'événements et de suivi de mesures ainsi qu'un engagement clair de la direction de l'installation nucléaire pour la sécurité ("la sécurité est une priorité absolue") sont nécessaires. Dans le cadre de cette collaboration, les "facteurs humains" de même que les autres aspects de la culture de la sécurité sont détectés, mis en œuvre et soumis à un contrôle d'efficacité dans l'optique d'un processus d'amélioration continue.

Dans le cadre de la procédure d'autorisation globale (demande d'autorisation générale, demande d'autorisation de construire, demande d'autorisation d'exploiter), la requérante établira le plus tôt possible et pour autant que ceci soit judicieux du point de vue de l'organisation du personnel, une charte sur la culture de la sécurité. Celle-ci est appliquée pendant toute la durée du projet et adaptée régulièrement. Par la culture de la sécurité on entend "l'accumulation de caractéristiques et de convictions chez les organisations et les personnes, qui définissent, comme la priorité la plus élevée, que les aspects de sécurité d'une centrale nucléaire reçoivent l'attention, à laquelle ceux-ci ont droit en raison de leur importance" (IAEA 1991). Les sources suivantes ont servi de base pour l'élaboration de cette charte:

- Chartes existantes sur la culture de la sécurité dans des installations nucléaires en service
- Culture de la sécurité dans une installation nucléaire, KSA-Report No. 04-01 (CSA 2004)

La charte sur la culture de la sécurité est développée, comme tout autre processus, sur la base de l'organisation existante et vérifiée régulièrement au moyen de critères définis et, si nécessaire,

perfectionnée (mesures d'assurance de la qualité). La charte définit comment la direction de l'installation nucléaire interprète et promeut la culture de la sécurité, et sur la base de quels critères et caractéristiques l'efficacité est mesurée. Dans la charte sur la culture de la sécurité, les Human and Organizational Factors (HOF) sont pris en compte. L'élaboration de la charte se base sur des objectifs de performance et des critères reconnus d'organisations nationales et internationales (exploitants de centrales, AIEA).

Suivant l'approche moderne de l'orientation sur les processus, on ne se limitera pas à mesurer l'efficacité en ce qui concerne la culture de la sécurité et les facteurs humains. Des mesures seront également définies, pour déterminer comment intégrer les résultats de la mesure de l'amélioration continue de la pensée et de l'action orientées sur la sécurité (processus circulaire). Comme mesures internes, des procédures basées sur le système d'auto-évaluation (SBS) de l'association VBG (Verband der Grosskraftwerks-Betreiber) ainsi que l'évaluation d'expériences d'exploitation peuvent être mises en œuvre. Cela peut être vérifié par des organisations externes indépendantes.

Les mesures d'évaluation d'expériences d'exploitation internes et externes font également partie de la culture de la sécurité et de HOF (Human and Organizational Factors). Des événements internes (expériences internes, événements évités de peu et événements internes) sont systématiquement saisis, évalués et pris en compte dans les mesures destinées à empêcher qu'ils se reproduisent. Des événements et des expériences d'exploitation externes seront examinés du point de vue de leur pertinence pour l'installation propre, et des mesures appropriées en seront dérivées pour empêcher ou éviter les mêmes événements ou observations.

Le HOF (Human and Organisational Factors) Engineering sera intégré le plus tôt possible dans le déroulement du projet. Ceci signifie que pour ce domaine un poste compétent et responsable sera créé au sein de l'organisation. Par ce poste ou sur ordre de celui-ci, tous les sous-projets sont étudiés du point de vue des aspects HOF. Si ces aspects sont pertinents, ils sont pris en considération le plus tôt possible sur la base des normes/règles internationales (ISO/IEC, IEEE, NRC/NUREG, KTA, EPRI et d'autres normes pertinentes) par des descriptions et des spécifications.

5.5 Bases légales

Une liste des bases juridiques pertinentes pour les indications importantes relatives au personnel et à l'organisation est donnée ci-après. A cet égard, il faut tenir compte du fait que au fil du temps les parties suivantes doivent être présentées ou réalisées (voir aussi les annexes 3 et 4 OENU 2004).

Autorisation générale

Dans le cadre de la demande d'autorisation générale, un rapport de sécurité doit être présenté qui contient entre autres les grandes lignes de la sécurité nucléaire (art. 5 LENu 2003, art. 7 OENU 2004), les indications importantes relatives au personnel et à l'organisation (art. 23 OENU 2004) et un programme de gestion de la qualité (art. 25 OENU 2004).

Autorisation de construire

Pour la demande d'autorisation de construire, un programme de gestion de la qualité pour les phases d'élaboration et d'exécution du projet (art. 25 OENU 2004) doit être élaboré. Concrètement, pour l'octroi de l'autorisation de construire, les informations relatives à l'organisation structurelle, à l'effectif du personnel, à la formation du personnel, à l'allocation des ressources humaines pendant la phase de construction et un concept de formation et de perfectionnement sont exigées (art. 24 et annexe 4 OENU 2004).

La conception de l'organisation doit être disponible au moment du premier permis de construire. Celle-ci se compose des dispositions organisationnelles, des spécifications, des programmes de formation pour la mise en service, de la documentation d'exploitation provisoire, des règlements et des processus de travail (art. 24 et annexe 4 OENU 2004).

Autorisation d'exploiter

Avec la demande d'autorisation d'exploiter, les documents organisationnels et techniques conformément à l'annexe 3 (OENU 2004) et les documents selon l'annexe 4 (OENU 2004) doivent être livrés, et les exigences relatives à l'organisation doivent être remplies conformément aux articles 20 et 22 (LEnu 2003) et à l'art. 30 (OENU 2004).

Pour l'octroi de l'autorisation d'exploiter, la preuve de la compétence doit être fournie. Il devra entre autres démontrer que l'ensemble du personnel, comme requis dans l'OQPN, est qualifié et possède la compétence professionnelle nécessaire (art. 22 LENu 2003, art. 30 à 34 OENU 2004, art. 2 à 13 OQPN 2006, art. 15 OESN 2006, art. 6 LRaP 1991, art. 10 ORaP 1994, art. 2 à 5 Ordonnance sur la formation en radioprotection 1998). De plus, un système de gestion de la qualité pour l'exploitation doit être appliqué (art. 25, art. 31 OENU 2004).

Permis d'exploitation

Lors de la communication de la mise en service ou de la montée en puissance, les dispositions pour l'exploitation continue doivent être présentées. Elles doivent mentionner l'effectif du personnel et les programmes de formation et de perfectionnement pour l'exploitation continue (art. 20, art. 22 LENU 2003, art. 30 à 34, annexe 4 OENU 2004, art. 2 à 13 OQPN 2006, art. 15 OESN 2006, art. 6 LRaP 1991, art. 10 ORaP 1994, article 2 à 5 Ordonnance sur la formation en radioprotection 1998).

Tableau 5.5-1 Bases légales pertinentes pour l'organisation pendant toutes les phases du cycle de vie de l'installation

Loi sur l'énergie nucléaire (LENU 2003)	Articles 5, 20 et 22
Ordonnance sur l'énergie nucléaire (OENU 2004)	Articles 7, 23 à 25 et 30 à 34
Ordonnance sur les qualifications du personnel des installations nucléaires (OQPN 2006)	Articles 2 à 13
Ordonnance sur les qualifications du personnel des installations nucléaires (OQPN 2006)	Article 15
Loi sur la radioprotection (LRaP 1991)	Article 6
Ordonnance sur la radioprotection (ORaP 1994)	Article 10
Ordonnance sur la formation en radioprotection (Ordonnance sur la formation en radioprotection 1998)	Articles 2 à 5
Directives HSK/ENSI	
ENSI-G-07 (HSK 2008b)	Organisation des installations nucléaires
HSK-B10 Projet (ENSI 2008)	Dispositions d'exécution de l'ordonnance sur les qualifications du personnel des installations nucléaires (OQPN)
HSK-R-27 (HSK 1992b)	Sélection, formation et examen du personnel soumis à licence des centrales nucléaires
HSK-R-37 (HSK 2001)	Reconnaissance des formations et perfectionnements en matière de radioprotection dans le domaine soumis à la surveillance du HSK.

6 Références

- (ADR/RID 2009) Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR) vom 30. September 1957, SR 0.741.621, Stand am 1. Januar 2009; Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (RID, als Anhang C zum Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr/COTIF vom 9. Mai 1980, SR 0.742.403.1, Stand am 1. Januar 2009)
- (AF-Colenco 2009a) Beurteilung der Machbarkeit von Notfallschutzmassnahmen in der Umgebung von KKN für das Rahmenbewilligungsgesuch, Fachbericht Nr. 1700.0508.10.015, AF-Colenco AG, Baden, Schweiz
- (AF-Colenco 2009b) Kernkraftwerk Niederramt (KKN) Einwirkungen auf KKN bei Störfällen in der Nachbarschaft, Fachbericht Nr. 1700.0508.10.011, AF-Colenco AG, Baden, Schweiz (nicht öffentlich)
- (AF-Colenco 2009c) Aircraft Crash Frequency Estimation for the Site of Nuclear Power Plant Niederramt, Fachbericht Nr. 1700.0508.10.010, AF-Colenco AG, Baden, Schweiz
- (AF-Colenco 2009d) Hydrologische Verhältnisse am Standort des Kernkraftwerks im Niederramt, Fachbericht Nr. 1700.0508.10.013, AF-Colenco AG, Baden, Schweiz
- (AF-Colenco 2009e) Berechnung der Tornadohäufigkeit unter Berücksichtigung des Schadenszugs nach Richtlinie ENSI-A05, Fachbericht Nr. 1700.10.008, AF-Colenco AG, Baden, Schweiz
- (AF-Colenco 2009f) Geologie, Seismik und Baugrund, Fachbericht Nr. 1700.0508.10.012 zum Rahmenbewilligungsgesuch, AF-Colenco AG, Baden, Schweiz
- (AF-Colenco 2009g) Vierparametrische Ausbreitungsstatistik am Standort KKN (auf CD), AF-Colenco AG, Baden, Schweiz
- (AF-Colenco 2009h) Aktualisierte Charakterisierung der Baugrundverhältnisse im Niederramt (Raum Däniken - Gretzenbach - Niedergösgen), Bericht Nr. AFCWK-Vob-Aug09, AF-Colenco AG, Baden, Schweiz
- (AF-Colenco 2009i) Fachbericht Grundwassermodellierung, Fachbericht Nr. 1700.0508.10.016, AF-Colenco AG, Baden, Schweiz
- (AfU Solothurn 2003) Gewässerschutzkarte des Kantones Solothurn, Blatt 4 Balsthal - Gäu, Olten, Gösgen, Amt für Umwelt (AfU), Kanton Solothurn
- (AfU Solothurn 2007) Umweltdaten 2006, Zusammenstellung und Darstellung von umweltrelevanten Daten, FB 07-03, 11/2007, Amt für Umwelt (AfU), Kanton Solothurn
- (AfU Solothurn 2008a) GASO Datenbank, Amt für Umwelt (AfU), Kanton Solothurn (Einsichtnahme Januar 2008)
- (AfU Solothurn 2008b) Wasserfassungen Niederramt 2008; Mitteilung des Amtes für Umwelt (AfU), Kanton Solothurn, E-Mail vom 18. April 2008

- (AfU Solothurn 2008c) Umweltdaten 2007, Zusammenstellung und Darstellung von umweltrelevanten Daten, FB 08-02, 11/2008, Amt für Umwelt (AfU), Kanton Solothurn
- (AGIS 2007) AGIS Kanton Aargau
- (Ambraseys et al. 2005) Equations for the Estimation of Strong Ground Motions from Shallow Crustal Earthquakes Using Data from Europe and the Middle East: Horizontal Peak Ground Acceleration and Spectral Acceleration, Ambraseys, N.N., Douglas, J., Sarma, S.K. & Smit, P., Bulletin of Earthquake Engineering, 3,1-51, 2005
- (Amsler 1915) Tektonik des Staffelegg-Gebietes und Betrachtung über Bau und Entstehung des Juraostendes, Eclogae geol. Helv. XIII/4, 379-492, 1915
- (ARP 2007) Amt für Raumplanung, Kanton Basel-Landschaft, Schweiz
- (ASTM 2008) Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), Standard D-2487-00, ASTM International, West Conshohocken, USA
- (Atel Hydro 2008) Atel Hydro AG, Kraftwerk Gösgen, Erneuerung der Konzession, Voruntersuchung / Pflichtenheft zur UVP, Raum Umwelt Sicherheit (RUS), Environmental Management & Biosafety Consultants, Baden, Schweiz
- (Atel Hydro 2009) Atel Hydro AG, Überprüfung und Festlegung des Bemessungs- und Sicherheitshochwassers am Stauwehr Winznau, AF-Colenco AG, Wasserkraftanlagen, Baden, Schweiz
- (AVV 2005) Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen vom 21. Februar 1990, Bundesanzeiger 42, Nr. 125a (1990), S. 36 - 58, Revisionsentwurf, Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV
- (Baechler et al. 2009) Hydraulische Untersuchungen in Piezometerbohrungen am Standort Gösgen / Niederamt, Baechler, S., Croisé, J., Enachescu, C., Ebeling, K., Frieg, B., Jäggi, K. & Schwarz, R., Nagra Projekt Bericht NPB 09-10, Nagra, Wettingen, Schweiz
- (BAFU 2007) Klimaänderung in der Schweiz - Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, Schweiz
- (BAFU 2008a) Hydrologische Daten der Messstation Aare - Murgenthal, Homepage des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Bern, Schweiz, www.hydrodaten.admin.ch
- (BAFU 2008b) Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2007, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, Schweiz, www.umwelt-schweiz.ch/uw-0824-d
- (BAFU 2009) Regulierung der Jurarandseen wird optimiert, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, Schweiz

- (BASEMENT 2008) Basement, basic simulation environment for computation of environmental flow and hazard simulation, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETHZ, Zürich, Schweiz, www.basement.ethz.ch
- (Baur 2003) Elastomerlager und nichtlineare Standorteffekte bei Erdbebeneinwirkung, Universität Karlsruhe: Schriftenreihe des Instituts für Massivbau und Baustofftechnologie, Heft 51, 2003
- (BAV 2004) Quantitative Risikoanalyse für Gefahrguttransporte auf der Bahn, Methodik und Bewertung in der Schweiz, Ernst Basler + Partner AG, Bundesamt für Verkehr (BAV), Bern, Schweiz
- (BAZL 2009) Total Bewegungen inklusive Linien- und Charterverkehr auf Flugplätze im 50Km Radius vom Kernkraftwerk Gösgen, Datawarehouse BAZL/Airstat, Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL), Bern, Schweiz
- (Becker et al. 2005) Multiarchive Paleoseismic Record of late Pleistocene and Holoc. Strong Earthquakes in Switzerland, Becker, A., Ferry, A., Monecke, K., Schnellmann, M. & Giardini, D., Tectonophysics 400 (2005), 153-177, 2005
- (BFE 2008) Sicherheit der Stauanlagen, Basisdokument zum Nachweis der Hochwassersicherheit, Bundesamt für Energie (BFE), Ittigen, Schweiz
- (BFE 2009) Flutwellen am Standort Gösgen, Brief edc vom 05. August 2009, Bundesamt für Energie (BFE), Ittigen, Schweiz
- (BFS 1985) Arealstatistik 1979/1985, Bundesamt für Statistik (BFS), Bern, Schweiz
- (BFS 1997) Arealstatistik 1992/1997, Bundesamt für Statistik (BFS), Bern, Schweiz
- (BFS 2001) Hochstammbäume der Landwirtschaft nach Gemeinden 2001, Eidg. Obstbaumzählungen 2001, Bundesamt für Statistik (BFS), Bern, Schweiz
- (BFS 2002) NOGA (Nomenclature Générale des Activités économiques) - Allgemeine Systematik der Wirtschaftszweige, Bundesamt für Statistik (BFS) - Sektion Unternehmensstruktur und Beschäftigung, Neuchâtel, Schweiz
- (BFS 2005a) Arbeitsstätten 2005, Eidgenössische Betriebszählung 2005, Bundesamt für Statistik (BFS), Sektion Unternehmen und Beschäftigung, Neuchâtel, Schweiz, Datenlieferung vom 25. Februar 2008
- (BFS 2005b) Landwirtschaftliche Betriebszählung 2005, Bundesamt für Statistik (BFS), Neuchâtel, Schweiz
- (BFS 2007) Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Kantone 2005-2050, Kanton Aargau, Kanton Basel-Landschaft, Kanton Solothurn, Bundesamt für Statistik (BFS), Neuchâtel, Schweiz
- (Bhoje et al. 1999) Comparison of computer simulated and observed force deformation characteristics of anti-seismic devices and isolated structures, Bhoje, S., Chellapandi, P., Chetal, S., Muralikrishna, R. & Salvaraj, T., Indira Gandhi Centre for Atomic Research, India, 1999

- (Birkhäuser et al. 2001) 3-D-Seismik: Räumliche Erkundung des Wirtgesteins Opalinuston im Zürcher Weinland, Birkhäuser, Ph., Roth, Ph. Naef, H. & Meier, B., Nagra Techn. Ber. NTB 00-03, Nagra, Wettingen, Schweiz
- (Bitterli1979) Standortgebiet Born, Strukturanalyse der Born-Antiklinale, Bitterli P., Unpubl. Nagra Interner Bericht, Nagra, Wettingen, Schweiz
- (BMI 1976) Richtlinie für den Schutz von Kernkraftwerken gegen Druckwellen aus chemischen Reaktionen durch Auslegung der Kernkraftwerke hinsichtlich ihrer Festigkeit und induzierter Schwingungen sowie durch Sicherheitsabstände, Stand August 1976, Bundesministerium des Innern (BMI), Deutschland
- (BUWAL 1996a) Protokoll zum BUWAL Workshop „Risikoermittlung nach StFV bei Flüssiggastankanlagen mit mehreren Behältern“ vom 18/19. April 1996, Lütderenalp, Schweiz
- (BUWAL 1996b) Beurteilungskriterien I zur Störfallverordnung StFV, Richtlinien für Betriebe mit Stoffen, Erzeugnissen oder Sonderabfällen, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, Schweiz
- (BUWAL 2004) Wegleitung Grundwasserschutz, Vollzug Umwelt, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, Schweiz
- (Buxtorf 1916) Prognose und Befunde beim Hauensteinbasis- und Grenchenbergtunnel und die Bedeutung der letzteren für die Geologie des Jura gebirges, Verh. Natf. Ges. Basel 27, 184-254, 1916
- (BWG 2002a) Sicherheit der Stauanlagen, Richtlinien des BWG, Version 1.1, Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Biel, Schweiz
- (BWG 2002b) Sicherheit der Stauanlagen, Basisdokument zu den Unterstellungskriterien, Anhang I: Diagramme zur Bestimmung der flächigen Ausbreitung von Breschenabflüssen, Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Biel, Schweiz
- (BWG 2005) Tektonische Karte der Schweiz, 1:500'000
- (BZG 2002) Bundesgesetz über den Bevölkerungsschutz und den Zivilschutz (Bevölkerungs- und Zivilschutzgesetz, BZG) vom 4. Oktober 2002, SR 520.1, Stand am 1. Mai 2007
- (Ceppi 2008) Extreme Value Analysis of Wind Speed Observations over Switzerland, Ceppi, P., Della-Marta, P.M., Appenzeller, C., Arbeitsberichte der MeteoSchweiz, 219, 43 pp.
- (Chang 2004) Fast reactor technology plan in Korea and Expectations for MONJU 4, Tsuruga International Energy Forum, Chang M., Tsuruga, Japan, 2004
- (Chang et al. 1991) Overview and summary of the first international seminar on seismic base isolation of nuclear power facilities, Chang, Y.-W., Kuroda, T. & Martelli, A., Nuclear Engineering and Design 127(3): 287-308, 1991
- (Deichmann & Renggli 1984) Mikrobeben-Untersuchungen Nordschweiz, Teil 2: Seismizität, Deichmann, N. & Renggli, K., Januar 1983 - September 1984, Nagra Tech. Bericht NTB 84-12, Nagra, Wettingen, Schweiz

(Deichmann & Rinderknecht 2005)	Das neue seismische Messnetz der Nordschweiz und die Seismizität der Nordschweiz, Deichmann N. & Rinderknecht B., Nagra Arb. Ber. NAB 05-12, Nagra, Wettingen, Schweiz
(Deichmann 1987)	Seismizität der Nordschweiz, 1983 - 1986, Deichmann N., Nagra Tech. Bericht NTB 87-05, Nagra, Wettingen, Schweiz
(Deichmann 1990)	Seismizität der Nordschweiz, 1987 - 1989, und Auswertung der Erdbebenserien von Günsberg, Läfelfingen und Zeglingen, Deichmann N., Nagra Tech. Bericht NTB 90-46, Nagra, Wettingen, Schweiz
(Deichmann et al. 2000)	Seismizität der Nord- und Zentralschweiz, Deichmann, N., Ballarin Dolfen, D. & Kastrup, U., Schweizerischer Erdbebendienst, ETH-Zürich, Nagra Tech. Bericht NTB 00-05, Nagra, Wettingen, Schweiz
(Diebold et al. 1991)	Zur Tektonik der zentralen Nordschweiz, Interpretation aufgrund regionaler Seismik, Oberflächengeologie und Tiefbohrungen, Diebold, P., Naef, H. & Ammann, M., Nagra Tech. Bericht NTB 90-04, Nagra, Wettingen, Schweiz
(Durchgangsstrassenverordnung 1991)	Durchgangsstrassenverordnung vom 18. Dezember 1991, SR 741.272, Stand am 8. Februar 2000
(DWA 1985)	Niederschlag - Starkregenauswertung nach Wiederkehrzeit und Dauer, ATV A 121, Regelwerk der Abwassertechnischen Vereinigung e.V. (ATV), Deutschland
(ENSI 2008)	Ausführungsbestimmungen zur Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK), Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen B10, Entwurf, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), Villigen, Schweiz
(ENSI 2009a)	Anforderungen an die Qualität und den Umfang einer Probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA), Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A05, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), Villigen, Schweiz
(ENSI 2009b)	Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für Kernanlagen: Umfang Methodik und Randbedingungen der technischen Störfallanalyse, Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen A01, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), Villigen, Schweiz
(ENSI 2009c)	Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Planung, Herstellung und Montage, Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G11, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), Villigen, Schweiz
(Ernst Basler + Partner 1999)	Pilotrisikoanalyse für den Transport gefährlicher Güter, Fallbeispiel Autobahn, Unterarbeitsgruppe „Beurteilung Verkehrswege“, 98172-2, Ernst Basler + Partner AG, Zollikon, Schweiz

(Ernst Basler + Partner 2007)	Personenrisiken beim Transport gefährlicher Güter auf der Bahn, Aktualisierte netzweite Abschätzung der Personenrisiken (screening 2006), SBB, BLS AG, BAV, BAFU, Ernst Basler + Partner AG, Zollikon, Schweiz
(ERPG 2009)	Current ERPG-Values (2008), American Industrial Hygiene Association, www.aiha.org/1documents/Committees/ERP-erpglevels.pdf
(ESRI 2008)	Software ArcGIS 9.3, Environmental Systemes Research Institute (ESRI Inc)
(Euratom 1996)	Richtlinie 96/29 Euratom des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen, Rat der Europäischen Union, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 159/1, Brüssel, Belgien
(Ferry et al. 2005)	Evidence for Holocene Paleoseismicity Along the Basel-Reinach Active Normal Fault (Switzerland): A Seismic Source for the 1356 Eartquake in the Upper Rhine Graben, Ferry, A., Meghraoui, M., Delouis, B. & Giardini, D., Geophysical Journal International, vol. 160 Nr. 2, S. 554-572, 2005
(Fröhlicher 1969)	Die Grundwasservorkommen im Niederamt Olten - Aarau und die Möglichkeiten ihrer Nutzung., 21 Beilagen und 13 Tabellen, Fröhlicher H., Schweiz, 1969
(GASO 2008)	GASO Datenbank, Amt für Umwelt (AfU), Kanton Solothurn (Einsichtnahme)
(GCPQRA 1999)	Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, Second Edition, Center for Chemical Process Safety (CCPS) of the American Institute of Chemical Engineers, Wiley & Sons, ISBN: 0-8169-0720-X, 1999
(GeoExpert 2008)	Seismische Erkundung im Niederamt, Bericht 7. Januar 2008, GeoExpert AG, Schwerzenbach, Schweiz (unpubliziert)
(GEWISS 2009)	Strukturierung und Adressierung des Gewässernetzes, 1:25'000, nach Modell gwn25-07, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, Schweiz, www.bafu.admin.ch/hydrologie/01835/02118/
(Giardini et al. 2004)	Seismic Hazard Assessment of Switzerland, Giardini, D., Wiemer, S., Fäh, D. & Deichmann N., Schweizerischer Erdbebendienst (SED), ETH Zürich, Zürich, Schweiz, 2004
(GSchV 1998)	Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998, SR 814.201, Stand am 1. Juli 2008
(HSK 1987)	Auslegungskriterien für Sicherheitssysteme von Kernkraftwerken mit Leichtwasser-Reaktoren, Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-101, Neudruck Januar 1993, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz

- (HSK 1989) Anlageninterne Massnahmen gegen die Folgen schwerer Unfälle, Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-103, Neudruck 1993, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz
- (HSK 1992a) Aufsichtsverfahren beim Bau und Betrieb von Kernanlagen, HSK-Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-30, Neudruck Januar 1993, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz
- (HSK 1992b) Auswahl, Ausbildung und Prüfung des lizenzpflichtigen Betriebspersonals von Kernkraftwerken, Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-27, Neudruck Januar 1993, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz
- (HSK 1993) Richtlinie für die meteorologischen Messungen an Standorten von Kernanlagen, Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-32, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz
- (HSK 1994) Beurteilung der Gefährdung des Kernkraftwerks Gösgen durch den Bau einer Parallellleitung zur Transitgasleitung - Abschnitt Wallbach - Däniken, Aktennotiz HSK 17/215 vom 21. März 1994, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz
- (HSK 1995) Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Institutes, Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-7, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz
- (HSK 2001) Anerkennung von Strahlenschutz - Ausbildungen und Fortbildungen im Aufsichtsbereich der HSK, Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-37, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz
- (HSK 2003) Strahlenschutzziele im Normalbetrieb von Kernanlagen, Richtlinie für schweizerische Kernanlagen R-11, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz
- (HSK 2006) Referenzszenarien für den Notfallschutz in der Umgebung der schweizerischen Kernkraftwerke, Ausgabe 2, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz
- (HSK 2007) Neubestimmung der Erdbebengefährdung an den KKW Standorten in der Schweiz (Projekt PEGASOS), HSK-AN-6252, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz
- (HSK 2008a) Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen, Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G14, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz

- (HSK 2008b) Organisation von Kernanlagen, Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G07, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen, Schweiz
- (IAEA 1991) Safety Culture, Safety Series No. 75-INSAG-4, International Nuclear Safety Advisory Group, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria
- (IAEA 2002) Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants Safety Guide No. NS-G-3.3, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria
- (IAEA 2003) Site Evaluation for Nuclear Installations, Safety Requirements No. NS-R-3, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria
- (IAEA 2005) Radiation Protection Aspects of Design for Nuclear Power Plants Safety, Safety Guide No. NS-G1.13, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria
- (IAEA 2007) Preliminary findings and lessons learned from the 16 July 2007 earthquake at Kashiwazaki-Kariwa NPP, Engineering safety review service, seismic safety expert mission 6-10 August 2007, Mission Report Volume I and II, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria
- (IAEA 2008) Follow-up IAEA mission in relation to the findings and lessons learned from the 16 July 2007 earthquake at Kashiwazaki-Kariwa NPP, Engineering safety review service, seismic safety expert mission 28 January - 1 February 2008, Mission Report Volume I and II, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria
- (IAEA 2009) 2nd follow-up IAEA mission in relation to the findings and lessons learned from the 16 July 2007 earthquake at the Kashiwazaki-Kariwa NPP, Engineering safety review service, seismic safety expert mission 1-5 December 2008, Mission Report, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria
- (ICRP 1993) Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission 1990, ICRP-Veröffentlichung 60, Bundesamt für Strahlenschutz (DE), Bundesamt für Gesundheit (CH), Bundesministerium für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz (AT), Stuttgart, Deutschland
- (ICRP 2006a) Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of Radiation Protection of the Public, ICRP Publication 101 Part 1, International Commission on Radiological Protection (ICRP), 2006
- (ICRP 2006b) The Optimisation of Radiological Protection: Broadening the Process, ICRP Publication 101 Part 2, International Commission on Radiological Protection (ICRP), 2006
- (ICRP 2007) The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, International Commission on Radiological Protection (ICRP)

- (Interoil 2009) PEGASOS Refinement Project, Site Investigations for KKG & ATEL, Report IO09-TA0618, InterOil E&P Switzerland AG, Zürich, Schweiz
- (Jäckli & Kempf 1972) Hydrologische Karte Bözberg - Beromünster, Erläuterungen, Schweiz. Geotech. Komm., Zürich, Schweiz
- (Jordan 1992) Evidence for large-scale decoupling in the Triassic evaporites of Northern Switzerland - An overview, *Eclogae geol. Helv.* 85/3, 677-693, 1992
- (Jordan 2007) Digitales Höhenmodell, Basis Quartär, Nagra Arb. Ber. NAB 07-12, Nagra Wettingen, Schweiz
- (Kageyama et al. 2003) Development of three-dimensional base isolation system with cable reinforcing air spring, Kageyama, M, Iba, T., Umeki, K, Somaki, T. & Moro, S., 17 International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology-SMIRT 17, paper no. Ko9-5, Prague, Czech Republic
- (Kanton AG 2003) Bevölkerungsprognose 2002, Statistische Mitteilung Nr. 83, Statistisches Amt des Kantones Aargau, Aarau, Schweiz
- (Kanton AG 2007a) Pflegeheimliste für den Kanton Aargau, Stand Oktober 2007, Departement Gesundheit und Soziales des Kantones Aargau, Gesundheitsdienste, Aarau, Schweiz
- (Kanton AG 2007b) Spitalliste für den Kanton Aargau, Stand April 2007, Departement Gesundheit und Soziales des Kantones Aargau, Gesundheitsdienste, Aarau, Schweiz
- (Kanton AG 2009a) Schulstatistik 2008/2009, Statistisches Amt des Kantones Aargau, Heft 101, Aarau, Schweiz
- (Kanton AG 2009b) Rahmenbewilligungsgesuch Kernkraftwerk Niederamt (KKN): Stellungnahme AVS, Chemiesicherheit vom 7. Mai 2009, Departement Gesundheit und Soziales, Amt für Verbraucherschutz, Kanton Aargau, Schweiz
- (Kanton AG, BE, SO 1996) Hydraulische, geschiebemechanische und flussmorphologische Machbarkeitsstudie zur Reaktivierung des Geschiebehaushalts der Aare zwischen der Emme und dem Rhein, Baudepartement des Kantones Solothurn; Bau-, Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement des Kantones Bern; Baudepartement des Kantones Aargau, Technischer Bericht, Schälchli, Abegg + Hunzinger, Zürich, Schweiz
- (Kanton BE 2007) Extremhochwasser im Einzugsgebiet der Aare, EHW Aare, Bericht 2007, Bau- Verkehrs- und Energiedirektion des Kantones Bern, Bern, Schweiz
- (Kanton BL 2006) Anzahl der Schüler 2006, Statistisches Amt des Kantones Basel-Landschaft, E-Mail vom 06.03.2008
- (Kanton BL 2007) Spitalliste für den Kanton Basel-Landschaft 2007, Statistisches Amt des Kantones Basel-Landschaft, Liestal, Schweiz
- (Kanton SO 2002) Schulstatistik, Stand 2002, Departement für Bildung und Kultur des Kantones Solothurn, Solothurn, Schweiz

- (Kanton SO 2005) Gesamtübersicht mittleres Szenario nach Gemeinden/Bezirken/Raumplanung/ Agglomerationen, Amt für Finanzen, Solothurn, Schweiz, www.so.ch/departemente/finanzen/amt-fuer-finanzen/statistik/themen/bevoelkerung/prognose.html
- (Kanton SO 2007) Durchschnittliche Anzahl belegte Betten 2007, Solothurner Spitäler AG, Direktion Kantonsspital Olten, E-Mail vom 05.03.2008
- (Kanton SO 2008) Heimliste 2008 Kanton Solothurn, Department des Innern des Kantones Solothurn, Solothurn, Schweiz
- (Kanton SO 2009) Rahmenbewilligungsverfahren KKN; Amt für Umwelt (AfU), Kanton Solothurn, Fachstelle Anlagensicherheit, E-Mail vom 4. Mai 2009
- (Kanton SO, AG 2009) Erneuerung der Konzession für das Kraftwerk Gösgen, Voruntersuchungen und Pflichtenheft: Stellungnahme der Umweltschutzfachstellen der Kantone Aargau und Solothurn; Schreiben vom 26. Februar 2009
- (Kanton ZH 1992) Schadenausmasseseinschätzung, Referenzbeispiele und Hilfsmittel, Direktion des Innern des Kantones Zürich, Koordinationsstelle für Störfallvorsorge, Zürich, Schweiz
- (Kastrup et al 2004) Stress field variations in the Swiss Alps and the northern Alpine foreland derived from inversion of fault plane solutions, Kastrup, U., Zoback, M. L., Deichmann, N., Evans, K.F., Giardini, D. & Michael, A.J., Journal of Geophysical Research 109, B01402, 2004
- (Kastrup et al 2007) Evidence for an active fault below the Northwestern Alpine Foreland of Switzerland, Kastrup, U., Deichmann, N., Fröhlich, A. & Giardini, D., Geophysical Journal International, 169(3), 1273-1288, 2007
- (Kaufmann + Bader 2009) Waldstandort-Kartierung und Waldbrand-Beurteilung, Fachbericht Wald, Kaufmann + Bader Forstingenieure/Umweltfachleute, BSB+Partner Ingenieure und Planer, Dokument-Nr. 20909_090715, Version 4, Solothurn, Schweiz
- (KEG 2003) Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003, SR 732.1, Stand am 1. Januar 2009
- (Kelly 2004) Earthquake Engineering - From Engineering Seismology to Performance Based Engineering, Kapitel 11 Seismic Isolation, Kelly, J.M., Bozorgnia & Bertero (Hrg), CRC Press, 2004
- (KEV 2004) Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004, SR 732.11, Stand am 1. Januar 2009
- (KKG 2009a) Grundwassersituation KKG: Messdaten vom 01.09.1979 bis 30.06.2009; Technisches Protokoll TNP-D-29917, Rev. v5, Kernkraftwerk Gösgen, Däniken, Schweiz
- (KKG 2009b) PEGASOS Refinement Project: Ingenieurtechnische Bewertung seismischer Störungen im Umkreis des Standortes Niederramt/Gösgen, Aktennotiz ANO-D-37210, Kernkraftwerk Gösgen, Däniken, Schweiz

- (KKN 2008a) Rahmenbewilligungsgesuch für ein neues Kernkraftwerk im Niederamt, Sicherheitsbericht, Ber-08-003 Version V002 vom 01.10.2009, Kernkraftwerk Niederamt AG, Olten, Schweiz
- (KKN 2008b) Rahmenbewilligungsgesuch für ein neues Kernkraftwerk im Niederamt, Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung, Ber-08-007, Version V002 vom 14.10.2009, Kernkraftwerk Niederamt AG, Olten, Schweiz
- (KKN 2008c) Rahmenbewilligungsgesuch für ein neues Kernkraftwerk im Niederamt, Umweltverträglichkeitsbericht 1. Stufe, Ber-08-006, Version V002 vom 14.10.2009, Kernkraftwerk Niederamt AG, Olten, Schweiz
- (KomABC 2006) Konzept für den Notfallschutz in der Umgebung der Kernanlagen, Eidgenössische Kommission für ABC-Schutz, KomABC 2006-03-D
- (KSA 2004) Sicherheitskultur in einer Kernanlage, Erfassung, Bewertung, Förderung, KSA-Report No. 04-01, Eidgenössische Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen (KSA), Villigen, Schweiz
- (KTA 1999) Nachwärmeabfuhrsysteme von Leichtwasserreaktoren, Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses, KTA-Regel 3301, Fassung 6/99, www.kta-gs.de
- (KTA 2000) Auslegung von Kernkraftwerken gegen Seismische Einwirkungen, Teil 2: Baugrund, Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses, KTA-Regel 2201.2, Fassung 06/00, www.kta-gs.de
- (KTA 2001) Allgemeine Forderungen an die Qualitätssicherung, Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses, KTA-Regel 1401, Fassung 06/01, www.kta-gs.de
- (KTA 2006) Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre, Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses, KTA-Regel 1508, Fassung 11/06, www.kta-gs.de
- (Laubscher 1961) Die Fernschubhypothese der Jurafaltung, Eclogae geol. Helv. 54/1, 221-282, 1961
- (Laubscher 1985) The eastern Jura: relations between thin-skinned and basement tectonics, local and regional, Nagra Tech. Ber. NTB 85-53, Nagra, Wettingen, Schweiz
- (Laubscher 2008) Hundert Jahre Aschermodell für den Faltenjura - seine Beziehung zum Tafeljura aus heutiger Sicht, Jb. Mitt. Oberrhein, Ver. N.F.90, 19-43, Stuttgart, Deutschland
- (LeV 1994) Verordnung über elektrische Leitungen (Leitungsverordnung, LeV) vom 30. März 1994, SR 734.31, Stand am 1. September 2009
- (Mayer-Rosa et al. 1984) Mikrobeben-Untersuchungen Nordschweiz, Mayer-Rosa, D., Dietiker, M., Deichmann, N., Renggli, K., Braendli, J., Studer, J. & Rutishauser, G., Nagra Tech. Bericht NTB 84-11, Teil 1, Nagra, Wettingen, Schweiz

- (MeteoSchweiz 2009a) Basisanalysen ausgewählter klimatologischer Parameter am Standort KKW-Gösgen, Arbeitsberichte MeteoSchweiz, 225, Veröffentlichung Ende 2009 geplant
- (MeteoSchweiz 2009b) SwissMetNet - Das neue meteorologische Messnetz der MeteoSchweiz, www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/forschung/projekte/swissmetnet.html
- (Monecke et al 2006) Earthquake-induced Deformation Structures in Lake Sediments - The Paleoseismic Record for Central Switzerland, Monecke, K., Anselmetti, F.S., Becker, A., Schnellmann, M., Sturm, M. & Giardini, D., Eclogae geol. Helv. 99, 343-362, 2006
- (Müller & Briegel 1980) Mechanical aspects of the Jura overthrust, Eclogae geol. Helv. 73/1, 239-250, 1980
- (Müller et al. 1984) Erläuterung zur "Geologischen Karte der zentralen Nordschweiz 1:100'000", Müller, W.H., Huber, M., Isler, A. & Kleboth, P., Nagra Tech. Ber. NTB 84-25, Nagra, Wettingen, Schweiz
- (Müller et al. 2002) Geologische Entwicklung der Nordschweiz, Neotektonik und Langzeitszenarien Zürcher Weinland, Müller, W.H., Naef, H. & Graf, H.R., Nagra Tech. Ber. NTB 99-08, Nagra, Wettingen, Schweiz
- (Naef 2009) Reflexionsseismik Gösgen 2007/2008, Kurzbericht Nr. CH 09-04
- (Nagra 2004) Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites (PEGASOS Project), Final Report, Nagra, Wettingen, Schweiz
- (Nagra 2005) Darstellung und Beurteilung der aus sicherheitstechnisch- geologischer Sicht möglichen Wirtgesteine und Gebiete, Nagra Tech. Ber. NTB 05-02, Nagra, Wettingen, Schweiz
- (Nagra 2008) Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager, Nagra Tech. Ber. NTB 08-04, Nagra, Wettingen, Schweiz
- (NEA 2005) Optimisation in Operational Radiological Protection - A Report by the Working Group on Operational Radiological Protection of the Information System on Occupational Exposure, Nuclear Energy agency (NEA), NEA No. 5411, Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD)
- (Notfallschutzverordnung 1983) Verordnung über den Notfallschutz in der Umgebung von Kernanlagen (Notfallschutzverordnung) vom 28. November 1983, SR 732.33, Stand am 1. Januar 2009
- (Nuclear Pools' Forum 2006) International Guidelines for the Fire Protection of Nuclear Power Plants, Nuclear Pools' Forum, 4th Edition, 2006

- (Nujic 2008) HYDRO_AS-2D, zweidimensionale Strömungs- und Abflusssimulation, ein zweidimensionales Strömungsmodell für die wasserwirtschaftliche Praxis, Dr.- Ing. Marinko NUJIC, Rosenheim, Deutschland, www.ib-nujic.de/
- (Nuklearforum 2007) Angebot und Bedarf in der nuklearen Lehre und Forschung in der Schweiz, Nuklearforum Schweiz, Bern, Schweiz
- (OcCC 2007) Klimaänderung und die Schweiz 2050, Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft, Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung (OcCC), Departement des Innern (EDI) und Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), ProClim - Forum für Klima und Global Change der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT), Bern, Schweiz
- (OcCC 2008) Das Klima ändert - was nun? Der neue UN-Klimabericht (IPCC 2007) und die wichtigsten Ergebnisse aus Sicht der Schweiz, Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung (OcCC), Departement des Innern (EDI) und Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), Bern, Schweiz
- (Pavoni 1961) Faltung durch Horizontalverschiebung, Eclogae geol. Helv. 54/2, 516-534
- (Pfiffner & Heitzmann 1997) Geological interpretation of the seismic profiles of the central traverse (lines C1, C2 and C3-north), Pfiffner, O.A. & Heitzmann P., 1997. In: Results of NPR 20 deep structure of the Swiss Alps, Birkhäuser, Basel, Switzerland
- (PMP 2007) Cartes des précipitations extrêmes pour la Suisse, Hertig, J.-A, Audouard, A., Laboratoire de mécanique des fluides environnementale - EFLUM, Rapport final, décembre 2005, revidierte PMP-Karten, novembre 2007, EPFL, Lausanne, Suisse
- (Priolo et al. 2003) Estimation of the median near fault ground motion in Switzerland, Priolo, E., Vuan, A., Klinc, P., Laurenzano, G., report #8, PEGASOS Technical Note EXT-TN-0384
- (Rahmenbericht Erdgas 1997) Sicherheit von Erdgas-Hochdruckanlagen, Rahmenbericht, Revidierte Ausgabe 1997, Schweizerische Erdgaswirtschaft in Zusammenarbeit mit SKS Ingenieure AG, Zürich, Schweiz
- (Roth 2003) Comparison between the SP2 final models and the OGS near-field simulations, PEGASOS Technical Note TP2-TN-0385
- (Rüegg-Stürm 2002) St. Galler Management Modell (SGMM), die neuen Grundkategorien einer integrierten Managementlehre, der HSG-Ansatz, Haupt Verlag, 2002, Bern, Schweiz
- (SAFER TRACE 2006) Engineering-Grade Chemical Emergency Response Management Solution for Risk Analysis, Prediction and Evaluation, Version 9.1 (2006), SAFER Systemes, LLC, Camarillo, CA 93012, USA
- (SBB 2000) Propangastankanlagen zur Weichenheizung, Bahnspezifisches Zusatzprotokoll vom 28. März 2000, SBB

- (Schlatter 2008) Neotektonische Untersuchungen in der Nordschweiz: Kinematische Ausgleichung der Landesnivellementlinien und Übersicht über die Ergebnisse der geodätischen Messungen, Nagra Arb. Ber. NAB 07-13, Nagra, Wettingen, Schweiz
- (Schmassmann 1994) Geotechnischer-Hydrogeologischer Bericht der Bohrungen BT 5 und BT 6 / BT 6*, SBB CFF FFS Hauptabteilung Bau Kreis II, Ingenieurbau, 2. Doppelspur Aarau-Däniken, Eppenbergtunnel, Anhänge A1+A2, Geologisches Institut Dr. Schmassmann, Aarau, Schweiz
- (Schnellmann et al. 2006) 15'000 Years of Mass-Movement History in Lake Lucerne: Implications for Seismic and Tsunami Hazard, Schnellmann, M., Anselmetti, F.S., Giardini, D., & McKenzie, J.A.; Eclogae geol. Helv. 99, 409-428, 2006
- (SDR 2002) Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR) vom 29. Nov. 2002, SR 741.621, Stand am 01. Januar 2008
- (SED 2008) Earthquake Catalogue of Switzerland; Schweizerischer Erdbebendienst (SED), www.seismo.ethz.ch.
- (SIA/SN 2003) Einwirkungen auf Tragwerke, Norm SIA 261 / Schweizer Norm SN 505 261, SIA/SN
- (Sieber Cassina + Partner 1996) PEMAG, Erneuerung Wasserkraftwerk Gösgen, Baugrunduntersuchungen 1994/1996., Sieber Cassina + Partner AG, Olten, Schweiz
- (SN 2004) Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 2: Grundlagen der Bodenklassifizierung, SN EN ISO 14688-2, Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV), Winterthur, Schweiz
- (SOGIS 2007) SO!GIS Kanton Solothurn, Richtplan - Bauzonen
- (SOGIS 2008) SO!GIS Kanton Solothurn, Interaktive Naturgefahrenhinweiskarte
- (Stat 2008) Statistikdienst Kanton Solothurn, Statistisches Amt Kanton Aargau, Statistisches Amt Basel-Landschaft, Amt für Statistik Kanton Luzern
- (Stat-Verordnung 1993) Verordnung über die Durchführung von statistischen Erhebungen des Bundes (Statistikerhebungsverordnung) vom 30. Juni 1993, SR 431.012.1, Stand am 1. Februar 2009
- (StFV 1991) Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV) vom 27. Februar 1991, SR 814.012, Stand am 1. Juli 2008
- (Strasser et al. 2006) Magnitudes and Source Areas of Large Prehistoric Northern Alpine Earthquake Revealed by Slope Failures in Lakes, Strasser, M., Anselmetti, F.S., Fäh, D., Giardini, D., & Schnellmann, M, Geology 34, 1005-1008, 2006
- (Strohm & Ulich 1999) Ganzheitliche Betriebsanalyse unter Berücksichtigung von Mensch, Technik, Organisation (MTO-Analyse), Strohm O., Ulich, E., 1999. Aus: Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren, Dunckel H., Band 14, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Zürich, Schweiz

(StS-Ausbildungs- verordnung 1998)	Verordnung über die Ausbildungen und die erlaubten Tätigkeiten im Strahlenschutz (Strahlenschutz-Ausbildungsverordnung) vom 15. September 1998, SR 814.501.261, Stand am 1. Januar 2009
(StSG 1991)	Strahlenschutzgesetz (StSG) vom 22. März 1991, SR 814.50, Stand am 28. Dezember 2004
(StSV 1994)	Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 22. Juni 1994, SR 814.501, Stand am 1. Januar 2008
(Studer et al. 2007)	Bodendynamik - Grundlagen, Kennziffern, Probleme und Lösungsansätze, Studer, J.A., Laue, J. & Koller, M.G, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 2007
(SUVA 2009)	Grenzwerte am Arbeitsplatz 2009, Suva, Abteilung Arbeitsmedizin, Luzern
(Swissgas 2008)	Erdgas-Zusammensetzung der Swissgas-Importe im Jahr 2008, Schweizerische Aktiengesellschaft für Erdgas (Swissgas), Zürich, Schweiz, www.swissgas.ch/media/pdfs/Erdgas-Zusammensetz_D_08.pdf
(Swisstopo 2007)	Gemeindegrenzen GG25, Bundesamt für Landestopographie Swisstopo, www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/landscape/gg25.html
(Tajirian et al. 1990)	Elastomeric Bearings for Three-Dimensional Seismic Isolation, ASME PVP Conference, Tajirian, F., Kelly, M., Aiken, I. & Veljovich, W., Nashville, Tennessee, June 1990
(Terzaghi 1967)	Soil Mechanics in Engineering Practice, 2 nd Edition, John Wiley & Sons, 1967, New York, USA
(TorDACH 2008)	TorDACH Ausbildungsmaterial, TorDACH - Kompetenzzentrum für Lokale Unwetter, www.tordach.org/
(TSM 2007)	Milchproduktion 2006/2007, TSM Treuhand GmbH, Bern, E-Mail vom 05.12.2007
(USACE 1991)	Frazil Ice Blockage of Intake Trash Racks, Steven F. Daly, US Army Corps of Engineers, Cold Regions Technical Digest No. 91-1, www.crrel.usace.army.mil/techpub/CRREL_Reports/reports/CRTD91_01.pdf
(USNRC 1998)	General Site Suitability Criteria für Nuclear Power Stations, Regulatory Guide 4.7, US Nuclear Regulatory Commission (USNRC), Revision 2
(Ustaszewski & Schmid 2007)	Neotectonic activity in the Upper Rhine Graben - Jura Mountains junction (North-Western Switzerland and adjacent France), Bull. Angew. Geol., 12/1, 3-19, 2007
(UVEK 2003)	Extremereignisse und Klimaänderung, Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung (OcCC), Departement des Innern (EDI) und Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), Bern, Schweiz

- (UVEK 2008) Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und Sicherungsmassnahmen für Kernanlagen und Kernmaterialien vom 16. April 2008, SR 732.112.1, Stand am 1. Mai 2008
- (UVEK 2009) Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen vom 17. Juni 2009, SR 732.112.2, Stand am 1. August 2009
- (VAPK 2006) Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) vom 9. Juni 2006, SR 732.143.1, Stand am 1. Januar 2009
- (VBWK 2006) Verordnung über die Betriebswachen von Kernanlagen (VBWK) vom 9. Juli 2006, SR 732.143.2, Stand am 1. Januar 2009
- (VDI 2000) Meteorologische Messungen für Fragen der Luftreinhaltung - Wind, VDI-Richtlinie 3786, Blatt 2, Verein Deutscher Ingenieure (VDI)
- (VEOR 2007) Verordnung über die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität (VEOR) vom 17. Oktober 2007, SR 520.17, Stand am 1. Januar 2009
- (Wells & Coppersmith 1994) New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement, Wells, D.L. & Coppersmith, K.J., Bull. Seismol. Soc., Am. 84, 974-1002, 1994
- (Wiget et al. 2007) GPS-Netz Neotektonik Nordschweiz 2004: Messkampagne im Auftrag der Nagra und Deformationsanalyse 1988-1995-2004, Wiget, A., Schlatter, A., Brockmann, E., Ineichen, D., Marti, U. & Egli, R., Nagra Arb. Ber. NAB 06-04, Nagra, Wettingen, Schweiz
- (WWA 1980/82) Regulierung der Jurarandseen bei Hochwasser, Wasserwirtschaftsamt des Kantones Bern (WWA), Bern, Schweiz
- (Yoo & Kulak 2002) Application of seismic isolation to the STAR-LM reactor, 10th International Conference on Nuclear Engineering, Arlington, Virginia, 14-18 April 2002: paper no. ICONE 10 - 22506
- (Yoo et al. 2000) Seismic base isolation technologies for Korea liquid metal reactor, Nuclear Engineering and Design, Yoo, B., Lee, J.-H., Koo, G.-H., Lee, H.-Y. & Kim, J.-B., 199 (1-2), 125-142, 2000
- (Ziegler 1990) Geological atlas of Western and Central Europe, Second and completely revised edition, Shell International petroleum, Maatschappij B.V., Elsevier, Amsterdam, Netherlands
- (Zippelt & Dierks 2007) Auswertung von wiederholten Präzisionsnivellements im südlichen Schwarzwald, Bodenseeraum sowie in angrenzenden schweizerischen Landesteilen, Nagra Arbeitsbericht NAB 07-27, Nagra, Wettingen, Schweiz

7 Listes

7.1 Liste des figures

Figure 2.2.1	Carte à grande échelle du Niederamt avec indication de l'aire du projet	9
Figure 2.2-2	Carte à grande échelle du Niederamt avec l'aire du projet - Variante 1 (y compris la disposition des groupes fonctionnels a - f sur les aires partielles conformément au chapitre 2.2.2).....	11
Figure 2.2-3	Carte à grande échelle du Niederamt avec l'aire du projet - Variante 2 (y compris la disposition des groupes fonctionnels a - f sur les aires partielles conformément au chapitre 2.2.2).....	12
Figure 2.2-4	Plan de masse des bâtiments centraux de production d'électricité dans une centrale nucléaire (représentation schématique à une échelle approximative) RA : réacteur, R : bâtiment du réacteur, M : salle de machines	15
Figure 2.2-5	Vue latérale schématique d'une tour de réfrigération hybride à une échelle approximative	15
Figure 3.2-1	Position de l'aire du projet (base : carte nationale 1 : 25'000, reproduite avec l'autorisation de swisstopo BM092332).....	34
Figure 3.2-2	Nombres d'habitants par commune dans un rayon de 10 km, état au 31.12.2008	40
Figure 3.2-3	Nombres d'habitants par secteur de zone annulaire dans un rayon de 10 km, état au 31.12.2008	41
Figure 3.2-4	Nombres d'habitants et densité de la population par secteur de zone annulaire dans un rayon de 10 km, état au 31.12.2008.....	42
Figure 3.2-5	Raccordements aux voies de communication dans la zone 1 et le voisinage immédiat de la CNN	61
Figure 3.3-1	Carte de la région autour du site de la CNN avec les voies de communication principales	64
Figure 3.3-2	Sites des entreprises OPAM situées dans un rayon de 8 km de la CNN (Différentes entreprises sont situées sur le même site)	68
Figure 3.3-3	Canalisations à haute pression de gaz naturel dans la région, source : Gasverbund Mittelland AGForêts	70
Figure 3.4-1	Site CNN, rose des vents, hauteur 10 m, période de mesure janvier 1988 - décembre 2008, toute l'année.....	101
Figure 3.4-2	Site CNN, rose des vents, hauteur 110 m, période de mesure janvier 1988 - décembre 2008, toute l'année.....	101
Figure 3.4-3	Site CNN, rose des vents, hauteur 10 m, période de mesure janvier 1988 - décembre 2008, semestre d'été	101

Figure 3.4-4	Site CNN, rose des vents, hauteur 110 m, période de mesure janvier 1988 - décembre 2008, semestre d'été	101
Figure 3.4-5	Site CNN, rose des vents, hauteur 10 m, période de mesure janvier 1988 - décembre 2008, semestre d'hiver	102
Figure 3.4-6	Site CNN, rose des vents, hauteur 110 m période de mesure janvier 1988 - décembre 2008, semestre d'hiver	102
Figure 3.4-7	Fréquence cumulée de la vitesse du vent à une hauteur 10 m et de 110 m, période de mesure janvier 1988 - décembre 2008	104
Figure 3.4-8	Site CNN, rose des vents, hauteur 10 m, période de mesure janvier 1989 - décembre 2008, catégorie de diffusion A	107
Figure 3.4-9	Site CNN, rose des vents, hauteur 110 m, période de mesure janvier 1989 - décembre 2008, catégorie de diffusion A	107
Figure 3.4-10	Site CNN, rose des vents, hauteur 10 m, période de mesure janvier 1989 - décembre 2008, catégorie de diffusion B	108
Figure 3.4-11	Site CNN, rose des vents, hauteur 110 m, période de mesure janvier 1989 - décembre 2008, catégorie de diffusion B	108
Figure 3.4-12	Site CNN, rose des vents, hauteur 10 m, période de mesure janvier 1989 - décembre 2008, catégorie de diffusion C	108
Figure 3.4-13	Site CNN, rose des vents, hauteur 110 m, période de mesure janvier 1989 - décembre 2008, catégorie de diffusion C	108
Figure 3.4-14	Site CNN, rose des vents, hauteur 10 m, période de mesure janvier 1989 - décembre 2008, catégorie de diffusion D	109
Figure 3.4-15	Site CNN, rose des vents, hauteur 110 m, période de mesure janvier 1989 - décembre 2008, catégorie de diffusion D	109
Figure 3.4-16	Site CNN, rose des vents, hauteur 10 m, période de mesure janvier 1989 - décembre 2008, catégorie de diffusion E	109
Figure 3.4-17	Site CNN, rose des vents, hauteur 110 m, période de mesure janvier 1989 - décembre 2008, catégorie de diffusion E	109
Figure 3.4-18	Site CNN, rose des vents, hauteur 10 m, période de mesure janvier 1989 - décembre 2008, catégorie de diffusion F	110
Figure 3.4-19	Site CNN, rose des vents, hauteur 110 m, période de mesure janvier 1989 - décembre 2008, catégorie de diffusion F	110
Figure 3.4-20	Site CNN et station de Buchs / Aarau, somme des précipitations dans la moyenne mensuelle des différents mois (période de mesure janvier 1989 - décembre 2008)	114
Figure 3.4-21	Site CNN, rose des vents des précipitations, hauteur de référence 110 m, période de mesure de janvier 1989 à décembre 2008, toute l'année	115
Figure 3.4-22	Site CNN, rose des vents des précipitations, hauteur de référence 110 m, période de mesure janvier 1989 - décembre 2008, semestre d'été	115

Figure 3.4-23	Site CNN, rose des vents des précipitations, hauteur de référence 110 m, période de mesure janvier 1989 - décembre 2008, semestre d'hiver.....	115
Figure 3.4-24	Analyse des valeurs extrêmes des vitesses de rafales à une hauteur de 10 m sur le site de la CNN : fonction de distribution de Gumbel avec un intervalle de confiance de 90 %.....	121
Figure 3.4-25	Analyse des valeurs extrêmes des vitesses de rafales à une hauteur de 110 m sur le site de la CNN : fonction de distribution de Gumbel avec un intervalle de confiance de 90 %.....	121
Figure 3.4-26	Analyse des valeurs extrêmes des précipitations de 10 minutes sur le site de la CNN : fonction de distribution de Gumbel ajustée avec un intervalle de confiance de 90 %.....	126
Figure 3.4-27	Évaluation des valeurs extrêmes des hauteurs de neige sur le site de la CNN : fonction de distribution de Gumbel ajustée avec l'intervalle de confiance de 90 %.....	128
Figure 3.4-28	Température moyenne pour sur l'année entière ainsi que sur l'hiver (DJF) et sur l'été (JJA) avec des droites de régression linéaires à titre indicatif.....	132
Figure 3.4-29	Précipitations moyennes sur l'année entière ainsi que sur le semestre d'hiver (octobre - mars) et le semestre d'été (avril - septembre) avec des droites de régression linéaires à titre indicatif.....	133
Figure 3.5-1	Moyennes journalières et annuelles des débits sur le site de la CNN (calculées à partir des mesures de Murgenthal).....	137
Figure 3.5-2	Maxima de débits sur le site de la CNN (calculés à partir des valeurs de mesure de Murgenthal).....	138
Figure 3.5-3	Minima de débits sur le site de la CNN (calculés à partir des valeurs de mesures de Murgenthal).....	139
Figure 3.5-4	Distribution log-normale à 3 paramètres des maxima annuels sur le site de la CNN avec un intervalle de confiance de 90%.....	142
Figure 3.5-5	Analyse de fréquences des minima annuels sur à Murgenthal avec un intervalle de confiance de 90%.....	147
Figure 3.5-6	Rapport entre les débits minima absolus et les moyennes journalières minimales.....	148
Figure 3.5-7	Diamètres granulométriques caractéristiques d_m et d_{90} du substrat du lit de l'Aar dans le profil longitudinal (cantons AG, BE, SO 1996).....	149
Figure 3.5-8	Diamètres granulométriques caractéristiques d_m et d_{90} des matériaux charriés de l'Aar dans le profil longitudinal (cantons AG, BE, SO 1996) (c : facteur de frottement, SG : affluents).....	150
Figure 3.5-9	Augmentation de longue date de la température moyenne de l'eau dans les rivières en Suisse (courbe noire) depuis 1965, évolution parallèle à l'augmentation de la température de l'air (courbe bleue) (OcCC 2007).....	151

Figure 3.5-10	Moyennes des moyennes mensuelles des températures de l'eau de l'Aar, station de mesure Aar - Brugg. Moyennes annuelles et comparaison avec les saisons à l'aide de droites de régression à titre indicatif	152
Figure 3.5-11	Fonction de répartition de la température minimale annuelle de l'eau au niveau Aar - Brugg, adaptée aux températures journalières minimales des années 1974 - 2008, avec un intervalle de confiance de 90 %	154
Figure 3.5-12	Fonction de répartition de la température maximale annuelle de l'eau au niveau Aar - Brugg, adaptée aux températures journalières maximales des années 1974 - 2008, avec un intervalle de confiance de 90%	155
Figure 3.5-13	hydrogramme de crue pour le débit de crue de fréquence de $10^{-4}/a$ sur le site de la CNN	158
Figure 3.5-14	Hydrogramme de charriage (QG) pour un débit de crue de fréquence de $10^{-4}/a$	159
Figure 3.5-15	Modèle de terrain pour le modèle bidimensionnel	160
Figure 3.5-16	Position des profils en travers déterminés à partir du modèle de terrain 2D (rouge) pour le modèle 1D et les profils en travers déterminés sur place sur le terrain (blanc)	161
Figure 3.5-17	Niveaux d'eau mesurés et calculés en aval immédiat du barrage de Winznau	162
Figure 3.5-18	Prises de vues aériennes lors de la crue de 2007 (X est une aide à l'orientation pour la comparaison avec la figure 3.5-19. La flèche indique la direction d'écoulement dans l'Ancienne Aar)	162
Figure 3.5-19	Résultat des simulations de la crue de 2007 (X est une aide à l'orientation pour la comparaison avec la figure 3.5-18. La flèche indique la direction d'écoulement dans l'Ancienne Aar)	163
Figure 3.5-20	Niveaux d'eau mesurés et calculés en aval immédiat du barrage de Winznau	164
Figure 3.5-21	Brèche dans la digue latérale du canal d'amenée et position du point critique pour les niveaux d'eau calculés	167
Figure 3.5-22	Niveaux d'eau calculés et la surface inondée suite au débit de crue de fréquence $10^{-4}/a$ (scénario 1 - 7)	168
Figure 3.5-23	Point d'obstruction - Pont sur l'Aar Gösgen	169
Figure 3.5-24	Emplacement des brèches sur la digue latérale du canal d'amenée	171
Figure 3.5-25	Lit du cours d'eau avant (marron) et après (rouge) la crue sans charriage de matériaux (pas de changement notable)	173
Figure 3.5-26	Dépôt d'alluvions maximaux (rouge) après la crue avec charriage de matériaux (marron : lit initial)	174
Figure 3.5-27	Forces tractrices maximales sur le lit pour un débit de crue de fréquence $10^{-4}/a$ (les parties en rive droite présentant un potentiel de risque local sont encadrées en rouge)	175

Figure 3.5-28	Niveaux d'eau calculés pour le scénario (2 - 7)	177
Figure 3.5-29	Eaux souterraines dans la région du site, avec indication des zones de protection autour des captages publics. Représentation de l'extension horizontale des eaux souterraines et des isopièzes au niveau maximum (AfU Soleure 2003)	180
Figure 3.5-30	Emplacements des piézomètres (vert) et des captages d'eau selon le système SIG de l'AfU de Soleure (bleu) (AfU Solothurn 2007). Différentes stations de pompage servent aussi de stations de mesure (bleu/vert).....	181
Figure 3.5-31	Variation des niveaux piézométriques (lignes en couleur) et comportement du débit de l'Aar (ligne noire, axe droit) lors de la crue d'août 2005 par rapport aux moyennes à long terme	182
Figure 3.5-32	Enregistrement des valeurs journalières à 12 h au piézomètre 0VX01L001 de la CNG (KKG 2009a)	183
Figure 3.5-33	Carte de l'épaisseur de la nappe dans la vallée de l'Aar (Niederamt) correspondant à un niveau piézométrique moyen (AfU Solothurn 2008a)	184
Figure 3.5-34	Température de la nappe au piézomètre Li Dängertwäldli.....	186
Figure 3.5-35	Variation du niveau piézométrique par rapport aux valeurs moyennes (en haut : précipitations).....	190
Figure 3.5-36	variation des niveaux piézométriques au cours de l'année sèche 2003 par rapport aux valeurs moyennes (au cours de l'année 2003, les précipitations enregistrées ont été de l'ordre de 75% de la moyenne de longue durée).....	191
Figure 3.5-37	Distribution des niveaux piézométriques sur la station de pompage Insel	192
Figure 3.5-38	Distribution des niveaux piézométriques sur la station de pompage Spitzacker	192
Figure 3.5-39	Distribution des niveaux piézométriques à Li Dängertwäldli	193
Figure 3.5-40	Distribution des valeurs extrêmes des maxima annuels du niveau piézométrique sur l'emplacement de la station de pompage Insel.....	194
Figure 3.5-41	Modèle hydrodynamique des eaux souterraines, exemple d'impact de la fondation profonde de l'installation du réacteur sur l'augmentation ou la baisse de niveau	198
Figure 3.5-42	Modèle hydrodynamique des eaux souterraines, exemple de variations du niveau piézométrique en cas de pompage simultané hypothétique (isopièzes rouges) à un débit de 0.1 m ³ /s à la CNG et 0.2 m ³ /s à la CNN sous des conditions d'extrême sécheresse (isopièzes bleues et vertes : pompage uniquement sur le site de la CNN ou de la CNG)	199
Figure 3.6-1	Plan de situation du secteur analysé CNG/CNN avec indication de la position des forages et des profils sismiques	203
Figure 3.6-2	Carte tectonique de la Suisse centrale et de la Suisse du Nord-Ouest avec la région limitrophe du Sud de l'Allemagne	206

Figure 3.6-3	Section transversale géologique/ hydrogéologique de la vallée de l'Aar près de Däniken (Source: Jäckli & Kempf 1972)	206
Figure 3.6-4	Interprétation géologique de la de réflexion sismique 83-NS-22 entre Dulliken et Oberentfelden (A) et la ligne de pente 83-NF-06 entre Stüsslingen et l'anticlinal Born-Engelberg (B) (Nagra 2008, suppléments 5.2-7 et 5.2-11)	207
Figure 3.6-5	Mécanismes au foyer dans le Nord est le centre de la Suisse (Deichmann et al. 2000) superposé à la carte géologique à grande échelle (Müller et al. 2002)	209
Figure 3.6-6	Aperçu de l'orientation du champ de contraintes récent dans la Suisse du Nord (Müller et al. 2002)	211
Figure 3.6-7	Variation d'altitude dans le Nord de la Suisse et dans la région limitrophe du Sud de l'Allemagne (Müller et al. 2002)	212
Figure 3.6.8	Taux de déformation bidimensionnelle déterminé à partir de mesures GPS: axes P et T sur une grille de 10 km x 10 km. Les axes P et T à valeurs positives sont représentés sous forme de demi-flèches rouges, les axes à valeurs négatives sous forme de demi-flèches bleues (Wiget et al. 2007)	213
Figure 3.6-9	Catalogue des tremblements de terre ECOS; tremblements de terre enregistrés par instruments de mesure de 1975 à 2007: Mw < 2.5	221
Figure 3.6-10	Catalogue des tremblements de terre ECOS; tremblements de terre enregistrés par instruments de mesure de 1975 à 2007, tremblements de terre historiques de 250 à 1974: Mw > 2.5	222
Figure 3.6-11	Catalogue des tremblements de terre ECOS; tremblements de terre enregistrés par instruments de mesure de 1975 à 2007: Mw < 1.0 à 5.0, tremblements de terre historiques de 250 à 1974: Mw > 2.5	223
Figure 3.6-12	Catalogue des tremblements de terre ECOS; tremblements de terre historiques de 250 à 1974: Mw > 2.5, profondeur de foyer < 15 km, > 15 km, tremblements de terre enregistrés par instruments de mesure de 1975 à 2007: Mw < 1-5, profondeur de foyer < 15 km, > 15 km	224
Figure 3.6-13	Carte de l'aléa sismique en Suisse (Service Sismologique Suisse EPF Zurich). Les accélérations du sol déterminées par analyse statistique (en m/s ²) sont représentées pour une probabilité d'occurrence de 10-4/a et une fréquence spectrale de 5 Hz. Bleu-vert: faible risque, jaune: risque moyen, rouge: risque accru	226
Figure 3.6-14	Exemple de zonage sismotectonique en sources sismiques surfaciques et en deux zones d'accidents linéaires par le groupe d'experts EG1a. Les sources sismiques sont représentées sur la carte géologique	229
Figure 3.6-15	Courbe de l'aléa sismique pour le site de la CNG. Composante horizontale de l'accélération spectrale du sol à la surface du terrain. Représentation de la distribution des incertitudes les courbes de la valeur moyenne, de la médiane et des fractiles 5%, 16%, 84% et 95%	232

Figure 3.6-16	Spectre d'aléa uniforme pour le site de la CNG. Composante horizontale de l'accélération spectrale du sol à la surface du terrain en fonction de la fréquence pour une probabilité de dépassement de $10^{-4}/a$ et une atténuation de 5 %	233
Figure 3.6-17	Désagrégation de l'aléa sismique moyen pour l'horizon rocheux sur le site de la CNG, pour une accélération horizontale de 0.15 g et une fréquence de 100 Hz (PGA)	234
Figure 3.6-18	Carte des isohypses rocheux dans la région du site (Jordan 2007).....	241
Figure 3.6-19	Aire du projet de la CNN	246
Figure 3.6-20	Vue en perspective du modèle stratigraphique en 3D sur le site (Interoil 2009) Vue du sud-est vers le bord septentrional de la vallée	248
Figure 3.6-21	Profil géologique schématisé sur le site (source : AF-Colenco 2009h)	249
Figure 3.6-22	Courbes de distribution granulométrique du gravier (en haut) et du sable (en bas), données issues des forages 2008 - 2009 (Interoil 2009)	252
Figure 3.6-23	a) Forages PRP sur le site : résultats de tous les nombres de coups SPT N30, valeurs > 100 coupées b) Distribution verticale des lentilles sableuses dans le profil de la couche	258
Figure 3.6-24	Limites pour le potentiel de liquéfaction selon la règle KTA (2000), comparaison avec la distribution granulométrique du type de sol 2 de la CNN	259
Figure 3.6-25	Principe d'isolation parasismique des fondations (Baur 2003), réduction de l'excitation par le décalage de la fréquence propre et l'augmentation de l'amortissement	266
Figure 3.7-1	Schéma général de la 1ère solution de raccordement au réseau électrique (380 kV et 220 kV)	277
Figure 3.7-2	Schéma général de la 2e solution de raccordement au réseau électrique (380 kV et 220 kV)	278
Figure 5.2-1	Assurance qualité pour la demande d'autorisation générale	306
Figure 5.2-2	Relation homme-machine-organisation	310
Figure 5.3-1	Organisation du projet pour l'élaboration de la demande d'autorisation générale	312
Figure 5.3-2	Organisation de la requérante depuis le début de l'année 2009	314

7.2 Liste des tableaux

Tableau 2.2-1	Dimensions approximatives des bâtiments les plus importants	16
Tableau 2.2-2	Données relatives à la construction et à l'exploitation de l'installation générique	16

Tableau 3.1-1	Évènements externes selon la directive IFSN-A05 avec indication des chapitres dans lesquels ils sont traités dans le rapport de sécurité	26
Tableau 3.1-2	Évènements externes qui ne constituent pas une menace pour l'aire du projet de la CNN	29
Tableau 3.1-3	Évènements externes sans évènements externes consécutifs.....	29
Tableau 3.1-4	Évènements externes combinés selon la directive IFSN-A05.....	29
Tableau 3.2-1	Nombres d'habitants dans un rayon de 10 km autour du site de la CNN, état au 31.12.2008	36
Tableau 3.2-2	Établissements publics pouvant contenir plus de 200 personnes et entreprises de plus de 200 employés dans un rayon de 10 km autour du site de la CNN	44
Tableau 3.2-3	Végétation et utilisation des terres dans les communes qui se trouvent intégralement ou en partie dans un rayon de 5 km autour du site de la CNN (données de superficie en ha)	47
Tableau 3.2-4	Cultures fruitières dans les communes qui se trouvent intégralement ou en partie dans un rayon de 5 km autour du site de la CNN	49
Tableau 3.2-5	Effectifs d'animaux utilitaires (nombre d'animaux) dans un rayon de 10 km autour du site de la CNN	50
Tableau 3.2-6	Production laitière (lait livré en tonnes par an) dans un rayon de 10 km autour du site de la CNN (TSM 2007)	52
Tableau 3.2-7	Population permanente selon les trois scénarios de base (en milliers).....	55
Tableau 3.2-8	Évolution démographique (pronostic) des communes de Soleure dans un rayon de 10 km autour du site de la CNN.....	56
Tableau 3.3-1	Mouvements sur des aérodomes dans un rayon de 50 km autour du site de la CNN (OFAC 2009) hormis Zurich et Bâle.....	66
Tableau 3.3-2	Données relatives aux canalisations à haute pression de gaz naturel à l'Ouest de l'aire du projet de la CNN	68
Tableau 3.3-3	Valeurs indicatives pour l'évaluation de l'effet de la surpression sur les constructions et les installations	72
Tableau 3.3-4	Valeurs indicatives pour l'intensité des sources d'incendies.....	73
Tableau 3.3-5	Valeurs indicatives pour l'évaluation de l'effet du rayonnement de chaleur sur les constructions et les installations	73
Tableau 3.3-6	Valeurs limites pour l'appréciation des gaz et vapeurs	74
Tableau 3.3-7	Valeurs MAK, ERPG-1 et ERPG-2 pour les substances chimiques considérées.....	74
Tableau 3.3-8	Paramètres d'entrée pour les calculs de propagation	75
Tableau 3.3-9	Fréquence surfacique de chutes d'avions par type d'avion (AF-Colenco 2009c)	80

Tableau 3.4-1	Résumé des chroniques utilisées aux stations de Gösgen et de Buchs/Aarau avec indication de leur période d'enregistrement et de la disponibilité des données	98
Tableau 3.4-2	Fréquence moyenne de la direction du vent à une hauteur de 10 m, de janvier 1988 à décembre 2008, toute l'année, semestre d'été et semestre d'hiver	99
Tableau 3.4-3	Fréquence moyenne de la direction du vent à une hauteur de 110 m, de janvier 1988 à décembre 2008, toute l'année, semestre d'été et semestre d'hiver	100
Tableau 3.4-4	Moyennes annuelles de la vitesse du vent (u) et fréquence des calmes (C; $u < 0.5$ m/s) pendant la période de janvier 1988 à décembre 2008, à 10 m et 110 m de hauteur	103
Tableau 3.4-5	Catégories de diffusion (catégories de temps selon la directive HSK-G14, HSK 2008a).....	105
Tableau 3.4-6	Détermination de la catégorie de diffusion à partir des gradients de température dT/dz et de la vitesse du vent à une hauteur de 10 m au-dessus du niveau de perturbation u_{10} selon la règle KTA 1508 (KTA 2006).....	106
Tableau 3.4-7	Fréquence moyenne, minimale et maximale des catégories de diffusion, toute l'année, semestre d'été et semestre d'hiver, de janvier 1989 à décembre 2008	106
Tableau 3.4-8	Statistiques de propagation à deux paramètres (direction du vent, catégorie de diffusion), toute l'année, distribution de la direction du vent et vitesse moyenne du vent à une hauteur de 110 m, période de la base de données de janvier 1989 à décembre 2008.....	111
Tableau 3.4-9	Statistiques de propagation à deux paramètres (direction du vent, catégorie de diffusion), semestre d'été, distribution de la direction du vent et vitesse moyenne du vent à une hauteur de 110 m, période de la base de données janvier 1988 à décembre 2008	112
Tableau 3.4-10	Moyennes mensuelles des précipitations et moyenne annuelle, de janvier 1989 à décembre 2008, sur le site de la CNN et à la station de Buchs/Aarau	113
Tableau 3.4-11	Roses des vents des précipitations en moyenne annuelle, en moyenne du semestre d'été et du semestre d'hiver, hauteur de référence 110 m, période de janvier 1989 à décembre 2008	116
Tableau 3.4-12	Distribution moyenne de fréquences des heures sans précipitation et des autres classes de précipitations dans les secteurs de direction du vent, hauteur de référence 110 m, période de janvier 1989 à décembre 2008.....	117
Tableau 3.4-13	Températures mensuelles moyennes, minima et maxima absolus des moyennes horaires à 10 m, 60 m et 110 m de hauteur, période de janvier 1988 à décembre 2008	118

Tableau 3.4-14	Vitesses moyennes mensuelles des rafales et maxima absolus des vitesses de rafales sur 10 minutes à une hauteur de 10 m et de 110 m, période de janvier 1987 à décembre 2007	120
Tableau 3.4-15	Intensité moyenne mensuelle des précipitations des intervalles de 10 minutes avec précipitations et maxima absolus de l'intensité des précipitations de 10 mn, période de janvier 1989 à décembre 2007	125
Tableau 3.5-1	Débits de l'Aar à la station de Murgenthal (OFEV 2008a)	136
Tableau 3.5-2	Débits de crue déterminés pour différentes fréquences d'occurrence sur le site de la CNN (barrage de Winznau)	141
Tableau 3.5-3	Débits maxima mesurés de l'Emme et de l'Aar à Murgenthal et écoulement de l'Aar au barrage de Port (Brügg Ägerten)	144
Tableau 3.5-4	Groupe de scénarios N°1	165
Tableau 3.5-5	Niveaux d'eau maxima calculés au point critique (figure 3.5-21)	166
Tableau 3.5-6	Groupe de scénarios N°2	170
Tableau 3.5-7	Largeur des brèches	171
Tableau 3.5-8	Niveaux maxima calculés pour le groupe de scénarios N°2 au point critique	172
Tableau 3.5-9	Cote minimale requise de l'aire principale de la CNN	176
Tableau 3.5-10	Valeurs de perméabilité déterminées à partir des essais de pompage de longue durée sur l'aire de la CNG	187
Tableau 3.5-11	Valeurs de perméabilité provenant des essais de pompage sur l'aire partielle Nord [m/s]	188
Tableau 3.5-12	Moyennes et minima du niveau piézométrique sur des piézomètres choisis de l'AfU ainsi que sur le piézomètre de la CNG dans le Niederamt	189
Tableau 3.6-1	Caractéristiques géotechniques : a. - c. Couches de couverture en général et sables alluviaux au nord du site	254
Tableau 3.6-2	Caractéristiques géotechniques : d. Alluvions de basse terrasse	255
Tableau 3.6-3	Caractéristiques géotechniques : e. Argilles de base des graviers, argiles de fond lacustre et simil.(surtout sur l'aire partielle Nord)	255
Tableau 3.6-4	Caractéristiques géotechniques : f. Substratum rocheux du Malm moyen	255
Tableau 3.6-5	Résumé des nombre de coups SPT mesurés dans le sable	259
Tableau 3.7-1	Scénarios de recours de l'alimentation en courant	282
Tableau 3.8-1	Aperçu des scénarios de recours de l'alimentation en courant	289
Tableau 5.2-1	Mesures d'assurance de la qualité en relation avec les acteurs concernés	307
Tableau 5.5-1	Bases légales pertinentes pour l'organisation pendant toutes les phases du cycle de vie de l'installation	322