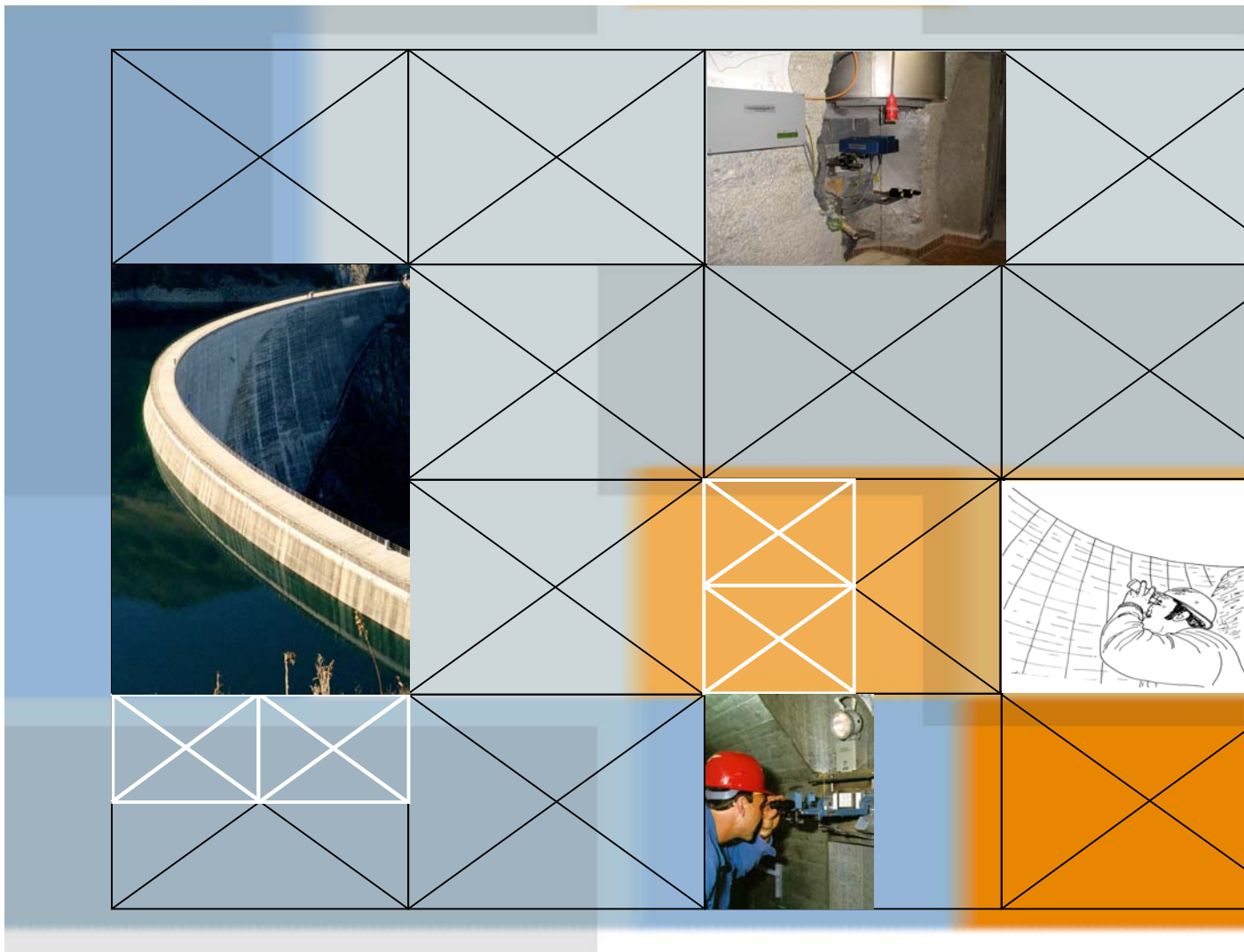




Sécurité des ouvrages d'accumulation

Documentation de base relative à la surveillance et à l'entretien

Berichte des BWG, Serie Wasser – Rapports de l'OFEG, série Eaux -
Rapporti dell'UFAG, serie Acqua
Biel, 2002

Version 1.0 (Décembre 2002)



Bundesamt für Wasser und Geologie **BWG**
Office fédéral des eaux et de la géologie **OFEG**
Ufficio federale delle acque e della geologia **UFAEG**
Uffizi federal per aua e geologia **UFAEG**
Federal Office for Water and Geology **FOWG**



Membres du groupe de travail

Bremen, Roger, Dr.	Bureau Lombardi Engineering SA, Minusio
Collet, Georges	Kraftwerke Oberhasli AG, Innertkirchen
Hunger, Beat	Amt für Energie Graubünden, Chur
Kobelt, Alfred (secrétaire)	Office fédéral des eaux et de la géologie, Bienne
Matthey, François	Service des eaux, des sols et de l'assainissement, Lausanne
Oberholzer, Alexandre	Office fédéral des eaux et de la géologie, Bienne
Pougatsch, Henri (président)	Office fédéral des eaux et de la géologie, Bienne
Rouiller, Jean-Marie	Service de l'électricité de la Ville de Lausanne, Lausanne



DOCUMENTATION DE BASE RELATIVE À LA SURVEILLANCE ET À L'ENTRETIEN

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	5
1 GENERALITES	
1.1 Objectif	6
1.2 Tâches	6
1.3 Organisation	9
1.4 Rôle de l'autorité de surveillance	9
1.5 Profil des intervenants	11
2 DISPOSITIF D'AUSCULTATION DES OUVRAGES D'ACCUMULATION	
2.1 Généralités	13
2.2 Paramètres à mesurer	15
2.3 Paramètres significatifs pour le suivi du comportement des ouvrages d'accumulation	16
2.4 Suivi du comportement des barrages en béton	17
2.5 Suivi du comportement des barrages en remblai	22
2.6 Suivi du comportement des fondations	28
2.7 Géodésie	31
2.8 Surveillance des environs proches et éloignés de l'ouvrage de retenue	33
2.9 Programme de mesures	35
2.10 Interprétation des mesures	36
3 CONTRÔLES VISUELS	
3.1 Tâches de l'exploitant	40
3.2 Tâches du professionnel expérimenté (ingénieur spécialisé)	41
3.3 Tâches des experts confirmés	41



4	CONTRÔLES ET ESSAIS DE FONCTIONNEMENT DES INSTALLATIONS	
4.1	Introduction	42
4.2	Organes de décharge et leur équipement de commande	42
4.3	Instrumentation	46
4.4	Moyens de communication (liaisons phoniques)	46
4.5	Installations de l'alarme-eau	46
5	ENTRETIEN	47
6	CONTROLES EXCEPTIONNELS	48
7	DOCUMENT	
7.1	Dossier de l'ouvrage d'accumulation	49
7.2	Consignes de service et de surveillance	49
7.3	Rapport des essais de fonctionnement	50
7.4	Rapport relatif aux contrôles visuels	50
7.5	Rapport relatif au contrôle annuel	51
7.6	Rapport annuel relatif au comportement	51
7.7	Rapport des mesures géodésiques	52
7.8	Rapports d'examen de sécurité (expertise quinquennale)	52
7.9	Rapport d'examen extraordinaire de sécurité	52
8	BIBLIOGRAPHIE	53
ANNEXES		
Annexe 1	Exemples de dispositifs d'auscultation	
Annexe 2	Exemples de représentation graphique des résultats de mesures	
Annexe 3	Exemple de consignes de service et d'exploitation	
Annexe 4	Exemple de rapport de visite et de mesures	
Annexe 5	Exemple d'organigramme pour le contrôle et la surveillance	

INTRODUCTION

Bases légales

Les bases légales relatives à la sécurité des ouvrages d'accumulation sont constituées par l'article 3^{bis} de la loi fédérale du 22 juin 1877 sur la police des eaux (RS 721.10), ainsi que l'ordonnance du 7 décembre 1998 sur la sécurité des ouvrages d'accumulation (OSOA) (RS 721.102).

Le champ d'application de l'OSOA est donné par son article 1. Il indique que l'OSOA s'applique automatiquement aux ouvrages d'accumulation dont la hauteur de retenue au-dessus du niveau d'étiage du cours d'eau ou du niveau du thalweg est de 10 m au moins, ou, si cette hauteur est de 5 m au moins, à ceux dont la capacité de retenue est supérieure à 50'000 m³. Elle est aussi appliquée aux ouvrages d'accumulation de moindres dimensions lorsqu'ils représentent un danger particulier pour les biens et les personnes. Elle n'est par contre pas appliquée s'il l'on établit que les ouvrages d'accumulation ne constituent aucun danger particulier pour les biens et les personnes. L'OSOA confie aux cantons la surveillance des ouvrages d'accumulation de petite hauteur de retenue (Art.22 OSOA).

Objectif de la documentation de base relative à la surveillance et à l'entretien

En vertu de l'article 26 OSOA, l'Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG) peut préparer des directives en collaboration avec des représentants des autorités cantonales, des milieux scientifiques, des organisations professionnelles et de l'économie. Afin de préciser dans les directives les indications pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'accumulation selon l'article 9 et le chapitre 3 OSOA, l'OFEG a formé un groupe de travail. Ce dernier a préparé cette documentation de base qui peut être employée comme document explicatif et complémentaire aux directives.

Cette documentation de base rassemble les renseignements pour conduire une surveillance et un entretien efficaces des ouvrages d'accumulation. Ils doivent permettre de s'assurer d'un état et d'un comportement conforme de l'ensemble des composantes d'un ouvrage d'accumulation, ainsi que de détecter rapidement de toute anomalie. L'organisation de la surveillance se base sur 4 niveaux qui font appel au personnel de l'exploitant, à des ingénieurs et des experts, ainsi qu'à l'autorité de surveillance. Les activités essentielles de la surveillance concernent: l'exécution de mesure d'auscultation, les contrôles visuels, ainsi que des contrôles et essais de fonctionnement des installations. Les lignes directrices qui régissent la conception, l'installation d'un dispositif d'auscultation ainsi que la fréquence des mesures sont données. Pendant ou suite à des événements extraordinaires (comportement anormal, crue, séisme), il est fait mention des contrôles exceptionnels à effectuer. La description des rapports que les exploitants, les ingénieurs spécialisés et les experts désignés doivent fournir dans le cadre de leur fonction et de leur mandat spécifique est également signalée.

Quant aux annexes, elles donnent, par des exemples, un aperçu des moyens d'auscultation à mettre en place et de la représentation graphique des résultats de mesures (Annexes 1 et 2). Les éléments clé qui doivent figurer dans les consignes de surveillance et d'exploitation font l'objet des annexes 3, 4 et 5.

1 GÉNÉRALITÉS

1.1 Objectif

L'objectif de la surveillance (Chapitre 3 OSOA) et de l'entretien (art. 9, OSOA) est de s'assurer en toutes circonstances un état et un comportement satisfaisants de l'ouvrage de retenue (barrage) et de ses fondations. La surveillance englobe également l'observation de la zone du bassin d'accumulation et de celle située directement à l'aval de l'ouvrage de retenue.

La surveillance doit permettre de garantir la détection rapide et précise de tout comportement anormal du barrage et de ses fondations, de tous dégâts particuliers et de conditions exceptionnelles dans les environs. De cette façon, il sera alors possible, en cas de besoin, de prendre à temps toute mesure utile pour parer à un danger éventuel.

L'entretien a pour but premier de prévenir tout défaut de fonctionnement et de réparer les dégâts éventuels. De cette manière, les travaux nécessaires de réfection, de réparation ou de remise en état pourront être entrepris.

Des dérogations justifiées, notamment pour les bassins de rétention dont l'exploitation est particulière, peuvent être accordées par l'autorité de surveillance.

Le tableau 1 donne une liste non exhaustive d'exemples de dégâts, de désordres et de comportements anormaux auxquels l'on peut être confronté.

1.2 Tâches

La figure 1 donne, pour tout type d'ouvrage d'accumulation, un aperçu général des composantes de la surveillance et du déroulement des opérations qui lui sont attachées. Elle montre également les buts poursuivis. Les liens entre la surveillance et l'entretien, ainsi que la remise en état, sont indiqués.

Dans le détail, la surveillance d'un ouvrage d'accumulation fait conjointement appel aux tâches suivantes:

- l'exécution et l'interprétation de mesures d'auscultation concernant le comportement du barrage, de ses fondations et de ses environs,
- les contrôles visuels de l'état de l'ouvrage d'accumulation (ouvrage de retenue, ouvrages annexes, fondations, environs),
- les contrôles et les essais de fonctionnement des installations, notamment celles des organes de fermeture des vidanges et des évacuateurs de crue, de l'alarme-eau.

Quant à l'entretien, qui englobe aussi les travaux de maintenance courante, il concerne notamment:

- l'ouvrage de retenue, par exemple nettoyage des drains et des galeries, entretien des talus de digue, réparation de dégâts divers, etc.
- la récupération des corps flottants
- les installations, par exemple équipement hydromécanique, équipement électrique, installation alarme-eau
- le dispositif d'auscultation (le support des instruments, le dégagement des lignes de visées géodésiques, etc.)
- les accès



BARRAGE EN BETON	BARRAGE EN REMBLAI	FONDATION	ENVIRONNEMENT DU BARRAGE
Dégâts au corps de l'ouvrage	Dégâts au corps de la digue	Dispositif d'étanchéité défectueux	
Déformation anormale ou exceptionnelle Déplacement différentiel des plots	Tassement important de la digue (diminution de la revanche)	Déformation et tassement Déplacement différentiel des appuis	
Glissement	Instabilité des talus	Glissement Résistance au cisaillement insuffisante	Instabilité de pentes (glissement, éboulement) Chute de glacier Avalanche
	Erosion interne		Affouillement
Augmentation des percolations, des sous-pressions	Augmentation des percolations, des pressions interstitielles	Augmentation des percolations, des sous-pressions, ainsi que des pressions interstitielles Système de drainage défectueux	Apparition de sources
Submersion du couronnement			
Obstruction d'un organe de décharge Blocage d'une vanne			

Tableau 1 : Exemples de dégâts, de désordres et de comportements anormaux

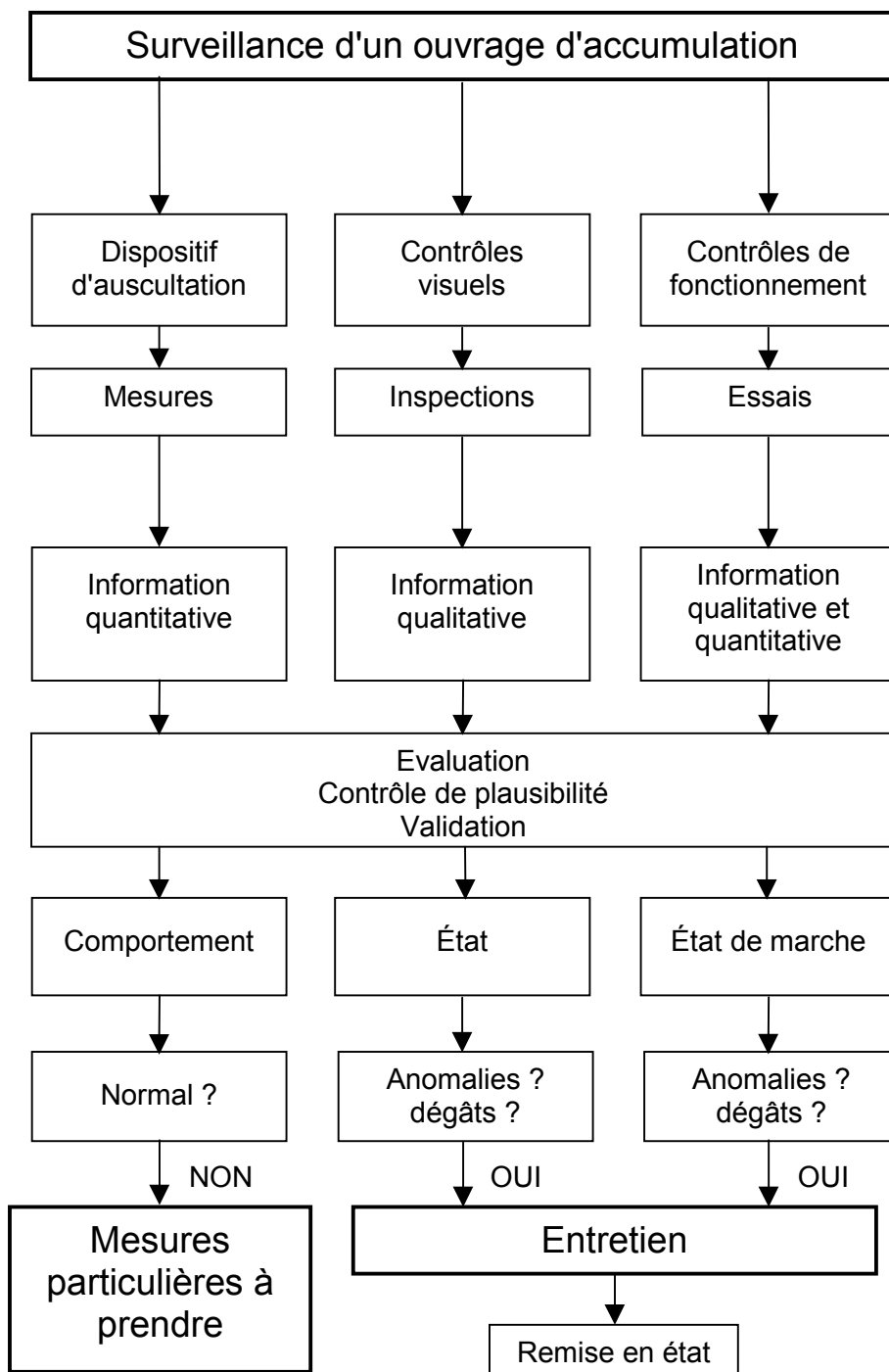


Figure 1 : Concept global de l'organisation de la surveillance et de l'entretien

1.3 Organisation

L'organisation de la surveillance, telle qu'elle est actuellement fixée dans l'ordonnance, fait appel à 4 niveaux distincts de surveillance:

- | | |
|----------|--|
| Niveau 1 | <u>L'exploitant</u> (art. 12, OSOA)
procède entre autres à l'inspection régulière, à l'exécution des mesures, aux essais et contrôles des installations, aux travaux d'entretien. |
| Niveau 2 | <u>Un professionnel expérimenté</u> (ingénieur expérimenté) (art. 13, al. 1, OSOA)
procède à une inspection annuelle, à l'analyse des résultats de mesures, aux contrôles de l'état et de l'entretien, à l'établissement d'un rapport annuel. |
| Niveau 3 | <u>Des experts confirmés</u> (génie civil, géologue, ingénieur géologue) (art. 14, al. 1, OSOA)
procèdent tous les 5 ans à une inspection, à une analyse globale du comportement du barrage, de ses fondations et de ses environs. Ils peuvent aussi être chargés de procéder à des examens particuliers de sécurité. |
| Niveau 4 | <u>L'autorité de surveillance</u> (art. 21 et 22, OSOA)
procède dans le cadre de ses tâches au contrôle de l'organisation de l'exploitant concernant la surveillance et l'entretien, à la vérification de l'état et de l'entretien des ouvrages ainsi que celle des essais des organes mobiles de fermeture (vannes), à l'examen du comportement de l'ouvrage, à l'analyse des documents techniques (rapports annuels, rapports d'expertise quinquennale et de sécurité). |

Le rôle de l'autorité de surveillance est défini au chapitre 1.4.

Le tableau 2 donne la répartition des tâches principales des 3 premiers niveaux (exploitant, professionnel expérimenté et experts confirmés). Quant au chapitre 1.5, il décrit les qualifications des intervenants pour les 4 niveaux de surveillance.

1.4 Rôle de l'autorité de surveillance

Il appartient à l'autorité de surveillance, qui peut être fédérale (art. 21, al. 2, OSOA) ou cantonale (art. 22, al. 1, OSOA) d'assurer la mise en application des bases légales en vigueur dans le domaine de la sécurité des ouvrages d'accumulation et de veiller à leur bonne exécution.

Pour sa part, la Confédération exerce la tâche de l'autorité de haute surveillance. Il est du ressort de l'Office fédéral des eaux et de la géologie d'exécuter les tâches directement confiées à la Confédération (art. 21, al. 2, OSOA).

Les activités de surveillance des cantons concernent spécialement les ouvrages d'accumulation de petite hauteur de retenue.

Si besoin est, l'autorité de surveillance peut ordonner des examens extraordinaires ou soumettre à l'examen de la sécurité des ouvrages d'accumulation de moindres dimensions (art. 14, al. 2, OSOA).

Par ailleurs, l'autorité de surveillance peut mandater des spécialistes pour collaborer à l'exécution de ses tâches (art. 25, OSOA).



QUOI	QUI	TACHES
a) mesures d'auscultation (voir chapitre 2)	1) exploitant	exécution des mesures (N.B.: les mesures géodésiques sont en général effectuées par un spécialiste.) analyse préliminaire des résultats de mesure
	2) professionnel expérimenté	analyse des résultats de mesure rapport annuel relatif au comportement du barrage, de ses fondations et de ses environs
	3) experts confirmés	analyse du comportement du barrage, de ses fondations et de ses environs examen particulier de la sécurité
b) contrôles visuels (voir chapitre 3)	1) exploitant	inspection régulière
	2) professionnel expérimenté	inspection annuelle (avec rapport)
	3) experts confirmés	inspection tous les 5 ans (avec rapport)
c) contrôles et essais de fonctionnement des installations (équipements) (voir chapitre 4)	1) exploitant	contrôle des organes de décharge avec lâchure (au moins 1 fois par an) et de leur équipement de commande contrôle de l'instrumentation contrôle des moyens de communications (liaisons phoniques) contrôle des installations de l'alarme-eau et essai des sirènes

Tableau 2 : Surveillance et entretien : répartition des tâches

1.5 Profil des intervenants

1.5.1 Introduction

En confiant des tâches dans le cadre de la surveillance et de l'entretien des ouvrages d'accumulation, l'exploitant doit veiller à assurer la continuité des tâches qu'il confie à son personnel et des mandats effectués par des spécialistes externes. Il est primordial d'éviter de changer chaque année d'employés ou de spécialistes. En outre, il est recommandé de disposer de suppléants qui seront en mesure d'assurer les missions en cas d'absence du titulaire. Il est par ailleurs souhaitable que les professionnels expérimentés et les experts confirmés disposent du soutien logistique d'un bureau d'études.

1.5.2 Premier niveau de surveillance

Le premier niveau est assuré par le personnel (gardien de barrage) de l'exploitant. Le rôle de ce celui-ci est primordial, car il est le premier qui soit en mesure, par sa présence au barrage, de détecter une anomalie.

De formation technique appropriée, le gardien de barrage doit pouvoir travailler de façon indépendante et précise. Il appartient à l'exploitant de former son personnel afin qu'il soit notamment en mesure

- de mettre en place les instruments de mesures, de procéder aux lectures
- d'effectuer une première appréciation des résultats de mesure
- d'effectuer des observations visuelles
- de procéder aux essais de fonctionnement des installations de mesure et d'exploitation (organes de décharge)
- de procéder à l'entretien courant de ces installations
- d'effectuer des travaux courants de réfection, de réparation ou de remise en état
- d'avertir ses supérieurs (éventuellement le professionnel expérimenté) en cas de constat particulier
- de faire preuve d'initiative et être conscient de ses responsabilités

1.5.3 Deuxième niveau de surveillance

Le second niveau de surveillance est assuré par un professionnel expérimenté (indépendant ou non de l'exploitant). Le professionnel expérimenté peut faire partie du personnel de l'exploitant; à défaut, l'exploitant fait appel à un ingénieur d'un bureau indépendant spécialisé.

Le rôle du professionnel expérimenté est important car il est chargé de l'analyse continue des résultats de mesure et doit tirer la "*sonnette d'alarme*" en cas de nécessité. Il est aussi appelé à effectuer une visite annuelle et à établir un rapport annuel relatif au comportement et à l'état de l'ouvrage d'accumulation.

Il doit remplir la plupart des critères suivants:

- ingénieur spécialisé en génie civil
- expérience dans les domaines de la construction des ouvrages hydrauliques (si possible des ouvrages d'accumulation), des calculs géotechniques, hydrauliques, de structures, de mécanique des roches, ainsi que dans le domaine de l'hydrologie
- de 5 à 10 ans de pratique dans les domaines précités
- avoir collaboré à l'étude ou à l'exécution d'ouvrages hydrauliques (si possible d'ouvrages d'accumulation)
- avoir collaboré avec un autre professionnel expérimenté dans le cadre du 2^e niveau

1.5.4 Troisième niveau de surveillance¹

Le troisième niveau de surveillance est assuré par des experts confirmés (ingénieur civil, ingénieur géologue et géologue qualifiés). Les experts sont appelés à fournir un rapport d'expertise tous les 5 ans concernant le comportement général et l'état de l'ouvrage d'accumulation. Les rapports annuels du professionnel expérimenté sont mis à la disposition des experts pour leur permettre de suivre l'évolution du comportement et de l'état de l'ouvrage d'accumulation.

Pour le choix des experts confirmés, les critères suivants sont pris en compte:

- auteur du projet ou avoir participé à la conception ou à l'exécution du projet
- expérience dans le domaine de la conception et de la construction des barrages, ainsi que de leur surveillance
- au moins 10 ans de pratique
- avoir exercé la fonction de professionnel expérimenté (pour l'ingénieur civil)
- indépendance vis-à-vis de l'exploitant

1.5.5 Quatrième niveau de surveillance

Comme mentionné sous 1.4, l'OFEG assume les tâches qui sont du ressort de la Confédération (art. 21, al. 1, OSOA).

Quant aux cantons, ils ont la possibilité de faire effectuer les tâches de surveillance par leurs propres services ou de mandater des tiers. En tout état de cause, les cantons veilleront à confier les tâches de surveillance à des personnes qualifiées, de formation technique appropriée (niveau ingénieur civil).

Selon les termes de l'article 29 OSOA, les cantons doivent commencer d'assumer leurs tâches de surveillance dans les cinq ans suivant la mise en vigueur de l'ordonnance citée.

¹ Ce niveau de surveillance concerne les ouvrages d'accumulation dont la hauteur de retenue est de 40 m au moins ou, si cette hauteur est d'au moins de 10 m, à ceux dont la capacité dépasse 1 million de m³ (art. 14 al. 1, OSOA).

2. DISPOSITIF D'AUSCULTATION DES OUVRAGES D'ACCUMULATION

2.1 Généralités

2.1.1 Définition

Le dispositif d'auscultation est un système de mesures judicieusement conçu permettant de juger, par le suivi de paramètres représentatifs, le comportement du barrage et de ses fondations en regard des charges qui les sollicitent. Il doit aussi être en mesure de livrer des informations relatives au milieu environnant.

Le dispositif d'auscultation a entre autres les objectifs suivants [2] [12] [13]²:

- exécuter des contrôles pendant la construction et le premier remplissage
- exécuter des contrôles pendant l'exploitation
- disposer de renseignements complémentaires en cas d'anomalie de comportement
- compléter et améliorer les connaissances de l'ingénieur (recherches techniques ou scientifiques)

Il est primordial d'apporter un soin particulier au choix des instruments de mesure et à leur mise en place afin de garantir une excellente fiabilité des mesures et une interprétation correcte des résultats.

2.1.2 Raison d'être du dispositif d'auscultation

Le dispositif d'auscultation d'un ouvrage d'accumulation est un des éléments-clé permettant d'assurer une surveillance adéquate d'un barrage et d'en garantir la sécurité. Ce système est incontournable et son étude se fait déjà au stade du projet. Son but est de pouvoir suivre à long terme le comportement de l'ouvrage, de ses fondations et de ses environs en pouvant garantir, comme il l'a été mentionné plus haut, une détection rapide de tout comportement anormal.

2.1.3 Conception globale du dispositif d'auscultation

Le dispositif d'auscultation doit être conçu de telle façon qu'il soit possible de mesurer tant les charges (poussée hydrostatique, température) qui sollicitent l'ouvrage (causes) que les différents paramètres (grandeurs) qui caractérisent le comportement d'un ouvrage de retenue (conséquences). Les charges directes et les conditions extérieures vont engendrer, d'une part, des déformations, des variations de température particulièrement dans le corps d'un ouvrage en béton et, d'autre part, des pressions (sous-pressions, pressions interstitielles) et des infiltrations (percolations).

Le dispositif d'auscultation est adapté aux particularités et à l'importance du barrage.

Bien que l'ouvrage de retenue et ses fondations constituent un ensemble, le dispositif d'auscultation doit permettre de distinguer clairement le comportement de l'ouvrage de retenue de celui de ses fondations et de ses environs.

En outre, un dispositif d'auscultation n'est pas un système figé. En effet, il est bon d'examiner périodiquement s'il satisfait toujours aux exigences et aux besoins; si nécessaire, il est complété, adapté, voire modernisé.

Le dispositif d'auscultation doit être assez complet pour trouver, en cas d'anomalie, les éléments utiles pour la recherche de la cause ou des causes du phénomène observé. Le cas échéant, la mise en place d'une instrumentation complémentaire peut s'avérer nécessaire.

² Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin de volume

2.1.4 Caractéristiques des instruments de mesure

Le choix des instruments de mesure dépend des paramètres à observer, du mode de construction de l'ouvrage et des possibilités d'installation. La priorité doit être donnée aux instruments répondant aux critères suivants:

- simples dans leur concept et leur exploitation (les mesures sont généralement effectuées par le personnel de l'exploitant)
- robustes
- insensibles aux conditions environnementales: température, humidité, surtensions
- durables (la longévité des appareils doit être assurée surtout pour ceux qui sont directement intégrés dans le corps de l'ouvrage lors de la construction)
- précis et fiables
- lecture facile

pour autant qu'ils ne soient pas noyés dans le corps de l'ouvrage

- accessibles
- remplaçables fiablement (pour assurer la continuité des mesures)

En prévision de risques de pannes ou défaillances, il est recommandé de prévoir des mesures redondantes pour certains paramètres (par exemple, la mesure des déformations).

Le recours aux mesures automatiques, en des points rigoureusement choisis, ainsi que la télétransmission des résultats sont laissés à l'appréciation des exploitants. Il faut souligner que l'automatisation permet une surveillance quasi permanente et peut être utile en cas d'accès difficile au site du barrage, surtout en hiver. Si cette installation complète le dispositif manuel classique, elle ne le remplace pas pour autant. Il faut être en mesure d'assurer la continuité des mesures dans le cas d'une défaillance de l'automatisation. Enfin, les résultats de mesure automatique doivent être contrôlés si possible (par exemple, les pendules) au moins une fois par mois à l'aide de mesures manuelles. Ce mode de faire permet d'assurer une présence périodique et régulière du personnel au barrage, ainsi que de pouvoir procéder à la vérification des installations et d'effectuer des observations visuelles.

Dans le cas d'une mesure automatisée de variables, on prend en compte les points suivants:

- capteurs simples et robustes
- compatibilité électromagnétique
- protection contre les surtensions
- protection contre l'humidité
- plage de température de fonctionnement adéquate

Pour le choix des instruments en fonction du type de mesure (paramètres à relever), la publication "Dispositif d'auscultation des barrages. Concept, fiabilité et redondance" du groupe de travail "Observation des barrages" du Comité Suisse des Barrages (CSB) [2]³ est un document de référence. Ce dernier comprend une liste et des fiches techniques des différents types d'équipements de mesure avec leur but, leur description, les exigences (fiabilité, longévité, plage de mesure, précision).

³ Cette publication est en cours de révision

2.2 Paramètres à mesurer

Les charges directes (en particulier la poussée hydrostatique) sont celles qui agissent directement sur l'ouvrage; quant aux conditions extérieures, elles reflètent les conditions atmosphériques (par exemple la température ambiante) sur le site.

La poussée hydrostatique étant une charge importante, les variations du niveau du plan d'eau doivent être relevées et enregistrées, même si le bassin reste vide la plupart du temps (comme c'est, par exemple, le cas d'un bassin pour la protection contre les crues). La température de l'eau est également un indicateur à relever.

Dans le cas où les dépôts de sédiments seraient importants (modification des charges, diminution marquée du volume utile, risque d'obturation des organes de vidange), il est nécessaire de procéder périodiquement au relevé de leurs niveaux.

Les conditions atmosphériques (température de l'air, pluviométrie, neige) sont également des données importantes. La température ambiante peut avoir une incidence, en particulier sur les déformations d'un barrage en béton. Il est bon de consigner si les précipitations tombent sous forme de pluie ou de neige. Enfin, il faut relever que les précipitations et la fonte des neiges ont parfois une influence directe sur les infiltrations à travers le sous-sol. Dans des cas précis, les conditions sismiques sur le site peuvent être enregistrées.

PARAMETRES	INSTRUMENTS ET RELEVES
Niveau du plan d'eau	Limnigraphe Echelle limnimétrique Câble avec témoin (sonore ou lumineux) Sonde de niveau Capteur de pression Balance à pression Manomètre
Niveau des sédiments	Bathymétrie
Température de l'eau	Thermomètre
Conditions météorologiques	Thermographe, thermomètre Ensoleillement Pluviomètre enregistreur
Conditions sismiques	Sismomètre, accélérographe

Tableau 3 : Instruments de mesure des charges directes et des conditions extérieures

2.3 Paramètres significatifs pour le suivi du comportement des ouvrages d'accumulation

Le dispositif d'auscultation mis en place doit permettre de mesurer des déformations, des températures, des pressions interstitielles, des niveaux piézométriques et des débits. La détermination de certaines caractéristiques chimiques des eaux permet de compléter l'information.

Le tableau 4 donne les principaux paramètres qui doivent être relevés pour les barrages en béton et en remblai, ainsi qu'en fondation.

Dans le cas d'un système de mesure permanente, les informations qui figurent dans le tableau 5 sont utiles pour conduire une analyse à distance du comportement. Il n'est pas indispensable de prévoir la saisie automatique de tous les points de mesure. Il est recommandé de se limiter à quelques paramètres définis et caractéristiques. Ce système automatique peut être une aide pour des points difficiles d'accès.

BARRAGE EN BÉTON	BARRAGE EN REMBLAI	FONDATEMENTS
Déformations de la structure	Déformations du corps de la digue	Déformations Mouvement des appuis
Mouvements particuliers (fissures, joints)	Mouvements particuliers (liaisons avec une structure béton)	Mouvements particuliers (fissures, diaclases)
Température dans le corps du barrage	Température dans le corps de la digue pour la détection de percolation (éventuel)	Température dans la fondation pour la détection de percolation (éventuel)
Sous-pressions (au contact béton-fondation)	Pressions interstitielles dans le corps du barrage en remblai et niveau piézométrique	Pressions interstitielles Sous-pressions au contact béton-fondation et dans le rocher Niveau piézométrique
Débits de fuites et de drainage, infiltration	Débits de fuites et de drainage	Débits de fuites, de drainage, résurgences
Chimisme des eaux de percolation Turbidité (éventuelle)	Chimisme des eaux de percolation Turbidité	Chimisme des eaux de percolation Turbidité

Tableau 4 : Paramètres significatifs et contrôles pour le suivi d'un barrage et de ses fondations

POUR TOUS LES OUVRAGES	POUR LES BARRAGES EN BETON	POUR LES BARRAGES EN REMBLAI
Niveau du plan d'eau	Déformations caractéristiques (par exemple, déformation totale dans une section)	Débites de percolation et de drainage caractéristiques (par exemple, débit total)
Conditions météorologiques (précipitations)	Température du béton	Pressions interstitielles
	Débites de fuite et de drainage en des points particuliers	Turbidité des eaux de percolation

Tableau 5 : Paramètres pouvant faire l'objet d'une mesure continue et d'une transmission à distance

2.4 Suivi du comportement des barrages en béton

2.4.1 Déformation de la structure

Le but est de connaître les déformées horizontales et verticales de la structure. Selon la configuration du barrage (avec ou sans galeries et/ou puits), les points de mesure sont situés, à différents niveaux, à l'intérieur du barrage ou fixés sur son parement aval. Si possible, les lignes de mesure sont prolongées dans le rocher, pour connaître entre autres le déplacement au niveau de la fondation. Pour les ouvrages de petite hauteur de retenue, il s'agit au moins de prévoir la mesure des déformations au niveau du couronnement.

En ce qui concerne les déformations radiales et tangentielles, elles peuvent être déterminées par des mesures de pendules directs et/ou inversés le long de lignes verticales et par la mesure de polygonales le long de lignes horizontales (voir Chapitre 2.7 "Géodésie"). Des visées optiques sur cibles extérieures permettent d'obtenir le même type de déplacement. La tendance actuelle est d'effectuer conjointement des mesures d'angle et de distance (mesure de vecteur). Pour les déformations dans le plan horizontal, il est aussi possible de recourir à un alignement par des visées ou par fil. Le nivellement permet de connaître les mouvements verticaux (tassement ou soulèvement) de l'ouvrage.

Dans le cas de l'installation d'un nouveau pendule inversé, les techniques actuelles de forage permettent de garantir leur verticalité. Il existe aussi la possibilité de faire glisser un guide-fil autocentreur le long d'un tube rainuré, ce qui permet d'avoir des points de mesure à différents niveaux. Il est possible de recourir à cette solution pour des barrages sans galeries de contrôle.

Les déformations locales, par exemple celles de la partie supérieure du barrage, peuvent être déterminées par la pose d'extensomètres. Des mesures inclinométriques (avec possibilité de mesures automatisées) permettent de calculer la déformée ou peuvent être comparées à la mesure de pendules.

2.4.2 Températures

Durant la phase de construction, il s'agit de suivre l'évolution de la température du béton pendant sa phase d'hydratation et de durcissement. Ensuite, en cours d'exploitation, il est utile de suivre les variations des températures afin de déterminer leurs incidences sur les déformations.

Les thermomètres sont placés directement dans la masse lors du bétonnage. Ils sont implantés à plusieurs niveaux et répartis sur l'épaisseur du mur. Leur nombre dépend de l'épaisseur. Les thermomètres situés près de la surface sont fortement influencés par les conditions extérieures locales (températures de l'air et de l'eau).

Concernant l'accessibilité aux instruments, des thermomètres électriques peuvent être glissés dans des forages en les isolant pour éviter les effets de la température extérieure ou d'une galerie. En cas de défaillance, il est possible de les retirer et de les remplacer.

2.4.3 Déformations particulières

Les barrages en béton ne sont pas exempts de fissures. Si, parfois, le relevé visuel des fissures et leur report sur plan sont suffisants, il est indiqué de suivre le mouvement des lèvres de certaines fissures particulières. A tout le moins, il est possible de placer des témoins (en ciment) à cheval sur la fissure, toutefois ce procédé ne représente pas une solution optimale.

En outre, des repères sont aussi mis en place pour la mesure des mouvements des joints de la structure.

Les instruments utilisés sont par exemple des micromètres, des jointmètres, des déformètres, des indicateurs d'ouverture maximale de fissures (rissmaximètres).

2.4.4 Sous-pressions

Le relevé des sous-pressions est important, car elles ont une incidence marquée sur la stabilité des barrages-poids et des appuis des barrages-voûtes. Les sous-pressions, qui concernent en priorité le comportement de la fondation, sont mesurées au niveau du contact béton-rocher et à différentes profondeurs dans la fondation (voir Chapitre 2.6 "Suivi du comportement des fondations").

2.4.5 Débits de percolation et de drainage

En ce qui concerne les débits d'infiltration, ils peuvent varier en fonction du niveau de la retenue et aussi être influencés par les conditions atmosphériques ou la fonte des neiges.

On cherche à effectuer des mesures de débits partiels en déterminant des zones de provenance. Ce procédé permet, en cas d'anomalie, de localiser la zone critique et de faciliter la recherche des causes.

On mesure également les débits provenant de drainages ou de galeries de drainage. Une diminution du débit peut indiquer un colmatage des drains.

La détermination du débit peut être volumétrique ⁴, s'effectuer au moyen d'un déversoir, d'un venturi ou par la mesure du flux dans un tube.

⁴ La mesure du volume écoulé s'effectue pendant une durée d'au moins 20 secondes à l'aide d'un récipient de capacité adéquate.



TYPES DE MESURE	INSTRUMENTS MOYENS DE MESURE
Déformations de la structure	Pendule direct Pendule inversé Alignement par fil Mesure d'inclinaison Extensomètre Géodésie Réseau extérieur Nivellement Polygonale Mesures d'angle Mesures de vecteur (mesure d'angle et de distance) Alignement (Visées verticales)
Mouvements particuliers (fissures, joints)	Micromètre Déformètre Jointmètre Rissmaximètre
Températures dans le corps du barrage	Thermomètre Thermomètre électrique
Sous-pressions au contact béton-fondation	Relevé de niveau par câble à témoin Manomètre Piézomètre Cellule de pression hydraulique ou électrique
Débits de percolation et de drainage	Déversoir Mesure volumétrique Venturi Mesure du flux dans un tube
Chimisme des eaux de fuite	Analyse en laboratoire

Tableau 6 : Instruments et moyens de mesure pour les barrages en béton

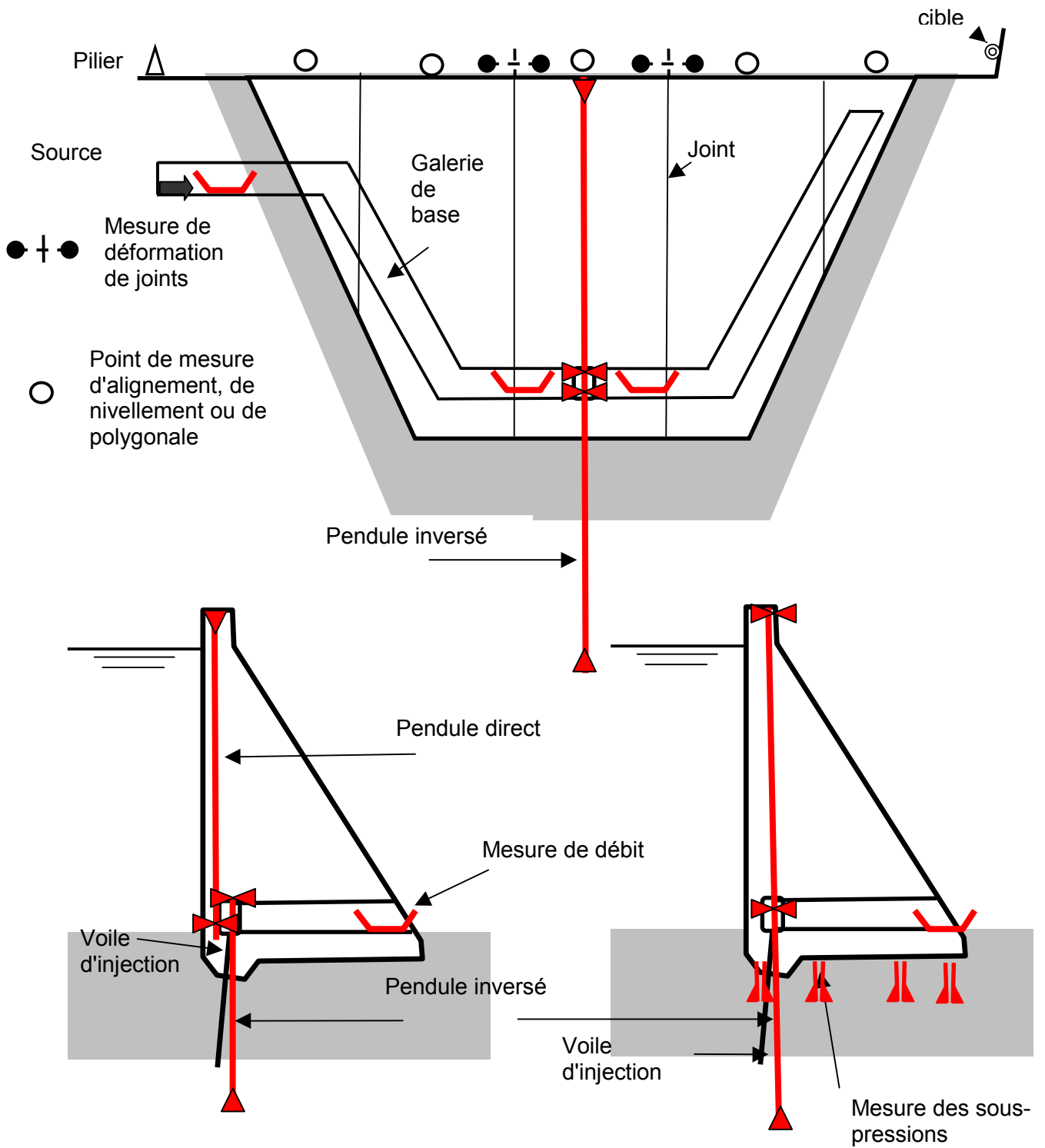


Figure 2 : Représentation schématique d'un dispositif d'auscultation minimal

2.4.6 Equipement des barrages en béton de ouvrages de petite hauteur de retenue

L'instrumentation de ces ouvrages, dont la hauteur n'excède pas 10 m, doit être simple et se limite au suivi de quelques paramètres essentiels en des points bien définis (niveau du plan d'eau, déformations, venues d'eau).

Le niveau du plan d'eau peut être mesuré sur une échelle limnimétrique, un marquage étalonné sur le béton du parement amont, par l'installation d'un limnimètre ou, le cas échéant, d'un limnigraphe. Le relevé de la température de l'air, dans un endroit abrité, au moyen d'un simple thermomètre peut être envisagé. Si une station météorologique est installée dans les environs, elle peut fournir d'intéressantes indications sur les précipitations (pluie, neige) et les conditions environnementales.

Bien que les déformations de l'ouvrage soient faibles, il est utile de disposer de points de repère qui peuvent être d'une grande utilité pour relever une éventuelle modification majeure du comportement de l'ouvrage suite à un événement extraordinaire (séisme, crue).

Pour connaître les déformations dans le plan, il est possible de procéder à une mesure d'alignement ou d'angles sur un ou plusieurs points situés sur le couronnement (Figure 3). La mesure d'une polygonale ou les mesures d'angle et de distance (mesure de vecteur) permet une information plus précise. En cas de crainte de mouvements relatifs des joints, un équipement adéquat est à prévoir.

Si des venues d'eau sont constatées, elles sont collectées et le débit total est relevé au moyen d'une mesure volumétrique (voir note 4 en bas de page). Enfin, dans le cas d'un barrage-poids, il est parfois utile, selon ses dimensions, de relever les sous-pressions.

L'affouillement au pied aval des seuils en rivière est particulièrement délicat à détecter. Une inspection par un plongeur est recommandée après une crue importante ou au moins tous les 5 ans.

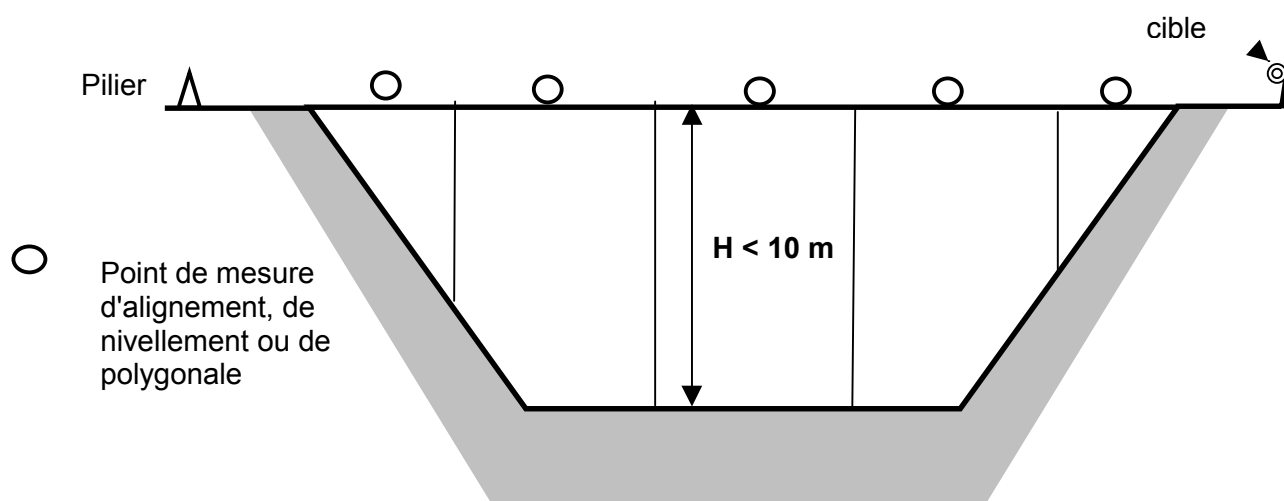


Figure 3 : Exemple schématique de la mesure des déformations d'un barrage en béton de petite hauteur de retenue (Le dispositif d'auscultation est adapté aux particularités et à l'importance du barrage).

2.5 Suivi du comportement des barrages en remblai

2.5.1 Déformations

Pour le cas des barrages en remblai, le but est de pouvoir connaître l'évolution des déformations verticales (tassements) et horizontales de l'ouvrage en crête et, si possible, à divers niveaux et en particulier les tassements de la fondation. En règle générale, les déplacements de points sont déterminés par des mesures géodésiques telles que des mesures d'angle et de distance (mesure de vecteur), d'alignement, de polygonale, de nivellements (voir chapitre 7 "Géodésie"), ainsi que par des tassomètres, des repères de tassement hydraulique (Figures 4, 5 et 6).

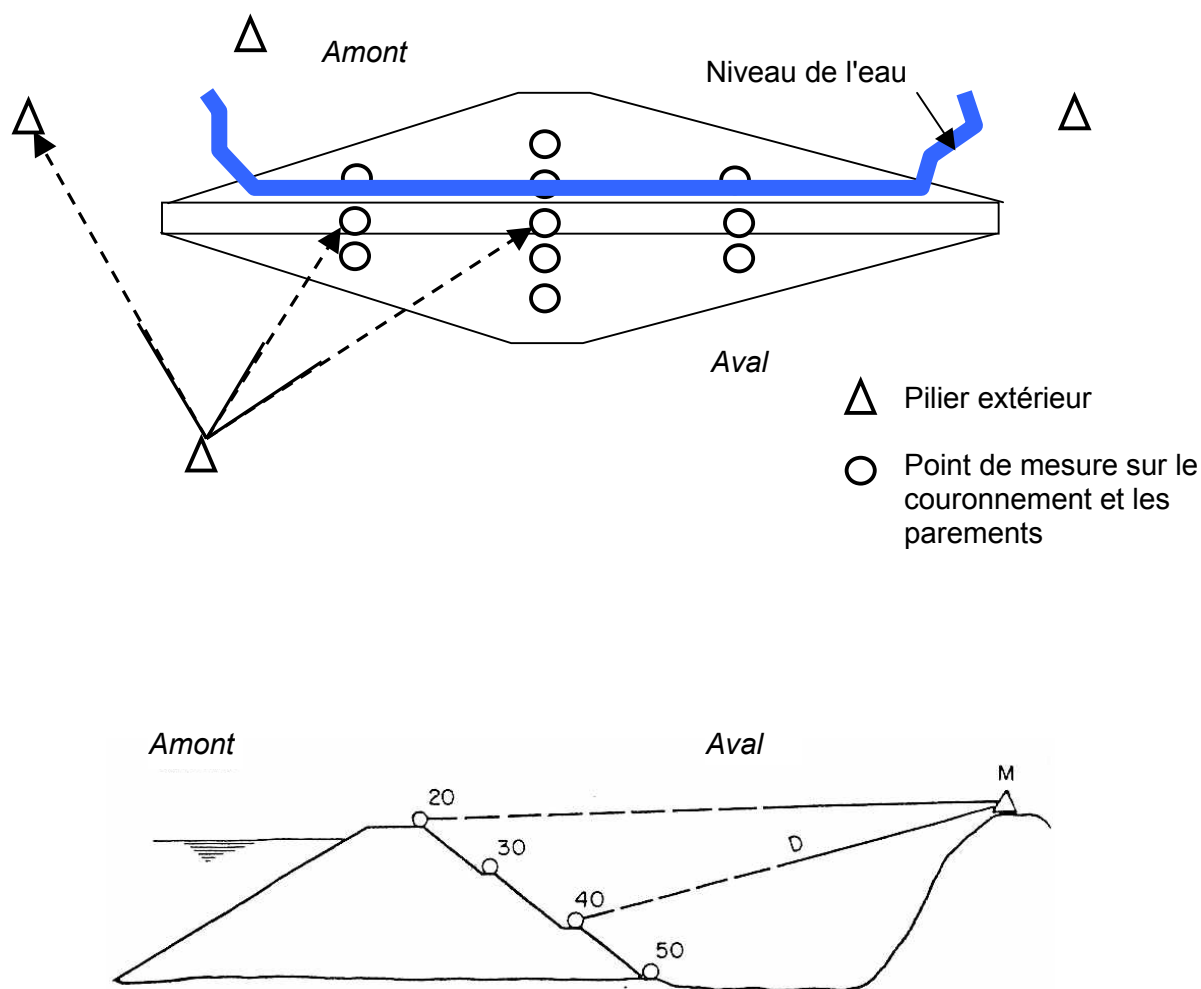


Figure 4 : Mesure de déformations verticales et horizontales à partir de points de mesure situés sur le parement

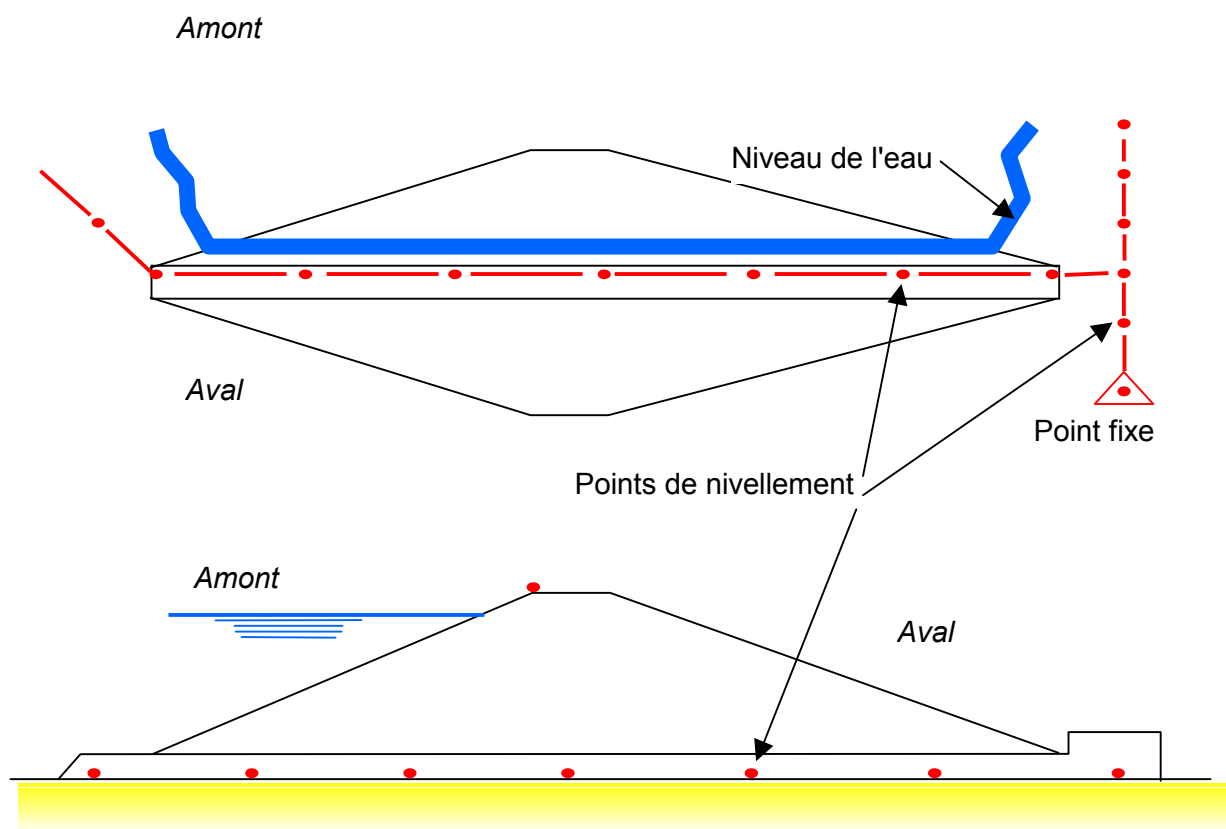


Figure 5 : Mesure des déformations verticales (tassement) au niveau du couronnement et dans une galerie sous digue

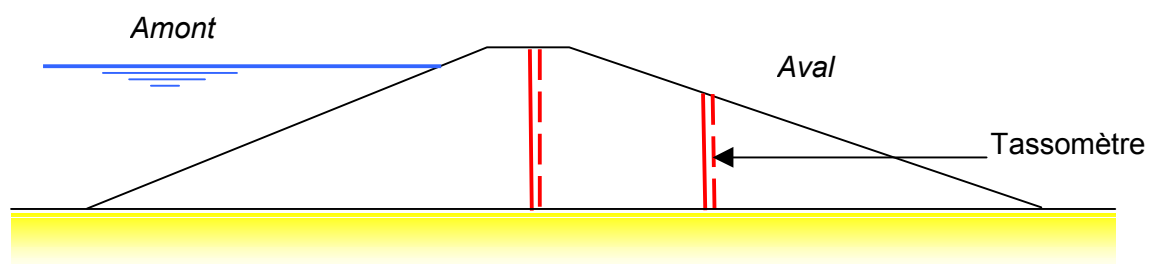


Figure 6 : Mesure des tassements d'un barrage en remblai par tassomètres

2.5.2 Pressions interstitielles et niveau piézométrique

Dans un barrage en remblai, il importe de contrôler l'évolution des pressions interstitielles (en particulier dans un noyau) et celle de la ligne piézométrique. La mesure s'effectue au moyen de cellules de pression pneumatiques, hydrauliques ou électriques et/ou de piézomètres (tube ouvert ou tube fermé muni d'un manomètre) (Figure 7).

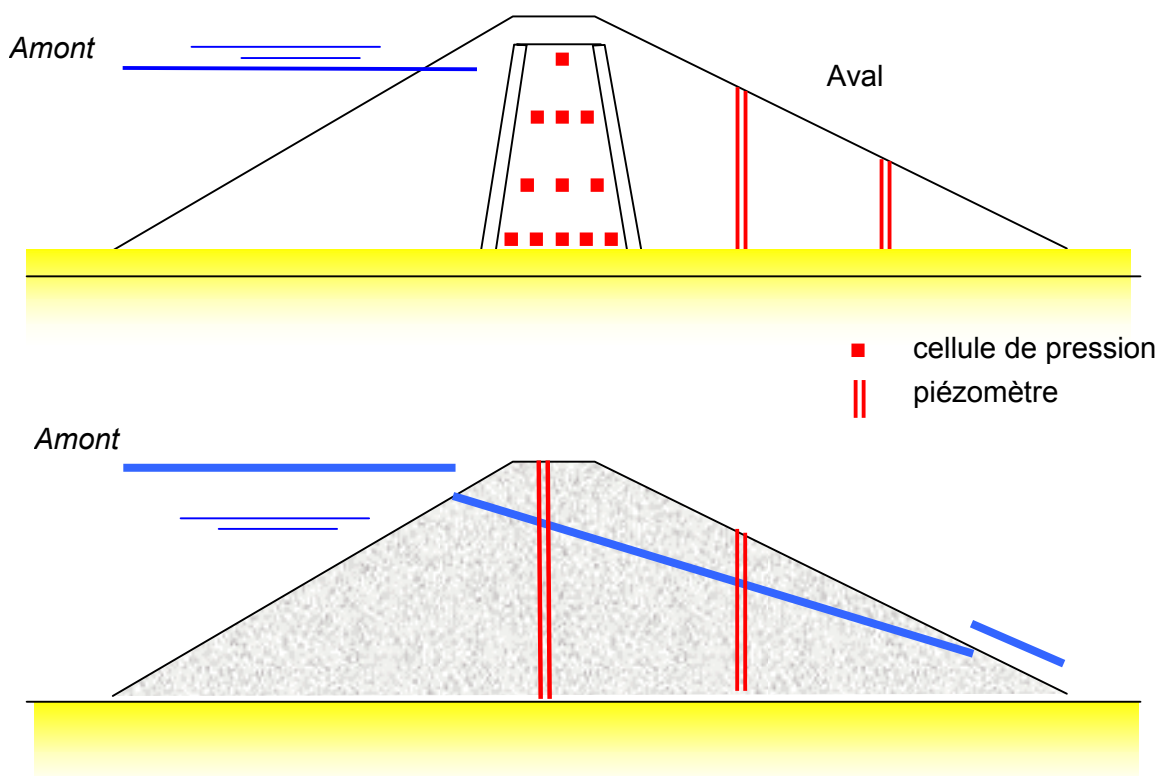


Figure 7 : Mesure des pressions interstitielles et du niveau piézométrique de barrages en remblai

2.5.3 Débits de fuite et drainage

Les débits de fuite et de drainage peuvent varier en fonction du niveau de la retenue et être influencés par les conditions atmosphériques ou la fonte des neiges. Les eaux de percolation peuvent être récoltées dans des drainages situés à l'aval d'un noyau ou à l'interface d'une membrane étanche et du corps du barrage en remblai.

On cherche à effectuer des mesures de débits partiels pour déterminer des zones de provenance. Ce procédé permet, en cas d'anomalie éventuelle, de localiser la zone critique et de faciliter la recherche des causes (Figure 8).

Les eaux de percolation et de drainage sont en général collectées et mesurées à leur exutoire par mesure volumétrique (voir note 4 en bas de page), par déversoir ou par venturi.

Il est aussi utile d'analyser le chimisme et la turbidité de l'eau. La mesure de turbidité indique s'il existe une migration de fines.

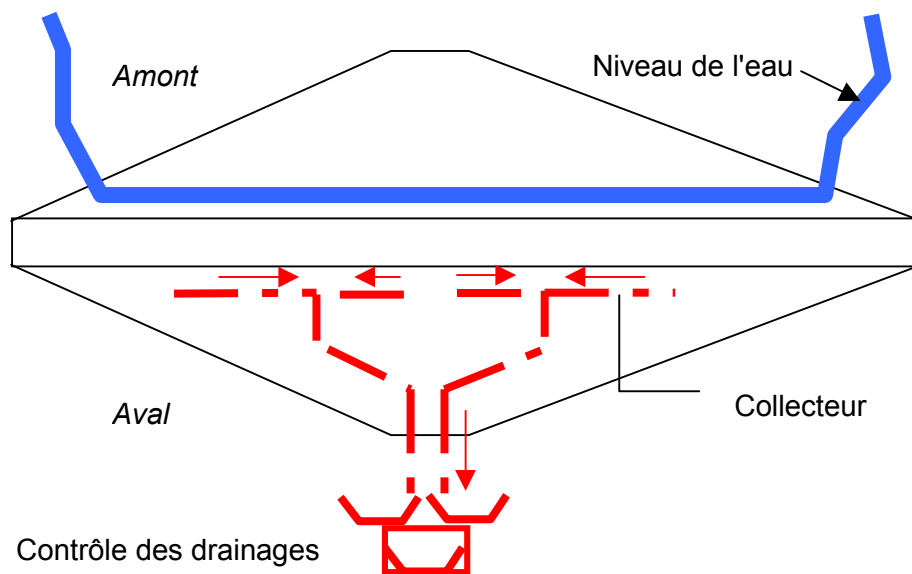


Figure 8 : Représentation schématique de la collecte des eaux de percolation et de la mesure des débits partiels et total

TYPES DE MESURE	INSTRUMENTS MOYENS DE MESURE
Déformations horizontales et déformations verticales (tassement)	Géodésie Réseau extérieur Nivellement Polygonale Mesures d'angle Mesures de vecteur (mesure d'angle et de distance) Alignement Inclinomètre Tassomètre Repère de tassement hydraulique
Ligne piézométrique	Piézomètre
Pressions interstitielles	Manomètre Cellule de pression
Débits de fuite et de drainage	Déversoir Mesure volumétrique Mesure du flux dans un tube Venturi
Température de l'eau	Thermomètre
Turbidité	Turbimètre
Chimisme des eaux de fuite	Analyse en laboratoire
Température dans le corps du remblai	Thermomètre électrique

Tableau 7 : Instruments et moyens de mesures pour les barrages en remblai

2.5.4 Equipement des barrages en remblai de petite hauteur de retenue

L'instrumentation de ces ouvrages, dont la hauteur n'excède pas 10 m, doit être simple et se limite au suivi de quelques paramètres essentiels en des points bien définis (niveau du plan d'eau, déformations, venues d'eau, niveau piézométrique).

Le niveau du plan d'eau peut être mesuré sur une échelle limnimétrique, un marquage étalonné sur le talus amont, par l'installation d'un limnimètre ou, le cas échéant, d'un limnigraphe. Si une station météorologique est installée dans les environs, elle peut fournir d'intéressantes indications sur les précipitations (pluie, neige) et les conditions environnementales.

Bien que les déformations de l'ouvrage soient faibles, il est utile de disposer de points de repère qui peuvent être d'une grande utilité pour relever une éventuelle modification majeure du comportement de l'ouvrage suite à un événement extraordinaire (séisme, crue).

Pour connaître les déformations dans le plan, il est possible de procéder à une mesure d'alignement ou d'angles sur un ou plusieurs points situés sur le couronnement (Figure 9). La mesure d'une polygonale ou les mesures d'angle et de distance (mesure de vecteur) permet une information plus précise.

Les déformations verticales (tassements) sont mesurées par nivellement de points situés sur le couronnement.

Dans le cas d'une galerie située dans un barrage en remblai, il est recommandé de procéder à un nivellement de points situés sur le radier et, éventuellement, à la mesure du mouvement des joints.

Enfin, le suivi de déplacements relatifs en surface entre la digue et une structure en béton est recommandé.

Si l'on observe des venues d'eau, elles sont collectées et le débit total peut être relevé au moyen d'une mesure volumétrique (voir note 4 en bas de page). Selon le type de digue, il est indiqué de contrôler, au moyen de piézomètres à tube ouvert, la situation de la surface de la nappe phréatique.

Pour les petits ouvrages, il faut signaler que les paramètres relevés ont de petites variations et de faibles valeurs. Dans ce sens, les contrôles visuels réguliers, ainsi que l'entretien n'en ont que plus d'importance (voir à cet effet, les chapitres 3 et 5).

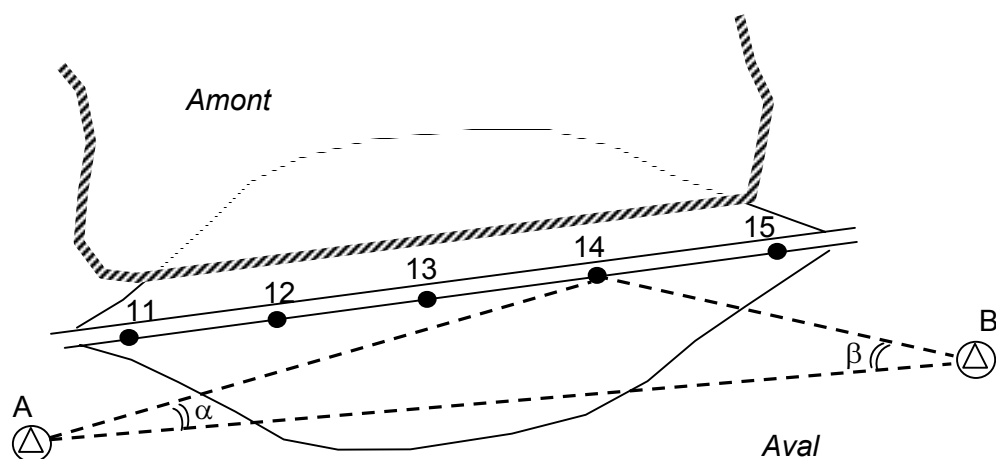


Figure 9 : Déformations d'un barrage en remblai déterminées par des mesures d'angle et de distance

2.6 Suivi du comportement des fondations

2.6.1 Fondation en rocher

A) Déformations

Les extensomètres et les micromètres de forage (une mesure tous les mètres) permettent la mesure de déformations selon des axes verticaux, inclinés ou horizontaux; la direction choisie de l'implantation des instruments dépend de la géologie et de la direction des forces transmises notamment pour les barrages-voûtes. Pour saisir au mieux la déformation des fondations, il est recommandé de placer les extensomètres au moins selon 2 directions ou de former un tripode. Il faut noter que dans un seul forage il est possible de placer jusqu'à 6 barres de longueurs différentes.

La mesure des déformations horizontales dans 2 directions (par exemple amont – aval, rive gauche – rive droite), peut se faire au moyen de pendules inversés (éventuellement équipés d'un guide-fil autocentreur qui permet des mesures à différentes profondeurs). Le recours à un extensomètre est possible pour autant qu'il soit de longueur suffisante et implanté selon une direction adéquate.

Les mouvements des appuis peuvent être suivis par des points implantés à proximité du barrage et intégrés dans le réseau de mesures géodésiques.

B) Sous-pressions et niveau piézométrique

Les sous-pressions, dont les valeurs varient normalement en fonction du niveau du plan d'eau, sont mesurées au niveau du contact béton-rocher et à différentes profondeurs en fondation. Les sous-pressions variant d'amont vers l'aval, il convient de répartir plusieurs points de mesure le long de la base des ouvrages en béton. Les mesures se font au droit de plusieurs sections.

La mesure des sous-pressions au niveau du contact béton-rocher et en fondation peut se faire par des forages ouverts (mesure d'un niveau d'eau) ou par des forages fermés équipés soit de manomètres, soit de cellules de pression pneumatiques, électriques ou hydrauliques réparties à différents niveaux dans un forage.

C) Débits de fuite et drainage

Cette mesure concerne l'eau percolant au travers du massif de fondation, de résurgences captées ou non. On mesure également les débits provenant de forages drainants ou de galeries de drainage. Ces mesures, conjointement avec celles des sous-pressions, livrent une information relative à l'état de l'écran d'étanchéité et à l'efficacité des drainages. Une diminution du débit peut indiquer un colmatage du système de drainage; il s'agit de vérifier la répercussion sur les sous-pressions.

La mesure des débits peut être volumétrique (voir note 4 en bas de page), s'effectuer au moyen d'un déversoir ou d'un venturi ou la mesure du flux dans un tube.

2.6.2 Fondation en terrain meuble

A) Déformation

Le nivellement, le tassomètre, les repères de tassement hydrauliques sont parmi les moyens disponibles pour mesurer les tassements d'une fondation en terrain meuble. Les nivellements sont également effectués dans une galerie dans le sens transversal ou longitudinal d'un barrage en remblai.

B) Pressions interstitielles et niveau piézométrique

La mesure des pressions interstitielles et du niveau piézométrique en fondation peuvent se faire par des forages ouverts (mesure d'un niveau d'eau) ou par des forages fermés équipés soit de manomètres, soit de cellules de pression pneumatiques, électriques ou hydrauliques réparties à différents niveaux dans la fondation.

C) Débits de fuite et drainage

Cette mesure concerne l'eau percolant à travers le massif de fondation et de résurgences captées. Les débits provenant de galeries de drainage sont également mesurés.

La mesure des débits peut être volumétrique (voir note 4 en bas de page), s'effectuer au moyen d'un déversoir ou d'un venturi ou mesure du flux dans un tube.

La mesure de turbidité indique s'il existe une migration de fines.



TYPES DE MESURE	INSTRUMENTS ET MOYENS DE MESURE	
	FONDATION EN ROCHER	FONDATION EN TERRAIN MEUBLE
Déformations	Inclinomètre Extensomètre Micromètre de forage Géodésie (polygonale, nivellement)	Inclinomètre Extensomètre Micromètre de forage Mesures de tassement (Nivellement, tassomètre, repères de niveau hydrauliques)
Mouvements particuliers (fissures, joints)	Micromètre de forage	
Sous-pressions et pressions interstitielles	Manomètre Cellule de pression	
Nappe phréatique	Piézomètre	
Débits de percolation et de drainage	Déversoir Mesure volumétrique Mesure du flux dans un tube Venturi	
Température	Thermomètre	
Turbidité	Turbidimètre	
Chimisme des eaux de percolation	Analyse en laboratoire et mesures in situ	

Tableau 8 : Instruments et moyens de mesure pour les fondations en rocher et en terrain meuble

2.7 Géodésie

2.7.1 Réseau de triangulation

Si les points de mesure sont situés à l'intérieur du barrage, seules les déformations relatives sont obtenues, ce qui est suffisant dans le cadre de la surveillance courante. En revanche, pour obtenir des indications sur l'évolution des déformations ou dans le cas d'un comportement particulier, des valeurs de déformations absolues sont requises.

Le système propre au barrage est complété par un espace de référence auquel il est relié. A ce dernier, peut être adjoint un espace de référence étendu dont certains points pourront être mesurés par le système GPS (Global Positioning System). Le système GPS offre une méthode appropriée pour intégrer au réseau de contrôle, hors de la zone de déformation, des points géologiquement stables.

La combinaison du GPS avec les mesures géodésiques terrestres constitue un réseau hybride (Figure 10).

Grâce à la géodésie, il est possible de mesurer le déplacement de repères par rapport à un réseau composé de stations supposées fixes. Cette méthode présente l'avantage de déterminer des déplacements absolus. Toutefois, les campagnes de mesure sont tributaires des conditions météorologiques.

En ce qui concerne le réseau de triangulation, l'implantation des points fixes de mesure hors de la zone du barrage est l'objet d'une collaboration entre le géomètre, l'ingénieur et le géologue. Les points fixes seront implantés tant à l'amont qu'à l'aval. Il faut aussi de prévoir le rattachement des pendules et des têtes des extensomètres au réseau de triangulation.

Il est conseillé d'étendre le cheminement du nivellement aussi loin que possible à l'aval du barrage de même que le long des rives à l'amont.

Enfin, il faut mentionner qu'il est nécessaire de faire appel à des spécialistes pour exécuter ces mesures.

2.7.2 Equipement des barrages

Les points de contrôle ou de mesure sont implantés sur le couronnement, dans les galeries du barrage et/ou sur le parement aval, ainsi que sur le terrain. Dans le cas des barrages de petite hauteur de retenue, ces points sont en particulier situés sur le couronnement. Pour les barrages en remblai, des points seront aussi placés sur le talus amont.

Les déformations peuvent être obtenues par des mesures d'angle, de vecteurs (mesures de distance et d'angle) et d'alignement.

La polygonale donne une information relative aux déplacements en plan. Le nivellement permet de déterminer des déplacements altimétriques; on distingue le nivellement de précision (mesure directe de différence de niveau entre 2 points) et le nivellement topographique (mesure d'angle entre 2 points de distance connue).

2.7.3 Instrumentation

L'équipement se compose d'une part de théodolites, de niveaux, de distancemètres, d'autre part d'accessoires tels que des cibles, réflecteurs, plombs optiques, mires, fils invar, etc.

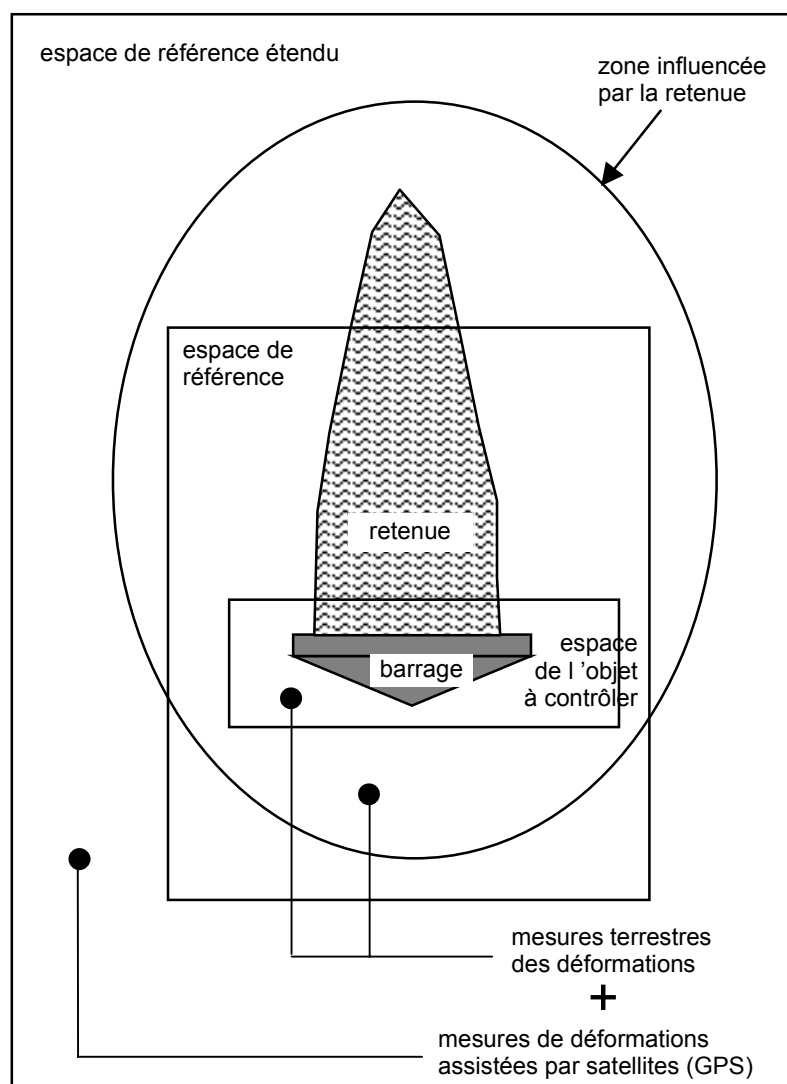


Figure 10 : Les différents réseaux des mesures géodésiques

2.8 Surveillance des environs proches et éloignés de l'ouvrage de retenue

2.8.1 Introduction

Cette surveillance englobe des mesures (déformations du terrain, venues d'eau) et des observations visuelles (voir aussi chapitre 3). Elle concerne les zones de contact amont et aval, le pied aval de l'ouvrage, les flancs du réservoir, de même que l'ensemble du bassin versant.

L'entretien des cours d'eau à l'aval des barrages est du ressort des cantons et des communes.

2.8.2 Affouillement au pied aval du barrage

Si des affouillements qui peuvent se produire à l'aval du barrage, il est indiqué d'effectuer des relevés réguliers de leur forme et leur profondeur (par exemple tous les 3 à 5 ans ou suite à une crue exceptionnelle). Ces relevés peuvent être exécutés topographiquement ou par bathymétrie (en cas de présence d'eau).

2.8.3 Résurgences à l'aval

Le relevé des débits des résurgences à l'aval doit aussi être effectué, car une variation de ces débits peut indiquer une anomalie dans le réseau de circulation des eaux souterraines. La mesure des débits peut être volumétrique, éventuellement s'effectuer au moyen d'un déversoir taré (courbe de tarage).

2.8.4 Relevé de la nappe phréatique

La mesure de fluctuation d'une nappe phréatique est parfois indiquée. Le relevé des niveaux peut se faire au moyen d'une sonde avec témoin, glissée dans un forage ouvert ou au moyen d'un capteur de pression avec enregistrement.

2.8.5 Sédiments dans la retenue

Il est important de relever les dépôts de sédiments dans la retenue, surtout dans la zone proche du barrage. Il faut s'assurer que les ouvrages de prise et d'évacuation sont dégagés. On peut procéder dans ce cas à des relevés bathymétriques, dont la fréquence dépend de l'ampleur des apports en sédiments.

2.8.6 Chutes de blocs

Il faut vérifier que des blocs instables ne mettent pas en danger les personnes, les accès et les installations. Des mesures de curage, de consolidation ou la mise en place d'un filet de protection peuvent s'avérer nécessaires.

2.8.7 Zones de terrains instables

Les zones instables doivent être observées. Un glissement pourraient provoquer une vague et un débordement par-dessus le couronnement.

Dans ce cas, on peut recourir à des mesures géodésiques (mesures de triangulation pour connaître la variation spatiale des déplacements de points en surface), des mesures de distance directes entre plusieurs points, des mesures par inclinomètre pour suivre les déformations en profondeur (voir Figure 11).

2.8.8 Avalanches

Selon la situation, une observation de la couverture neigeuse est recommandée. Dans le cas où des avalanches importantes pourraient atteindre la retenue, un abaissement du niveau du plan d'eau est exigé pendant la période critique. Cette mesure doit permettre d'éviter un débordement par-dessus le couronnement suite à l'arrivée d'une avalanche.

2.8.9 Glaciers

Il sera procédé à une inspection et à des mesures de déformations des glaciers dominant une retenue. En cas de danger de chutes importantes de masse de glace pouvant atteindre la retenue, un niveau abaissé est exigé pendant la période où existe la menace d'un débordement par-dessus le couronnement.

2.8.10 Poches glaciaires

L'existence de poches glaciaires peut aussi constituer un danger en cas de rupture.

2.8.11 Bassin versant

La configuration et le développement du bassin versant peuvent avoir une incidence dans le développement des crues. Il est donc utile d'évaluer les modifications morphologiques au cours du temps, tels qu'érosion, permafrost, glissements de terrain, laves torrentielles, déboisement, nouvelle route et surface étanche, nouvelles constructions, etc.

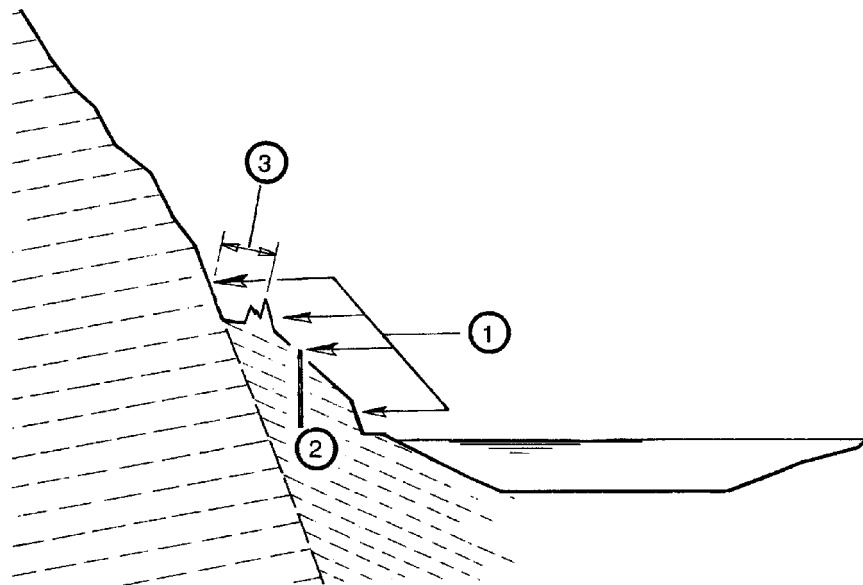


Figure 11 : Moyens de contrôle d'une rive ou d'un versant
1 Triangulation; 2 Mesures en forage; 3 Mesures de distance

2.9 Programme de mesures

2.9.1 Généralités

Le programme de mesures doit être adapté aux dimensions de l'ouvrage. Il sera aussi fonction du niveau de la retenue (on peut faire une distinction entre retenue abaissée ou pleine), la nature du comportement de l'ouvrage (situation normale ou anormale).

Des mesures ponctuelles doivent aussi être effectuées suite à un événement extraordinaire, comme un séisme, une crue. Par ailleurs, en cas d'anomalie ou de comportement particulier, le rythme des mesures est plus élevé.

2.9.2 Cas des ouvrages d'accumulation de hauteur de retenue supérieure à 10 m

Les fréquences de mesure les plus élevées (hebdomadaire, bimensuelle, mensuelle) concernent les paramètres représentatifs du comportement global de l'ouvrage (par exemple, les déformations mesurées au moyen de pendules, les débits totaux de drainage, les pressions) (voir Tableau 9). Il s'agit notamment d'être en mesure de mettre rapidement en évidence une anomalie.

D'autres paramètres complémentaires (par exemple les déformations de joints, les mesures de rotation) sont relevés 1 à 2 fois par an.

Les campagnes des mesures géodésiques complètes, qui sont des mesures particulières, sont effectuées en règle générale tous les 5 ans. Il faut relever que dans le cas des digues, des mesures de nivellement et éventuellement de polygonales, sont exécutées une, voire 2 fois par an pour suivre l'évolution des déformations.

On sauvegardera au moins une valeur par jour (instantanée ou moyenne) pour les paramètres mesurés automatiquement (niveau du lac, température de l'air, paramètres de comportement, tels que déformations, pressions, débits de percolation).

2.9.3 Programme de mesures pour des ouvrages de petite hauteur de retenue ($H < 10$ m)

Le programme est dans ce cas adapté aux moyens mis en place, ainsi qu'aux grandeurs et variations possibles des paramètres mesurés.

Si les déformations attendues sont faibles, il est possible de procéder à une mesure annuelle de contrôle pour s'assurer du comportement correct de l'ouvrage.

La mesure des débits des venues d'eau et le relevé des niveaux piézométriques sont des indicateurs du comportement de l'ouvrage dont le mode opératoire est facile et l'interprétation rapide. Il est recommandé d'effectuer au moins une mesure mensuelle, en même temps que les contrôles visuels.

PARAMÈTRES	TYPES DE MESURE	FRÉQUENCE
Paramètres représentatifs du comportement global	Pendules Débits totaux Pressions	Hebdomadaire bimensuelle Mensuelle
	Mesures géodésiques complètes	Tous les 5 ans
	Mesures géodésiques réduites	1 à plusieurs fois par an
Paramètres complémentaires	Déformations des joints Rotation	1 à 2 fois par an

Tableau 9 : Résumé de la fréquence des mesures

2.10 Interprétation des mesures ⁵

2.10.1 Généralités

L'appréciation du comportement d'un barrage s'effectue essentiellement en interprétant les résultats des mesures d'auscultation.

La figure 12 illustre le processus général d'analyse du comportement du barrage sur la base des mesures et des données livrées par le dispositif d'auscultation. L'analyse du comportement des ouvrages de petite hauteur de retenue peut se limiter aux opérations figurant dans la moitié supérieure de la figure (détermination de paramètres représentatifs et information relative aux observations visuelles).

Si la saisie des données d'auscultation est en général de la compétence de l'exploitant, les tâches d'interprétation concernent, à divers titres, l'ensemble des intervenants (exploitant, ingénieur expérimenté, experts confirmés et autorité de surveillance). Il est du ressort de l'exploitant de s'assurer de la plausibilité des valeurs obtenues et ensuite de procéder à leur validation. Il appartient au professionnel expérimenté de vérifier la validité des résultats acquis et de les entériner si le comportement est adéquat.

Il s'avère donc nécessaire de définir, lors de la conception d'un système de surveillance, les compétences pour l'interprétation des données, même si une procédure relativement bien établie est généralement suivie telle que celle décrite aux paragraphes suivants. Cette procédure vise notamment à déceler sans délai toute anomalie de comportement de l'ouvrage, de sorte que l'essentiel de l'interprétation s'effectue peu de temps après l'exécution des mesures.

⁵ Pour cette partie, on peut se référer aux publications du CSB [4] et [6]

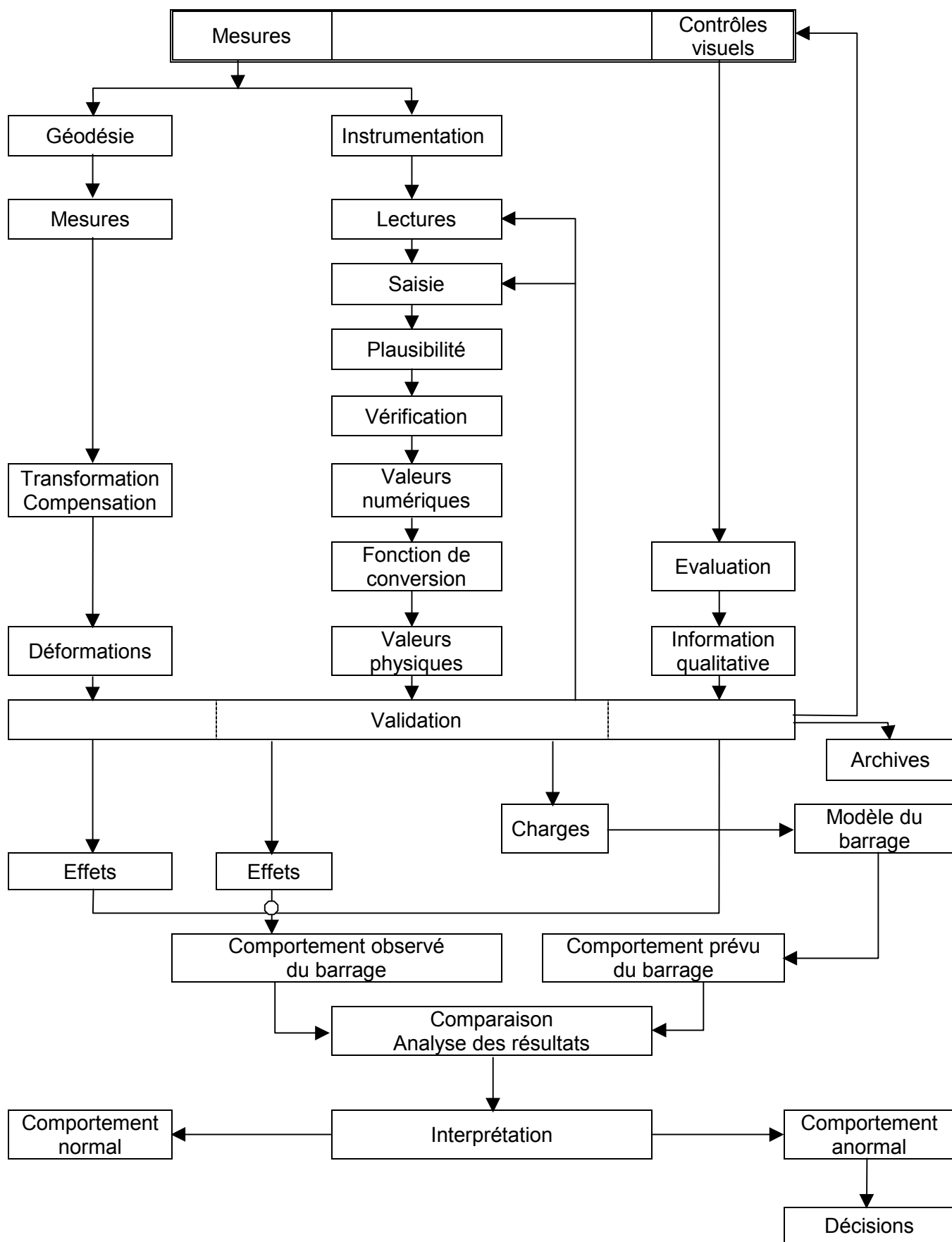


Figure 12 : Schéma pour l'interprétation des mesures et observations

2.10.2 Contrôles de plausibilité

Avant de procéder à l'interprétation des données d'auscultation, il est nécessaire de vérifier et de valider les mesures acquises.

Le contrôle de plausibilité, pris en charge généralement par l'exploitant, peut s'effectuer de plusieurs façons selon le mode de saisie (manuel ou automatique) et le type de mesure. En fait, ce premier contrôle vise à limiter les erreurs dans la saisie, la transcription ou la transmission des mesures et donc à en accroître leur fiabilité.

La procédure la plus répandue consiste à vérifier que la mesure qui vient d'être saisie soit à l'intérieur d'une bande de plausibilité (voir Annexe 2.3), dont les limites sont établies à l'aide des mesures précédentes en tenant compte du niveau du plan d'eau et/ou de la période de mesure. Même si cette procédure est souvent la seule approche possible, elle présente l'inconvénient de ne pas prendre en considération des conditions d'exploitation particulières de l'ouvrage. De ce fait, les mesures de référence précédant ne sont souvent pas disponibles en nombre suffisant.

Si une lecture se situe en dehors des limites de plausibilité, elle doit être refaite lorsqu'il s'agit d'une saisie manuelle. Toutefois, des conditions d'exploitation particulières (niveau d'eau fortement abaissé, températures exceptionnelles) peuvent conduire à des lectures se trouvant en dehors des limites de plausibilité, et ceci ne signifie pas pour autant qu'il s'agisse d'une lecture erronée ou que l'on soit en présence d'un comportement anormal de l'ouvrage. Les résultats peuvent être admis si le professionnel expérimenté confirme leur pertinence.

Une autre approche pour le contrôle de plausibilité consiste dans le contrôle immédiat de la corrélation d'une même mesure, mais effectuée avec une instrumentation ou un type de saisie différent. Le contrôle permet également de vérifier la fiabilité d'un système automatique d'acquisition des données. Dans ce cas, la lecture manuelle est donc comparée avec celle qui est enregistrée automatiquement.

Pour les ouvrages d'accumulation de petite hauteur de retenue, une analyse de plausibilité peut en général s'avérer suffisante, mais l'interprétation des résultats doit être confirmée par un professionnel expérimenté.

1.10.3 Analyse des résultats des mesures d'auscultation

À la suite des contrôles de plausibilité, les données sont transmises pour validation au professionnel expérimenté. Ce dernier est chargé de leur interprétation afin d'évaluer le comportement global de l'ouvrage. L'interprétation des mesures d'auscultation se fait par l'application des modèles suivants [6]:

- modèle statistique
- modèle déterministe

Le modèle statistique se base essentiellement sur la comparaison de mesures. Elle consiste à comparer les mesures actuelles avec les précédentes ou à établir une corrélation entre des différentes lectures (températures - déformations, infiltrations - niveau du plan d'eau, etc.). Selon le type de mesure et le type d'ouvrage, des lois statistiques très simples ou bien plus complexes sont applicables. Indépendamment de l'application spécifique, les modèles statistiques présentent les caractéristiques principales suivantes:

- la fiabilité du modèle dépend du nombre ainsi que de la fiabilité des données historiques disponibles;
- le modèle permet uniquement la comparaison du comportement actuel avec le précédent. Il répond ainsi à la question de savoir si le comportement de l'ouvrage ne présente pas d'anomalie pendant une certaine durée.

Sur la base de ces caractéristiques, il s'avère qu'un modèle statistique ne permet pas l'analyse des conditions de charges exceptionnelles (vidanges, températures extrêmes, séismes) en raison de l'absence de la base statistique. Par ailleurs, c'est souvent dans de telles situations qu'une analyse fiable et rapide de l'état de l'ouvrage est demandée.

Le modèle déterministe se base sur la comparaison entre une valeur mesurée et une valeur calculée. Cette dernière est obtenue avec l'application d'un modèle de calcul du barrage qui prend en compte les conditions de charge actuelles. Le modèle déterministe se différencie du modèle statistique par les particularités principales suivantes:

- des mesures ne sont en principe pas nécessaires pour l'élaboration du modèle. Toutefois, le modèle mathématique doit permettre de quantifier l'effet des différentes sollicitations sur le comportement de l'ouvrage.
- le modèle permet d'établir pour toute combinaison de charges un comportement attendu de l'ouvrage. L'analyse n'est donc pas limitée aux conditions de service qui déjà produites, mais peut être appliquée à toute sollicitation future.

Le modèle déterministe permet donc de connaître si le comportement observé de l'ouvrage correspond à celui qui est attendu.

Les deux modèles (statistique et déterministe) présentent des avantages et des inconvénients qui doivent être pris en compte lors de la définition de la procédure à adopter pour l'interprétation des mesures d'auscultation.

Le tableau 10 montre de manière qualitative les caractéristiques des deux modèles. Il ressort que les deux modèles sont relativement complémentaires. Il s'avère donc opportun de prévoir leur combinaison, notamment pour les ouvrages de moyenne ou grande hauteur de retenue.

Il faut notamment de relever que l'application d'un modèle déterministe est limitée à l'analyse des déformations de barrages en béton, tandis que pour toutes les autres mesures ainsi que pour les digues, seule une analyse statistique s'avère possible. Dans les limites de leur domaine d'application, les modèles déterministes permettent une analyse très fine du comportement du barrage, notamment en cas de phénomènes non réversibles très lents ou en cas de conditions d'exploitation exceptionnelles.

CARACTERISTIQUES DU MODELE	MODELE STATISTIQUE	MODELE DETERMINISTE
Elaboration du modèle	Relativement simple	Relativement complexe
Application aux types d'ouvrages	Tous types d'ouvrages	Limité aux barrages en béton
Application aux types de mesure	Tous types de mesure	Limité aux mesures de déformation
Niveau de détail de l'analyse	Variable selon données disponibles	Élevé
Utilisation en cas de situations exceptionnelles	Limitée	Possible

Tableau 10 : Comparaison qualitative entre le modèle statistique et le modèle déterministe pour l'analyse des mesures d'auscultation

3. CONTRÔLES VISUELS

3.1 Tâches de l'exploitant

Grâce aux contrôles visuels, une présence sur le site est assurée à intervalles réguliers. Il est reconnu que les deux tiers des événements extraordinaires ont été mis en évidence par des observations visuelles.

Le programme de ces contrôles consiste à s'assurer qu'il n'y a pas de variations importantes en ce qui concerne notamment :

- L'état du barrage
 - ouvrages en béton: état du parement aval et de la partie visible du parement amont, les galeries, apparition de nouvelles fissures ou extension de fissures existantes, éclatement du béton, déplacement relatif de plots, percolations, zones humides, efflorescences et suintements, dépôts de calcite, débits et qualité des eaux de drainage, etc.
 - ouvrages en remblai: tassements locaux, zones de glissement locales, humidité sur le parement aval, végétation sur talus aval, débits et qualité des eaux de drainage, zone de contact avec des structures en béton, détériorations dues aux animaux (blaireaux, taupes, rats musqués, marmottes, etc.), dégâts dus au bétail sur le parement aval des barrages en remblai, etc.
- Les appuis du barrage: zone de contact, partie amont et aval de barrage, zone d'affouillement (voir Chapitre 2.8.2)
- Les galeries en rocher: tenue de la roche en place et des revêtements, venues d'eau (suintement, source), qualité des eaux
- L'état des ouvrages hydrauliques: évacuateur de crue, bassin amortisseur, sortie de vidange, état des coursiers, prise d'eau, galerie de purge,
- L'état des équipements électromécaniques (dommages, pertes)
- Les abords immédiats, ainsi que les rives et les versants de la retenue:
 - résurgences
 - nouvelles venues d'eau
 - détournements de ruisseaux
 - chutes de pierres
 - indices d'instabilité de pente (fissures de la couche végétale, bourrelets, glissements)
 - glaciers
 - déplacements de routes, sentiers, clôtures, arbres
 - évolution de la végétation

Les contrôles visuels réguliers sont effectués par le personnel de l'exploitant. Ils auront lieu, selon les ouvrages et les situations, toutes les semaines ou 1 fois par mois au moins. La fréquence des visites peut être adaptée aux conditions d'exploitation (lac plein ou abaissé) et en fonction des saisons. Dans le cas des ouvrages importants, il est possible d'établir un programme partiel de contrôle pour chaque visite. Toutefois, le programme complet de contrôle de l'ouvrage doit être effectué dans un laps de temps de 1 mois.

Une visite à lac vide donne des informations sur l'état

- du parement amont ou du talus amont
- des ouvrages de fond
- de la sédimentation
- des versants de la retenue

Pour organiser la visite, une check-list définit les éléments de base du contrôle visuel. Au cours de la visite, toutes les particularités seront relevées, la prise de photos est un complément utile. Suite à la visite, un rapport est établi, avec indication des défauts et des anomalies constatés, des recommandations à prendre au niveau de l'entretien et de l'exploitation des ouvrages.

Il est recommandé de préparer un formulaire (format A4) avec indication du cheminement de contrôle et des points à contrôler; ce type de document est valable comme rapport de visite de l'exploitant.

3.2 Tâches du professionnel expérimenté (ingénieur spécialisé)

Il appartient à l'ingénieur spécialisé de procéder à une inspection annuelle détaillée de l'ouvrage et de ses parties annexes, de ses installations, ainsi que des environs immédiats⁶. Cette inspection s'effectue en général à lac plein. Il est également recommandé d'inspecter périodiquement l'ouvrage à lac vide. L'ingénieur spécialisé peut être amené à procéder à une inspection particulière de l'ouvrage suite à un événement extraordinaire, par exemple un tremblement de terre ou une crue exceptionnelle.

L'ingénieur spécialisé relève et consigne dans un rapport toutes les particularités relatives à l'état de l'ouvrage et de ses installations [5]. Un rapport rassemblant tous les faits relevés sous forme écrite ou sur des plans (fissures, venues d'eau, dégâts) sert de base et doit être mis à jour tous les 5 ans. Lors des inspections annuelles, l'ingénieur spécialisé consigne les évolutions particulières et les éléments nouveaux. La prise de photos est un excellent moyen pour visualiser l'évolution entre les visites annuelles ou des modifications extérieures (glaciers, versants, éboulements, etc.).

Les résultats des visites sont aussi mentionnés dans le rapport annuel. Sur la base des résultats de la visite, il indique les travaux nécessaires que l'exploitant doive entreprendre dans le cadre de l'entretien des ouvrages et des installations.

L'ingénieur spécialisé doit aussi s'assurer de l'exécution des essais de fonctionnement de diverses installations.

3.3 Tâches des experts confirmés

L'expert génie civil s'assure tous les 5 ans que l'état de l'ouvrage et ses environs, de ses parties annexes et de ses installations correspondent aux critères de sécurité. Il consigne dans son rapport d'expertise les résultats de son inspection et donne, si nécessaire, des recommandations quant aux mesures à prendre. Ces dernières doivent être exécutées avec diligence par l'exploitant.

L'expert géologue contrôle les zones de contact des appuis, les parties visibles des fondations, la stabilité des versants, l'évolution du bassin versant. Il consigne dans son rapport d'expertise les résultats de son inspection et donne, si nécessaire, des instructions quant aux parties à surveiller, observer et/ou nettoyer. Le cas échéant, il indique les mesures de protection à prendre.

⁶ Cette inspection annuelle est indépendante des contrôles réguliers effectués par l'exploitant.

4. CONTRÔLES ET ESSAIS DE FONCTIONNEMENT DES INSTALLATIONS

4.1 Introduction

Il s'agit de vérifier périodiquement le fonctionnement

- des organes de décharge et leur équipement de commande
- de l'instrumentation
- des moyens de communication (liaisons phoniques)
- des sirènes alarme eau

4.2 Organes de décharge et leur équipement de commande

4.2.1 Conditions

Selon l'article 12, alinéa 2, OSOA, l'exploitant a l'obligation de contrôler chaque année le bon fonctionnement des organes de décharge équipés de vannes, pour autant que ces dernières n'aient pas été manœuvrées dans le cadre de l'exploitation régulière de l'aménagement. Par ailleurs, il est important que l'essai soit effectué à niveau de retenue élevé et avec lâchure (ouverture partielle).

L'exploitant est tenu d'informer l'autorité de surveillance compétente de la date des essais (art. 15, al. 2, OSOA). Dans le cas des ouvrages exclusivement soumis au contrôle de la Confédération, il avertit également le service cantonal compétent.

Les essais de fonctionnement sont obligatoires et ne font l'objet d'aucune autorisation particulière. Par contre, les opérations de purge et de vidange doivent être approuvées par l'autorité cantonale compétente.

Il faut enfin relever que l'entretien des cours d'eau est du ressort des cantons ou des communes. Certains exploitants recourent à des lâchures afin d'assurer l'écoulement.

4.2.2 Types d'organes mobiles

Il est question ici des organes mobiles directement intégrés ou non aux barrages :

- les organes mobiles de surface
- les organes mobiles de fond (parfois complétés, selon l'importance de l'ouvrage par un organe intermédiaire)

4.2.3 Raison des essais

Il ne faut pas négliger l'importance des essais de fonctionnement. Dans cet ordre d'idée, il peut arriver qu'il ne soit plus possible de manœuvrer les vannes lors de crues exceptionnelles en raison de multiples défaillances du système de manœuvre des vannes, ce qui pourrait conduire à des dommages considérables pour l'ouvrage et les zones situées en aval.

La nécessité de la mise en fonction de ces éléments au cours d'une année peut se présenter de manière fréquente (s'il s'agit d'évacuer des crues), voire être restreinte ou nulle (cas de la vidange de fond). C'est dans ce dernier cas surtout que l'essai prend toute son importance, car le fait de procéder une fois par année au moins à une manœuvre de vannes avec lâchure permet de tester l'ensemble des commandes et de remplacer le cas échéant un élément défaillant. De plus, il permet d'entraîner le personnel aux procédures établies pour ces manœuvres, qui font également partie de la gestion des crues.

4.2.4 Procédure d'essai

Ces essais doivent se dérouler selon un processus comparable à la situation qui peut se présenter lors d'un cas exceptionnel qui conduit à l'obligation de manœuvrer les vannes (abaissement préventif impératif, maintien d'un niveau lors du passage d'une crue selon un programme préalablement établi). C'est la raison essentielle pour laquelle un essai avec lâchure est imposé. Il s'agit principalement de s'assurer que la vanne peut être décollée de son siège sous charge (maximale ou) voisine du maximum. En outre, on peut ainsi vérifier les possibilités de réglage de débit. Une légère ouverture de la vanne de service est suffisante (au moins 10 cm, selon point 2 de la figure 13), la fermeture peut suivre immédiatement l'ouverture. Le volume écoulé est faible et il n'y a pratiquement aucune répercussion dans le lit de la rivière à l'aval. Une fois cet essai d'ouverture partiel effectué, on peut procéder à son ouverture totale à l'abri de la vanne de garde fermée ou d'un batardeau.

En ce qui concerne les aménagements équipés d'une vidange de fond et d'une vidange intermédiaire, les essais de la vidange de fond avec lâchure peuvent être effectués à niveau abaissé, mais pas inférieur à celui de la vidange intermédiaire. Quant aux vannes de la vidange intermédiaire, les essais avec lâchure sont effectués à un niveau de retenue élevé.

La procédure d'essai doit figurer dans les consignes de surveillance et d'exploitation. Les points A, B et C concernent plus particulièrement les vidanges de fond.

A) Procédure de l'essai de 2 vannes en série

Cet essai concerne particulièrement les vidanges de fond. Il faut relever que parfois la configuration de l'équipement d'un évacuateur de crue est semblable à celle d'une vidange de fond. Dans ce cas, la même procédure est applicable.

La figure 13 présente les opérations successives pour les essais de fonctionnement de 2 vannes en série (vannes de service et de garde). L'essai s'effectue à niveau élevé de retenue.

B) Procédure de l'essai de 3 organes mobiles de fermeture (vannes en série)

La vanne située tout à l'amont peut être considérée comme vanne de garde supplémentaire. Elle est testée en eau morte en effectuant une fermeture totale après avoir effectué l'essai des 2 vannes aval selon la procédure de la figure 13.

C) Procédure de l'essai d'un organe mobile de fermeture

Des vidanges de fond ou intermédiaire ne sont munies que d'une seule vanne. Dans ce cas, on procède à une ouverture partielle d'environ 10 cm (passage sous vanne comme point 2 de la figure 13), suivie d'une fermeture immédiate. Il est aussi recommandé d'effectuer une manœuvre totale d'ouverture à lac vide ou à l'abri d'un batardeau.

D) Procédure de l'essai des organes mobiles de fermeture des évacuateurs de crues

Dans le cas où les organes mobiles de fermeture qui équipent les évacuateurs de crue d'ouvrages d'accumulation ne seraient pas manœuvrés au cours d'une année, un essai doit être entrepris. Ce dernier est effectué avec une ouverture partielle d'au moins 10 cm avec écoulement.

Pour autant que les conditions d'écoulement à l'aval le permettent, les vannes peuvent être totalement ouvertes. Dans le cas contraire, on peut envisager une ouverture totale à lac abaissé.

E) Procédure de l'essai des organes mobiles de fermeture des barrages en rivière

Il est fréquent que les organes mobiles de décharge des barrages en rivière seront manœuvrés en période de crue au moins une fois par an. Si tel ne devait pas être le cas, on procède à des essais annuels des organes mobiles concernés. Selon les cas, ces essais se limiteront à une ouverture partielle (voir point 2 de la figure 13).

Il est par ailleurs recommandé de procéder des ouvertures complètes selon un protocole d'essais, de chacun des organes de décharge lorsque les conditions d'exploitation le permettent, grands débits, mise hors service de turbines, crues, etc. Il convient toutefois de ne pas créer une crue artificielle dans la rivière.

4.2.5 Essai avec commande à distance

Dans le cas où les vannes pourraient être commandées à distance, un essai avec ce moyen doit être effectué chaque année.

4.2.6 Protocole d'essai

Tout essai doit faire l'objet d'un protocole dans lequel seront consignés la succession des opérations, les valeurs des ouvertures, les temps d'ouverture et de fermeture, les pressions, les incidents, les indications de modifications des procédures, etc.

4.2.7 Recommandations

Avant de débiter les essais, il est recommandé de procéder à des contrôles préliminaires. Il s'agit entre autres de vérifier l'état des ouvrages d'évacuation des eaux (galerie, coursier), de s'assurer qu'il n'y a pas d'obstacles (neige, dépôts, etc.) ou de présence humaine dans le cours d'eau ou à proximité immédiate.

Des essais de fonctionnement des groupes de secours et des moyens auxiliaires sont aussi à prévoir.

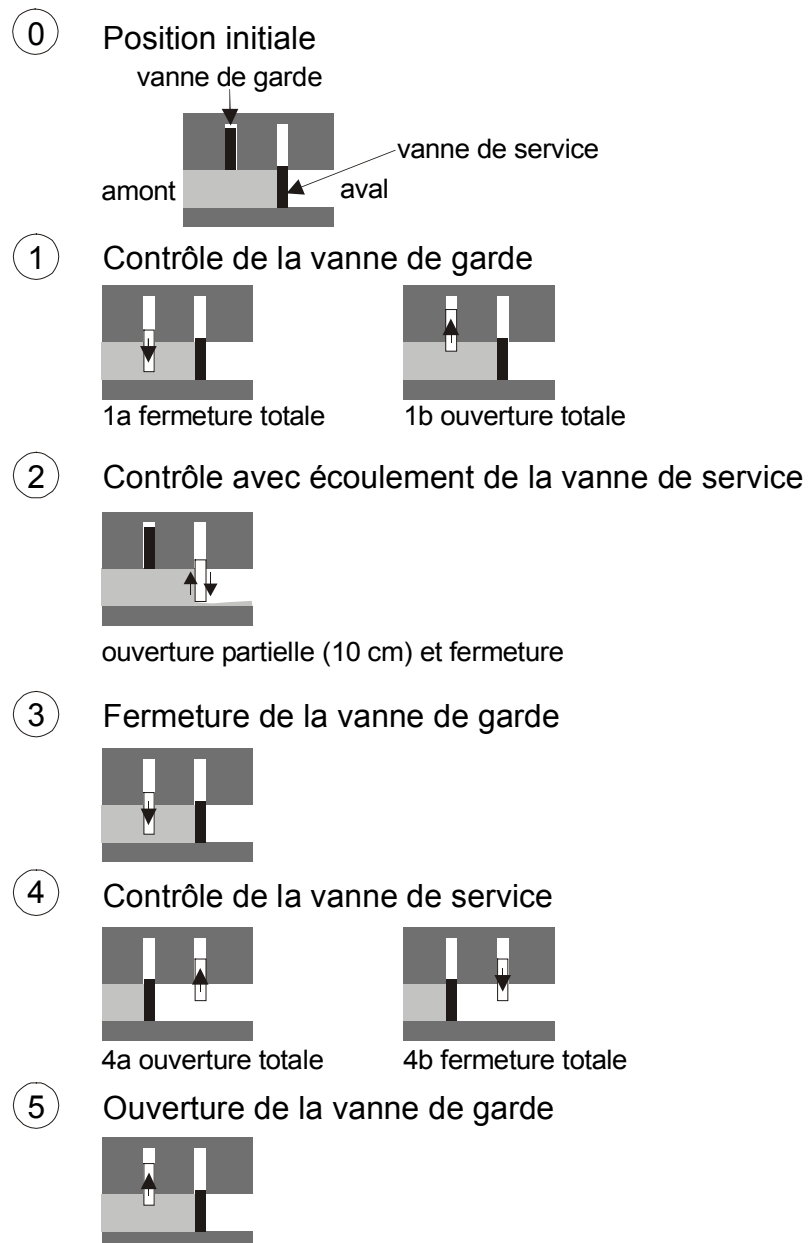


Figure 13 : Séquences des essais de fonctionnement de 2 vannes en série
(cas d'une vidange de fond ou d'une vidange intermédiaire en charge)



4.3 Instrumentation

Il faut avoir la garantie que les instruments et leur support sont en bon état. On procède au contrôle de leur fonctionnement correct et régulièrement à leur calibrage. En ce qui concerne la géodésie, l'état des piliers et des points de repère doit être vérifié. Toute végétation qui occulte des visées doit être éliminée.

4.4 Moyens de communication (liaisons phoniques)

Comme les moyens de communication (liaisons téléphoniques) de l'exploitant sont particulièrement important en cas de gestion d'événements extraordinaires (en particulier les crues), ils doivent être testés au minimum 1 fois par an.

4.5 Installations de l'alarme-eau

Pour l'entretien et les essais de ces installations, on se référera au dossier bleu Alarme-eau 2000 et aux directives en la matière.

5. ENTRETIEN

L'entretien, qui est entièrement du ressort de l'exploitant, permet de conserver toutes les parties de l'ouvrage dans un bon état et d'assurer le fonctionnement en permanence des installations. Certains travaux servent aussi à assurer la sécurité du personnel et des visiteurs. L'importance des travaux à entreprendre dépend également de l'ampleur des dégâts constatés.

L'entretien concerne entre autres les éléments suivants pour lesquels quelques exemples de travaux d'entretien courant sont donnés [5]:

Barrages en béton

- Ragréage de bétons de surface
- Nettoyage des rigoles de récolte des eaux, de forages drainants, de drains
- Elimination de dépôts de calcaire
- Elimination de végétation (mousse, plantes, herbes) sur les parements, les joints et le couronnement
- Traitement de fissures, de joints
- Traitement de venues d'eau

Barrages en remblai

- Réfection des dégâts du système d'étanchéité du talus amont
- Nettoyage du système de drainage
- Elimination de la végétation (arbres, arbustes) sur les parements aval et amont
- Fauchage de l'herbe sur le talus aval (au moins 1 fois par an)

Galeries en rocher

- Nettoyage des rigoles de récolte des eaux, de forages drainants, de drains
- Elimination de blocs instables (selon avis du géologue)

Ouvrages hydrauliques annexes (vidange de fond, évacuateur de crue, canal de purge, etc.)

- Ragréage de surface de béton
- Nettoyage des rigoles de récolte des eaux, de forages drainants, de drains
- Elimination de dépôts de calcaire
- Elimination de végétation, de dépôts de rocher ou de matériaux meubles
- Traitement de fissures, de joints
- Evacuation des dépôts (débris rocheux, sédiments, glace, etc.) dans un canal, au fond d'un puits pouvant empêcher un écoulement correct de l'eau

Dispositif d'auscultation

- Calibrage des appareils
- Maintien de la propreté des installations fixes (élimination de dépôts, application ou renouvellement de la peinture)
- Vérification des fixations
- Elimination des défauts mécaniques
- Vérification des conditions de fonctionnement (par exemple, liberté de mouvements des fils de pendules, dégagement des forages piézométriques, complément huile, graisse, eau)
- Dégagement des lignes de visées géodésiques



Equipements hydromécaniques et électriques

- Elimination des traces de rouille, de corrosion
- Assainissement des protections anticorrosion
- Vérification de la fonctionnalité et des dispositifs de sécurité
- Renouvellement des joints d'étanchéité
- Vérification des conditions de fonctionnement de l'équipement d'alimentation de secours
- Maintien de la liberté de mouvement dans les glissières et rails de guidage
- Vérification des systèmes de lubrification
- Vérification du contenu des réservoirs d'huile, de carburant et remplacement éventuel des produits liquides
- Vérification des témoins de charge, d'ouverture
- Approvisionnement en petits matériels et pièces de rechange

Zone de retenue

- Dégagement (si nécessaire) des sédiments accumulés devant l'entrée des organes de décharge
- Evacuation des bois et débris flottants
- Elimination de blocs instables (selon avis du géologue)

Accès au barrage et dans le barrage

- Routes et chemins
- Passerelles
- Portes et barrières
- Ascenseurs
- Téléphériques
- Panneaux de signalisation (danger de crues, circulation et accès interdits, chutes de pierres, etc.)

6. CONTRÔLES EXCEPTIONNELS

Les contrôles exceptionnels s'effectuent en cas d'événements extraordinaires, par exemple:

- suite à la détection d'un danger pouvant porter atteinte à la sécurité de l'ouvrage
- suite à un tremblement de terre
- pendant et après une crue exceptionnelle

Ces contrôles, qui doivent être adaptés à la situation, comprennent des mesures, des inspections visuelles ou des essais de fonctionnement. Un programme peut être établi en fonction de l'événement.

De surcroît, l'autorité de surveillance est en mesure d'exiger en tout temps l'exécution d'un contrôle exceptionnel.

7. DOCUMENTS

7.1 Dossier de l'ouvrage d'accumulation⁷ (art. 16, OSOA)

L'article 16, alinéa 1, OSOA indique que "l'exploitant établit un dossier sur l'ouvrage d'accumulation et le tient à jour. Il le mettra en tout temps à la disposition de l'autorité de surveillance". Le dossier comprend:

- les plans conformes à l'exécution les plus importants ainsi que les données sur l'exécution des travaux
- les calculs et les rapports sur la statique, l'hydrologie et l'hydraulique
- les expertises géologiques et géotechniques
- les rapports annuels d'auscultation
- les procès-verbaux des contrôles annuels
- les procès-verbaux des essais avec lâchure
- les rapports sur les examens de la sécurité
- les rapports sur les mesures géodésiques de déformation
- les rapports sur les incidents et les anomalies d'exploitation

A cette liste s'ajoutent le plan d'utilisation et le plan de sécurité, ainsi que les consignes de service et de surveillance, qui ne sont pas mentionnés à l'article 16, alinéa 1 OSOA.

7.2 Consignes de service et de surveillance (art. 9, al. 2, OSOA)

Pour fixer l'organisation de la surveillance et l'auscultation du barrage mise sur pied par l'exploitant, il est indispensable de réunir dans un dossier les consignes de service et de surveillance. Cet important document contient notamment:

A) Règlement de surveillance

- La description de toutes les tâches du ressort de l'exploitant et désigne le responsable et son (ses) remplaçant(s). [*mettre la fonction et non des noms*]

Ces tâches englobent:

- les contrôles visuels
- l'exécution des mesures selon un programme fixé
- l'analyse préliminaire et la transmission des résultats
- les essais de fonctionnement des installations
- le comportement en cas d'anomalie et d'événement extraordinaire
- la mise à jour du dossier du barrage
- Un organigramme ainsi que la liste de tous les intervenants avec indication des moyens pour les contacter (adresses, téléphone, fax, courriel). Cette partie doit être toujours tenue à jour.
- Un recueil de plans généraux réduits lisibles (situation, élévation, coupes, plan du dispositif d'auscultation, etc.)

Un exemple du contenu du document "Consignes de service et de surveillance" est donné à l'annexe 3. Il va de soi que le texte sera adapté à l'ouvrage considéré.

⁷ Il s'agit en l'occurrence du journal du barrage selon la désignation antérieure.

B) Règlement de manœuvre des vannes

Pour les ouvrages d'accumulation pour lesquels des organes mobiles doivent être utilisés lors du passage de crues, des consignes pour leur manœuvre sont nécessaires (Règlement de manœuvre des vannes). En général, ces consignes ont pour objet:

- de fixer le moment de mise en action de ces organes mobiles,
- de ne pas engendrer à l'aval de pointes de crue plus élevées que celles qui concernent la retenue,
- ne pas effectuer de modifications de débit trop rapides et
- d'utiliser de manière optimale le volume de rétention également en cas de conditions extrêmes de crue.

Le règlement de manœuvre des vannes doit contenir les instructions pour le personnel se trouvant sur place afin d'assurer l'exécution correcte des manœuvres des organes mobiles en cas de crue. Les points principaux sont les suivants:

- définition de l'instant de l'envoi du personnel au site du barrage (situation météorologique, niveau d'eau)
- définition de la position des vannes sur la base du niveau du plan d'eau (par exemple, ouverture par paliers en raison de la montée du plan d'eau ou fermeture par paliers en cas de baisse du niveau du plan d'eau).

Si les vannes sont commandées automatiquement, il faut prévoir dans le règlement la manœuvre manuelle des vannes en cas de panne, si la commande à distance ne devait plus fonctionner.

7.3 Rapport des essais de fonctionnement (art. 12, al. 2, OSOA)

Pour les essais de fonctionnement (vannes, groupe de secours, installation alarme-eau), il est recommandé de préparer des formulaires qui précisent le déroulement des opérations et permettent d'inscrire les valeurs relevées, les incidents. Une fois remplis, ces formulaires servent de rapport d'essai. Le rapport des essais de fonctionnement est classé dans le dossier du barrage et est par ailleurs porté à la connaissance du spécialiste expérimenté.

7.4 Rapport relatif aux contrôles visuels

L'exploitant effectue des contrôles visuels réguliers selon le programme prévu par les consignes de surveillance et d'exploitation (hebdomadairement, 2 fois par mois, mensuellement, annuellement).

Pour les ouvrages de petite hauteur de retenue, les constatations peuvent être notées par les chargés du contrôle directement dans un formulaire. Ce dernier peut servir de rapport de visite.

Pour les ouvrages de moyenne ou de grande hauteur de retenue, les modifications constatées peuvent être introduites sur un relevé précédent sous forme de plan. Un tel document doit être mis à jour tous les 5 ans ou lorsque des modifications importantes ont été relevées.

Le rapport relatif aux contrôles visuels est classé dans la documentation du barrage et est porté à la connaissance du spécialiste expérimenté.

7.5 Rapport relatif au contrôle annuel

L'ingénieur spécialisé est tenu d'effectuer une visite annuelle sur le site. Il établit un rapport qui est classé par l'exploitant dans le dossier du barrage. Un exemplaire est transmis à l'autorité de surveillance.

Le rapport doit contenir non seulement les informations concernant les charges (niveau de la retenue) mais aussi celles relatives aux conditions météorologiques (température de l'air, pluie, neige).

Pour les ouvrages de petite hauteur de retenue, les constats peuvent être reportés sur un formulaire qui précise le cheminement et les points à contrôler. Ce formulaire rempli sert de rapport.

Pour les ouvrages de grande hauteur de retenue, il est possible, sur la base d'un relevé détaillé, de noter uniquement les modifications constatées. Le document sera mis à jour tous les 5 ans ou avant si des modifications majeures sont apparues.

Il est important que les faits relevés soient bien décrits (description écrite: quoi, quand, dimension) et localisés (report sur un plan). Pour les ouvrages de retenue, il est utile d'établir un relevé graphique des points particuliers comme les fissures, les suintements, les zones humides, les dégâts, etc. En ce qui concerne les environs immédiats du barrage, le relevé des observations comprend entre autres des indications relatives aux chutes de pierres, à la qualité des eaux d'infiltration, aux mouvements du terrain, à l'état d'un glacier, etc.

Les résultats des contrôles de l'état, ainsi que ceux des contrôles techniques doivent être portés dans les plus brefs délais à la connaissance de l'autorité de surveillance. Ils peuvent aussi figurer dans le rapport annuel de l'ingénieur expérimenté.

7.6 Rapport annuel relatif au comportement (art. 13, OSOA)

L'OSOA exige l'établissement d'un rapport annuel relatif au comportement de l'ouvrage. Ce document est impérativement établi par le professionnel expérimenté. Dans ce rapport seront consignés tous les résultats de mesure sous forme de graphiques (annuels et pluriannuels, valeurs de paramètres en fonction du niveau de la retenue, maxima – minima de paramètres principaux, etc.) et de tableaux numériques. Le professionnel expérimenté est tenu de donner son analyse du comportement du barrage, son point de vue relatif à l'état du barrage et de ses installations, ses recommandations.

Il est aussi important de faire figurer dans ce rapport annuel le résumé des travaux d'entretien qui ont été effectués, de dresser la liste des incidents (comportement particulier, les défauts de fonctionnement des appareils des installations, etc.), qui ont marqué la période, ainsi que de noter l'importance et l'incidence des événements naturels (crues, séismes) qui se sont produits.

Ce rapport doit être disponible dans les plus brefs délais qui n'excéderont pas 6 mois après la fin de la période annuelle à laquelle il se rapporte. Le rapport de la visite annuelle et celui des essais de fonctionnement peuvent être intégrés au rapport annuel.

Le rapport est classé par l'exploitant dans le dossier du barrage et un exemplaire est transmis à l'autorité de surveillance.

7.7 Rapport des mesures géodésiques

Les résultats des mesures géodésiques peuvent figurer dans le rapport annuel ou faire l'objet d'un rapport particulier.

Le rapport doit mentionner les types d'instruments utilisés et leur précision, le programme de mesure, les conditions de mesure, les limites des erreurs, les représentations graphiques avec figures de l'ouvrage.

7.8 Rapports d'examen de sécurité (expertise quinquennale)⁸ (art. 14, al. 1, OSOA)

Ces rapports sont rédigés par les experts confirmés dans le cadre de leur mandat. Le rapport relatif au génie civil traite pour le moins des 3 chapitres suivants:

- a) un avis relatif à l'état de l'ouvrage d'accumulation, de ses parties annexes et de ses installations;
- b) une analyse du comportement du barrage et ses fondations durant la dernière période quinquennale (synthèse des résultats de mesure de la période quinquennale et comparaison avec ceux des périodes précédentes, analyse des mouvements singuliers, etc.);
- c) examen du dispositif d'auscultation et programme de mesure.

En cas de besoin, le rapport peut être complété par une analyse particulière relevant de la sécurité de l'ouvrage.

Comme indiqué sous a), l'expert génie civil doit donner son appréciation relative à l'état de l'ouvrage et des autres installations. Il indique aussi ses recommandations concernant des travaux à effectuer.

Le rapport du géologue doit traiter des conditions des fondations, de la tenue du voile d'injection, de la stabilité des versants et des dangers pouvant entraîner une arrivée massive de terrain dans la retenue. Il fait aussi une analyse des résultats de mesure en relation avec son domaine, par exemple déformation des fondations, les sous-pressions, les venues d'eau, les débits des drainages. Il propose aussi toutes mesures utiles relatives à l'entretien des galeries en rocher, à la protection des surfaces rocheuses, etc.

Les résultats des examens de la sécurité doivent être portés dans les plus brefs délais (6 mois) à la connaissance de l'autorité de surveillance.

7.9 Rapport d'examen extraordinaire de sécurité (art. 14, al. 2, OSOA)

L'autorité de surveillance peut ordonner des examens extraordinaires ou soumettre à un examen de sécurité des ouvrages qui ne font pas l'objet d'une expertise quinquennale.

Le rapport est rédigé par l'expert (ou les experts) désigné par l'autorité de surveillance et son contenu dépend de la nature du mandat et des points particuliers soumis à examen.

⁸ Ce rapport concerne les ouvrages d'accumulation dont la hauteur de retenue est de 40 m au moins, ou si cette hauteur est au moins de 10 m, dont la capacité dépasse 1 million de m³ (art. 14, OSOA)

8. BIBLIOGRAPHIE

Publications du "Comité Suisse des Barrages" (CSB)

- [1] Barrages suisses. Surveillance et entretien (1985); Publication à l'occasion du 15^e Congrès international des grands barrages, Lausanne
- [2] Dispositif d'auscultation des barrages. Concept, fiabilité et redondance (1987)⁹
- [3] Mesures de déformations géodésiques et photogrammétriques pour la surveillance des ouvrages de retenues, "eau énergie air", 85. Jahrgang, 1993, Heft 9, p. 181 – 242.
- [4] L'informatique dans la surveillance des barrages. Saisie et traitement des mesures (1993)
- [5] Surveillance de l'état des barrages et check lists pour les contrôles visuels (1997)
- [6] Méthode d'analyse pour la prédiction et le contrôle du comportement des barrages. *(en cours de préparation)*

Publication "eau énergie air"

Cette revue a publié les textes des exposés qui ont été présentés à l'occasion des journées d'études du groupe de travail "Observation des barrages" du CSB

- [7] Indermaur, W., Les tâches du gardien de barrage, eau, énergie, air, 76. Jahrgang, 1984, Heft 3/4
- [8] Sinniger, R., Jahreskontrolle von Staumauern und Staudämme, Wasser Energie Luft, 76. Jahrgang, 1984, Heft 3/4
- [9] Streuli, L. J., Zustand der beweglichen Organe bei Talsperren, Wasser Energie Luft, 76. Jahrgang, 1984, Heft 7/8
- [10] Schneider, Toni R., Mise en évidence des glissements et éboulements potentiels. "wasser, energie, luft – eau, énergie, air" 79. Jahrgang, 1987, Heft 9, p. 203 – 207
- [11] Sinniger, R., Observation des versants d'une retenue. "wasser, energie, luft – eau, énergie, air" 79. Jahrgang, 1987, Heft 9, p. 207 – 210
- [12] Pougatsch, H., Surveillance des ouvrages d'accumulation. Conception générale du dispositif d'auscultation, "wasser, energie, luft – eau, énergie, air", 94. Jahrgang, 2002, Heft 9/10, p. 267 – 271

Publications de la "Commission internationale des grands barrages" (CIGB / ICOLD)

- [13] Bulletin 60 (1988). Auscultation des barrages. Considérations générales
- [14] Bulletin 68 (1989). Auscultation des barrages et de leurs fondations – Technique actuelle
- [15] Bulletin 87 (1992). Amélioration de l'auscultation des barrages existants – Recommandations et exemples
- [16] Bulletin 99 (1995). Ruptures de barrages – Analyse statistique

⁹ Voir également "wasser, energie, luft – eau, énergie, air" 78. Jahrgang, 1986, Heft 7/8, pages 117 - 136



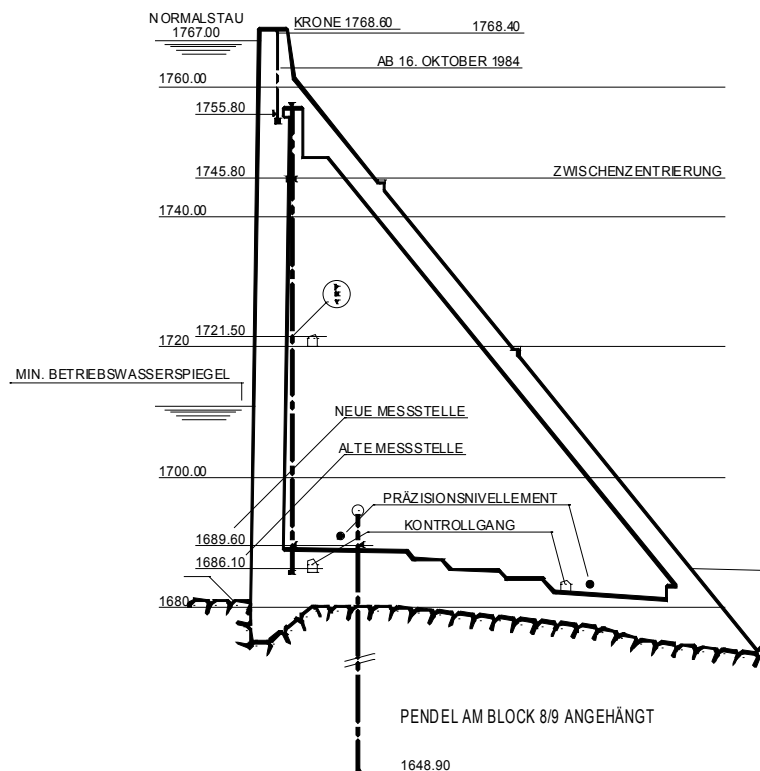
ANNEXE 1

EXEMPLES DE DISPOSITIFS D'AUSCULTATION

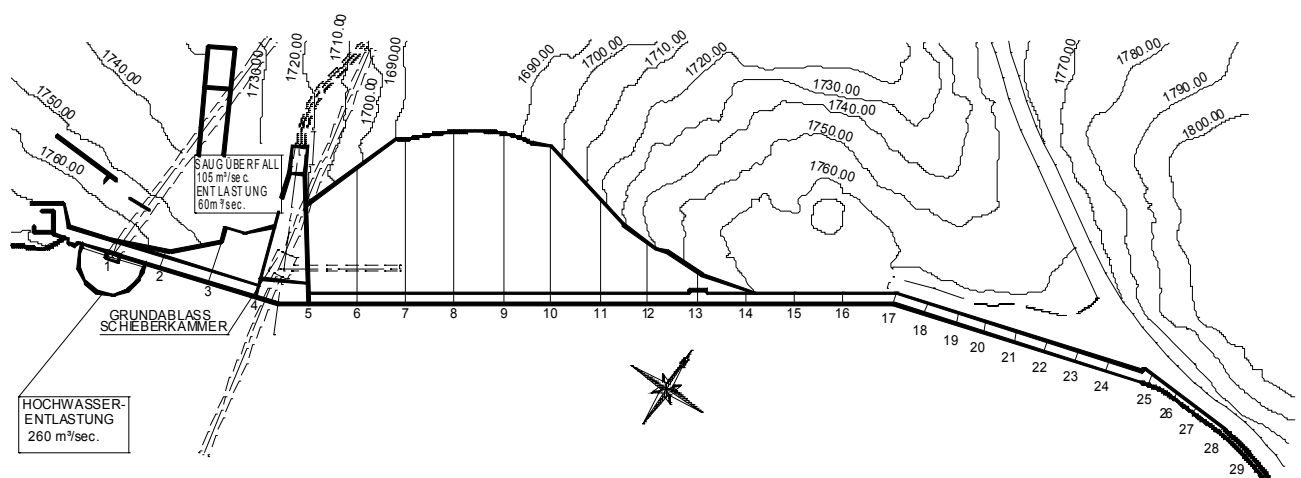
- Annexe 1.1 Exemple de l'instrumentation d'une section type d'un barrage-poids évidé
- Annexe 1.2 Répartition des appareils de mesure dans la section principale d'un barrage-voûte
- Annexe 1.3 Vue en élévation de la répartition des appareils de mesure d'un barrage-voûte
- Annexe 1.4 Dispositif d'auscultation d'un barrage en remblai

Annexe 1.1: Exemple de l'instrumentation d'une section type d'un barrage poids évidé

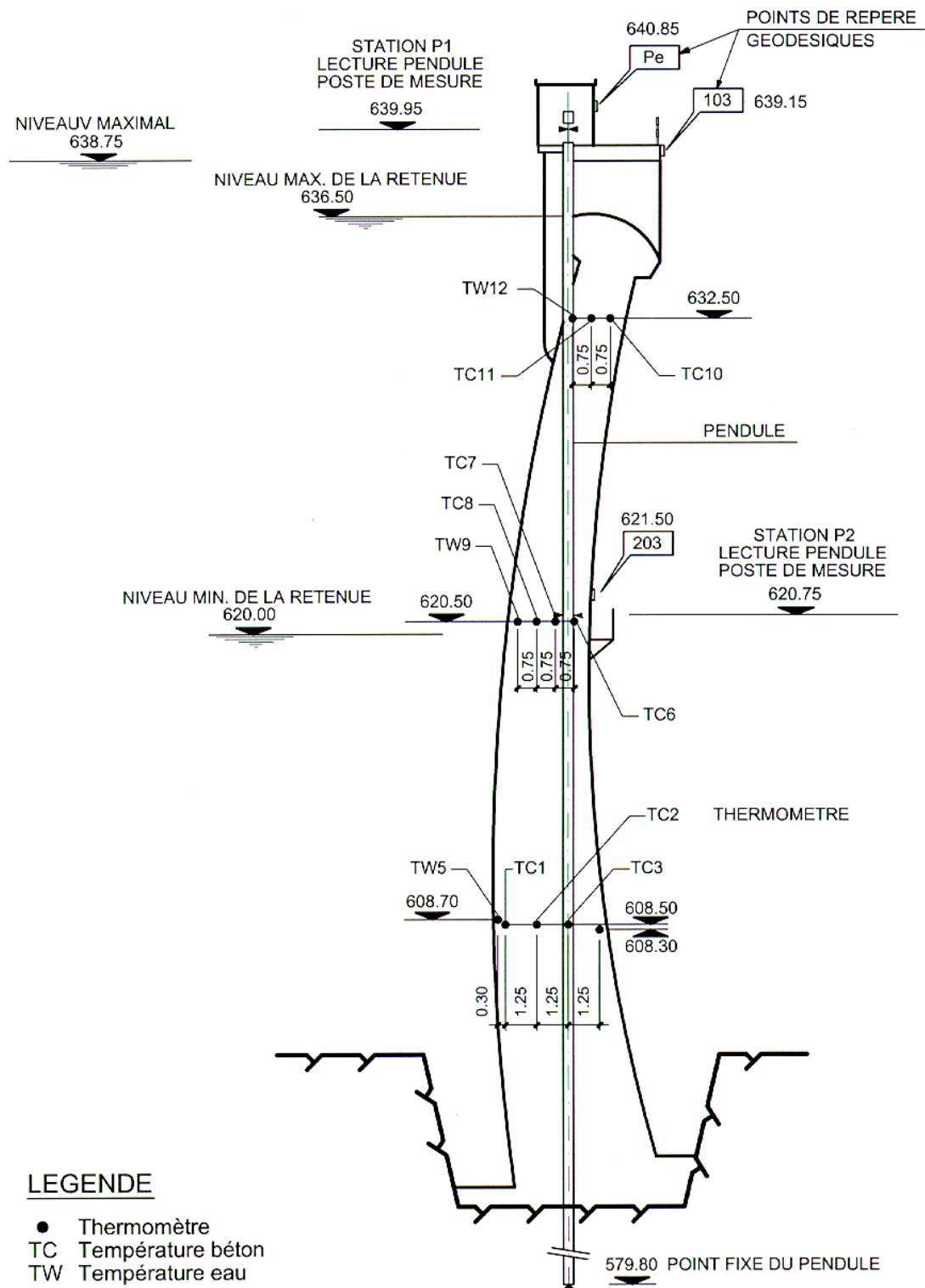
QUERSCHNITT PENDEL P8



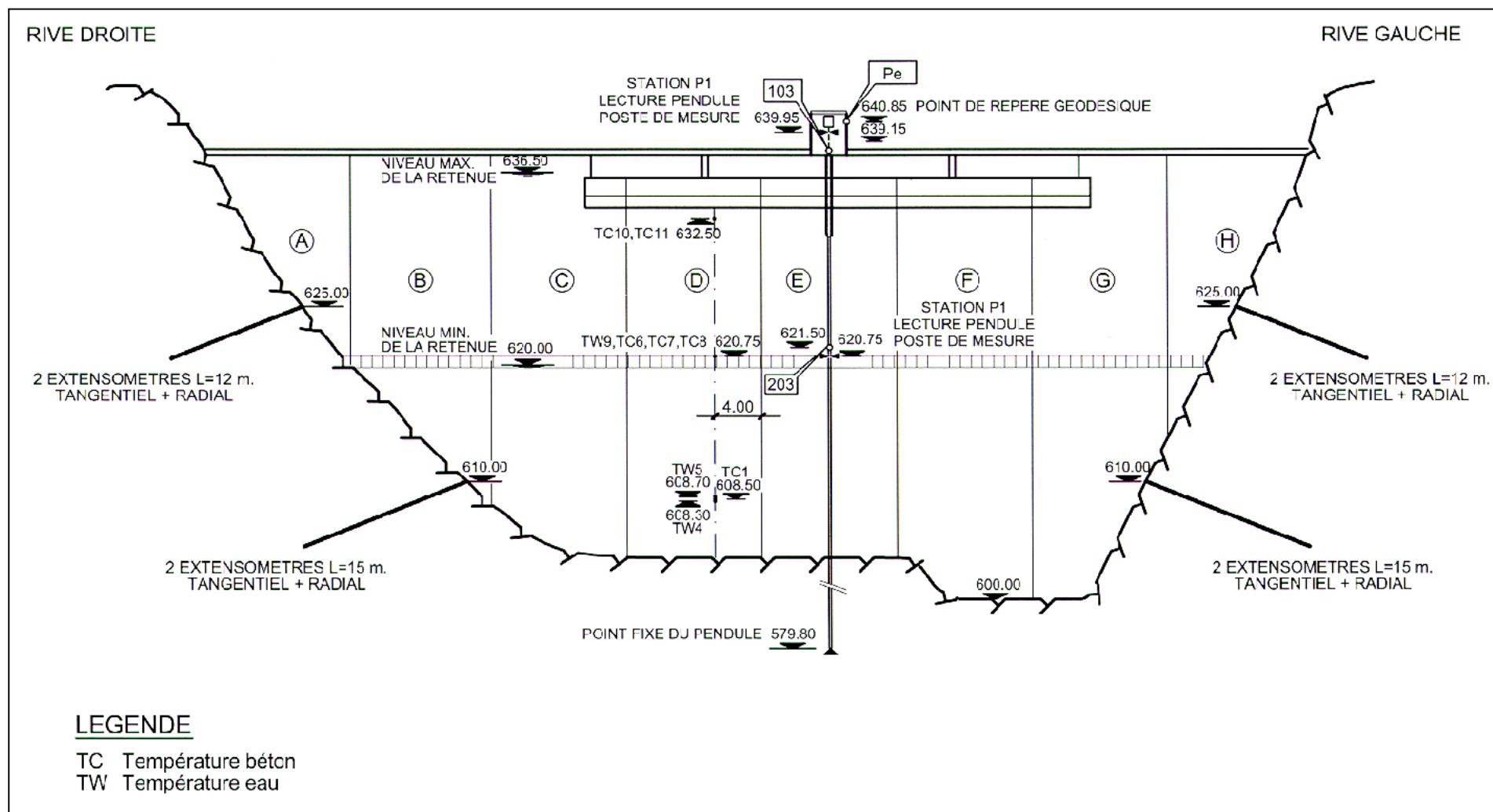
SITUATION



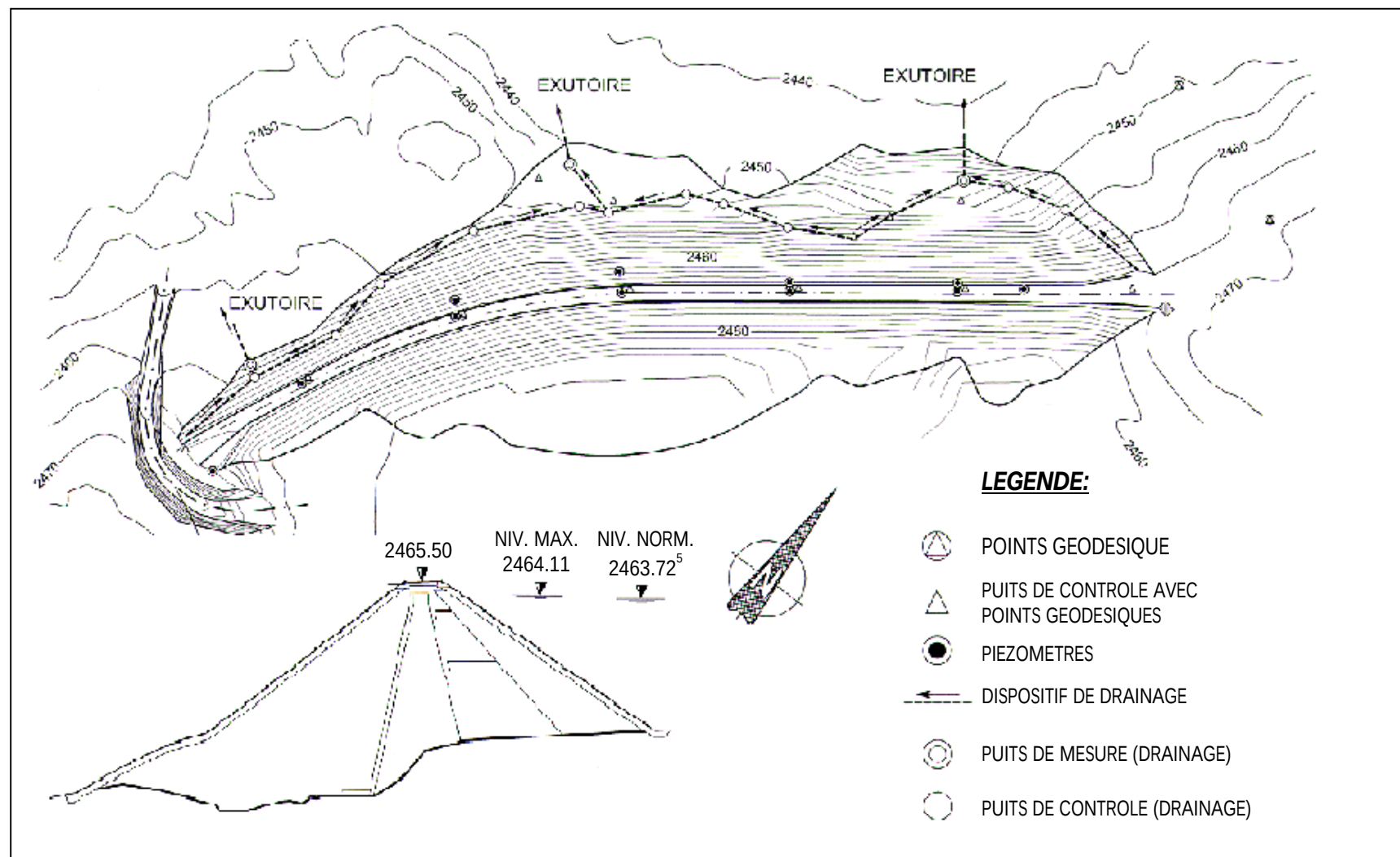
Annexe 1.2: Répartition des appareils de mesure dans la section principale d'un barrage-voûte



Annexe 1.3: Vue en élévation de la répartition des appareils de mesure d'un barrage-voûte



Annexe 1.4: Dispositif d'auscultation d'un barrage en remblai



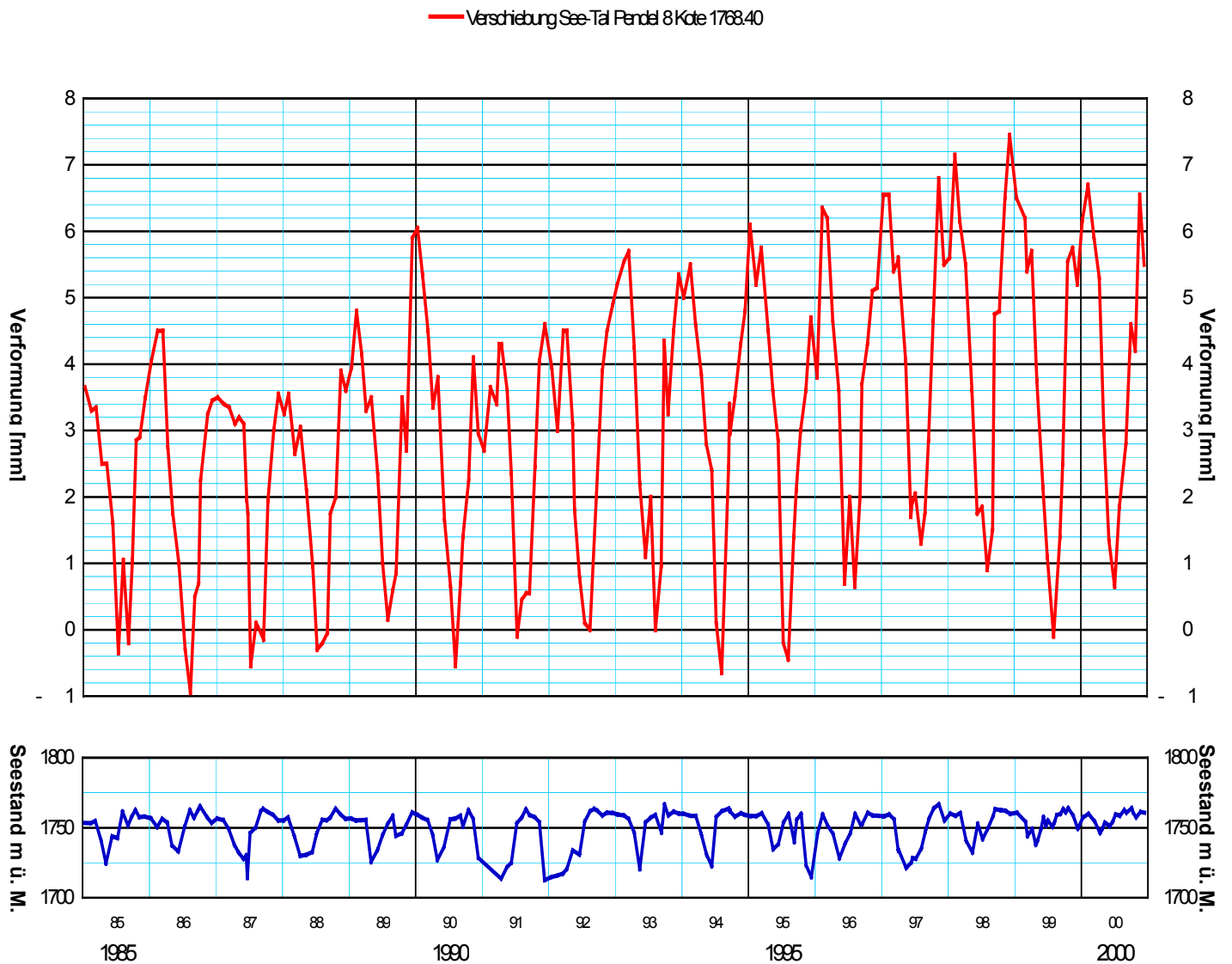


ANNEXE 2

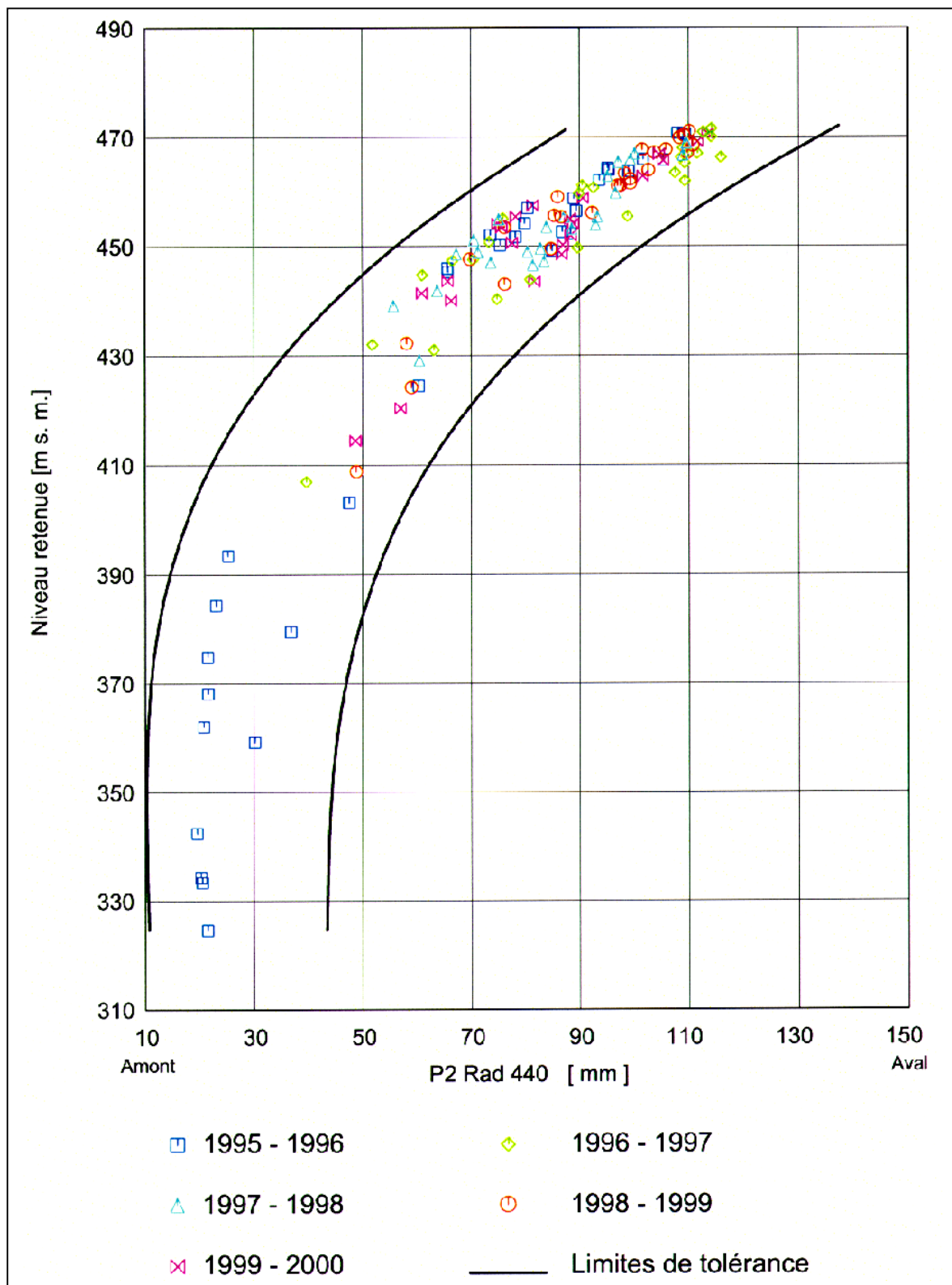
EXEMPLES DE REPRESENTATION GRAPHIQUE DES RESULTATS DE MESURE

- Annexe 2.1 Variation multiannuelle de la déformation au couronnement d'un barrage-poids évidé mesurée par pendule
- Annexe 2.2 Exemple de corrélation entre le niveau de la retenue et la déformation mesurée au couronnement
- Annexe 2.3 Contrôle de la plausibilité des mesures de température du béton
- Annexe 2.4 Report mensuel de la déformation au couronnement due à la température moyenne du béton d'un barrage-voûte
- Annexe 2.5 Report de la déformation radial mesurée au niveau du couronnement et de la déformation de comparaison d'un barrage-voûte

Annexe 2.1: Variation multiannuelle de la déformation au couronnement d'un barrage-poids évidé mesurée par pendule

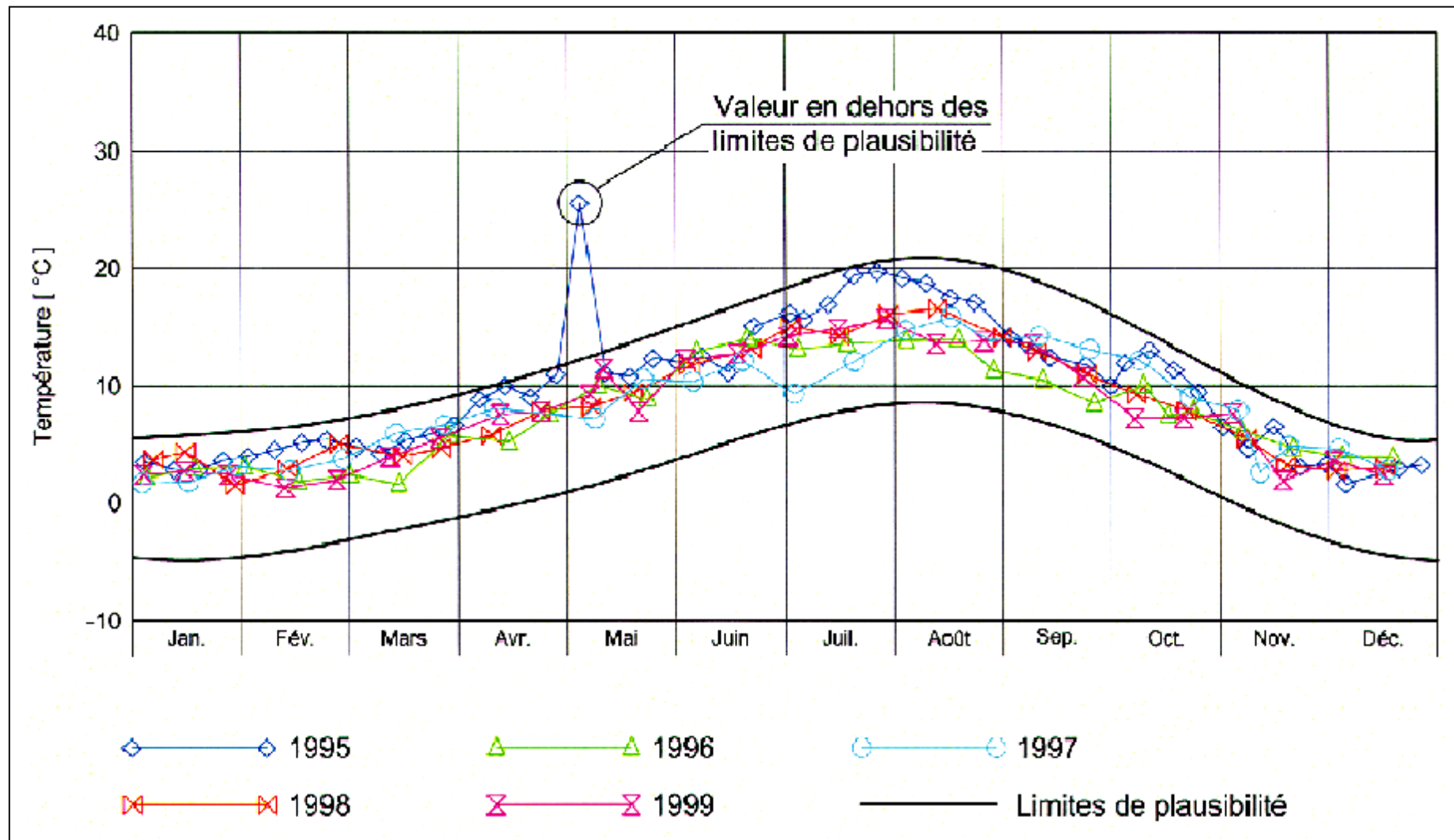


Annexe 2.2: Exemple de corrélation entre le niveau de la retenue et la déformation mesurée au couronnement



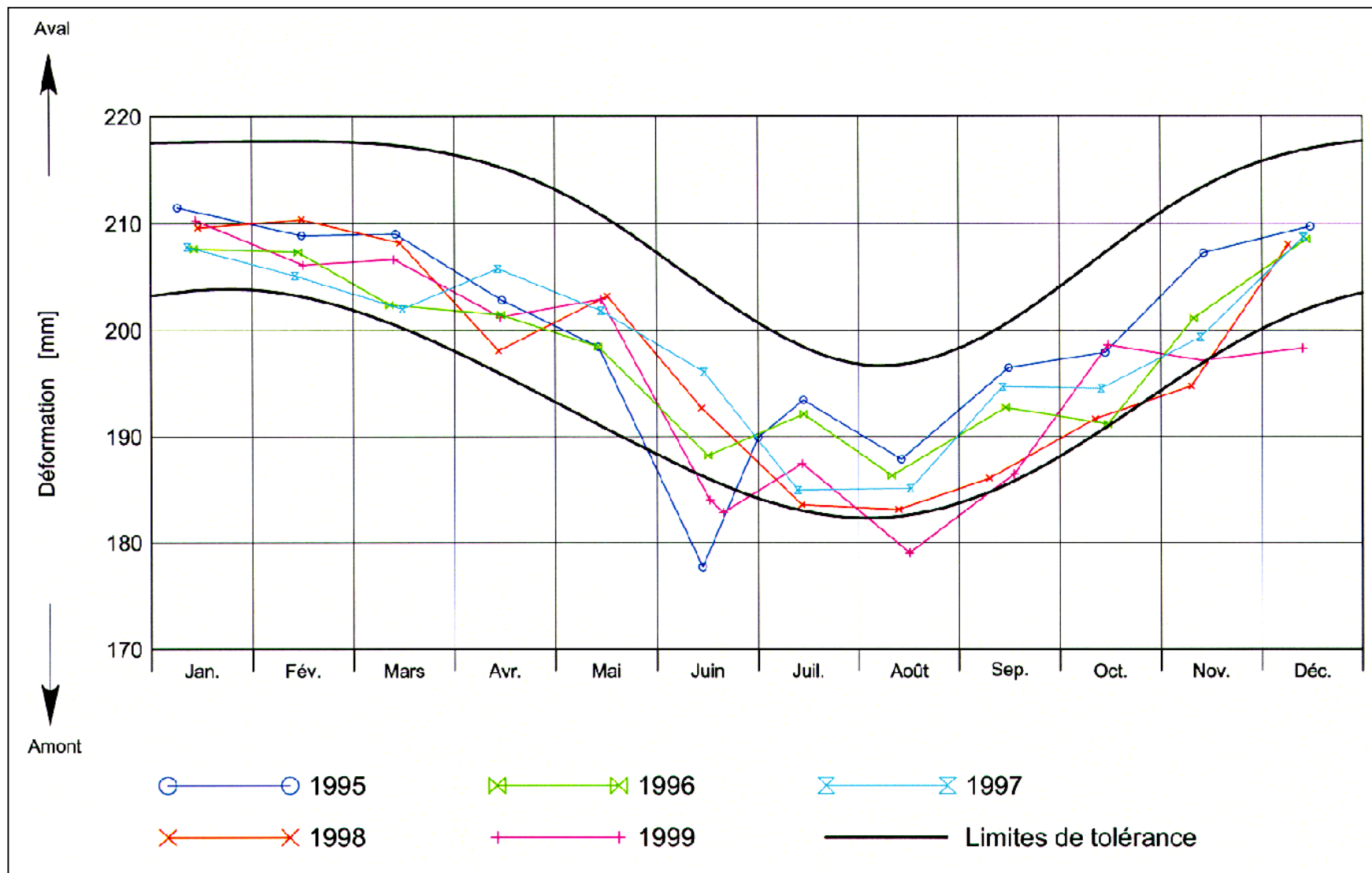


Annexe 2.3: Contrôle de la plausibilité des mesures de température du béton



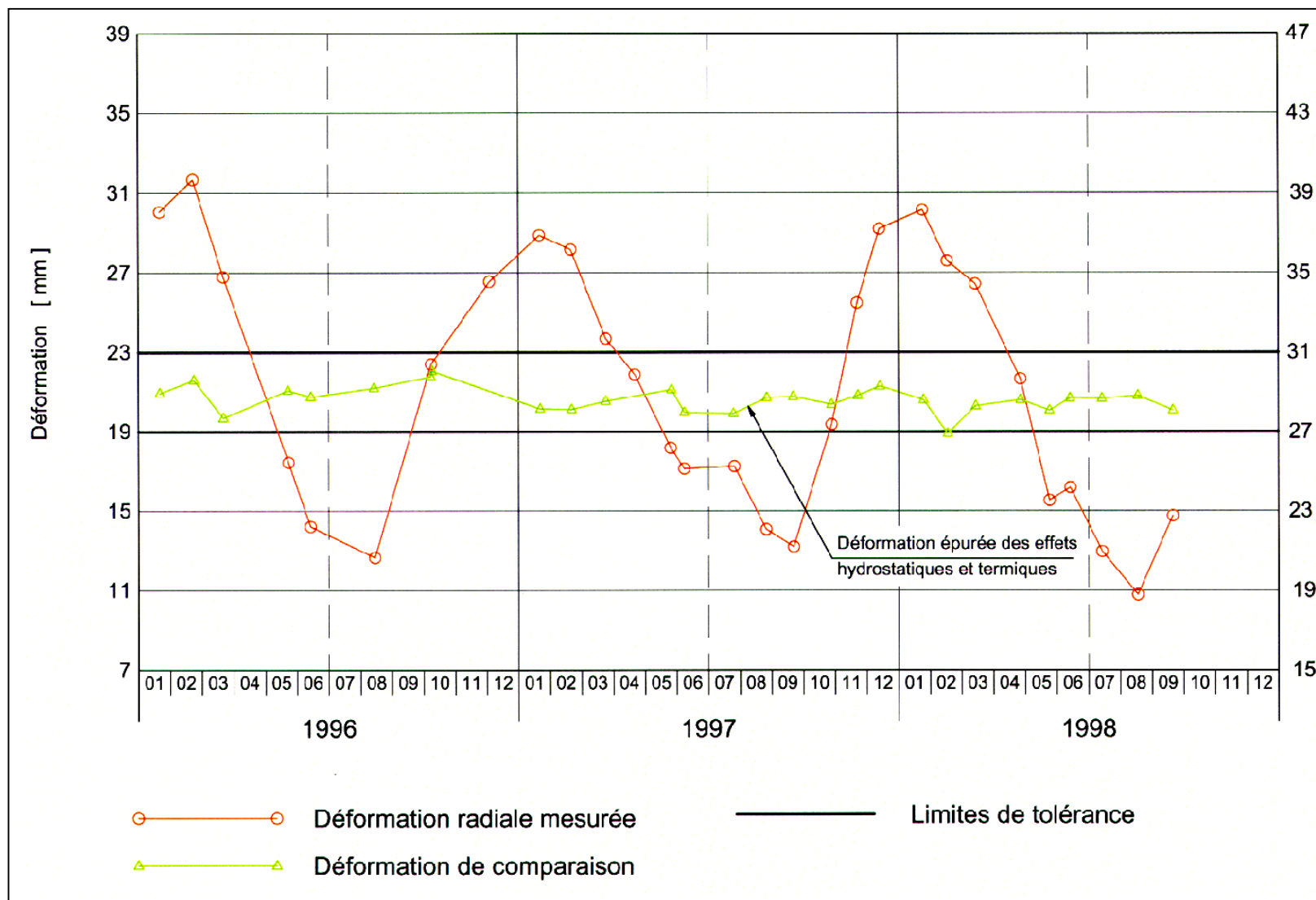


Annexe 2.4: Report mensuel de la déformation au couronnement due à la température moyenne du béton





Annexe 2.5: Report de la déformation radiale mesurée au niveau du couronnement et de la déformation de comparaison





ANNEXE 3

EXEMPLE DE CONSIGNES DE SERVICE ET D'EXPLOITATION

C A N E V A S G E N E R A L

..... Lieu/Date

Ouvrage d'accumulation

CONSIGNES DE SERVICE ET D'EXPLOITATION

Le présent document se réfère
aux dispositions de l'Ordonnance
du 7 décembre 1998
sur la sécurité des ouvrages d'accumulation

(pour les ouvrages non soumis à expertise quinquennale)

Cet exemple sert de modèle. Selon le type et les dimensions du barrage, ainsi que les conditions environnementales correspondantes, les passages de ce texte sont à adapter, à compléter ou à supprimer. Les textes en italique indiquent quelles sont les informations appropriées à introduire.

T A B L E D E S M A T I E R E S

1. *ORGANISATION*

- 1.1 Surveillance régulière in situ du barrage
- 1.2 Essais de fonctionnement des organes de décharge (vidanges de fond et intermédiaire) et des organes mobiles de l'évacuateur de crue
- 1.3 Surveillance technique permanente
- 1.4 Contrôle annuel
- 1.5 Mesures géodésiques des déformations

2. *CONTRÔLES ET MESURES*

- 2.1 Surveillance in situ du barrage
 - 2.1.1 Transmission des mesures
 - 2.1.2 Contrôles visuels des ouvrages, de leurs environs et de la zone de retenue
 - 2.1.3 Mesures
 - 2.1.4 Installations de mesures géodésiques
- 2.2 Essais de fonctionnement des organes de décharge (vidanges de fond et intermédiaire) et des organes mobiles de l'évacuateur de crue
- 2.3 Mesures géodésiques des déformations

3. *INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ET RAPPORTS*

- 3.1 Résultat des contrôles
- 3.2 Rapport de mesures
- 3.3 Rapport concernant l'état du barrage
- 3.4 Essais de fonctionnement des vannes

4. *DOSSIER DE L'OUVRAGE D'ACCUMULATION (OU JOURNAL DU BARRAGE)*

5. *ÉVÉNEMENT EXTRAORDINAIRE*

- 5.1 Définition de l'événement extraordinaire
- 5.2 Résultats singuliers des mesures
- 5.3 Information
- 5.4 Contrôles et mesures complémentaires
- 5.5 Mesures à prendre

Annexes ^a

- A1 Organigramme pour la surveillance du barrage
- A2 Rapports de contrôles
- A3 Événement extraordinaire (Organigramme)

^a Ne figurent pas dans le présent document; voir exemples annexes 4 et 5



1. ORGANISATION

1.1 Surveillance régulière in situ du barrage

M. (évent. nom/position/fonction) assume la responsabilité de cette surveillance. (Organigramme, voir Annexe).

Remplaçant

Missions:

- l'exécution des contrôles visuels et des mesures
- la transmission et une première appréciation des résultats de mesures
- l'entretien des installations d'auscultation
- le contrôle des installations de mesures géodésiques, ainsi que le dégagement des champs de visée.
- des tâches particulières lors d'événements extraordinaires
-

1.2 Essais de fonctionnement des organes de décharge (vidanges de fond et intermédiaire) et des organes mobiles de l'évacuateur de crue

M. (évent. nom/position/fonction) assume la responsabilité de ces essais.

Remplaçant

Missions:

- exécution des essais de fonctionnement
- établissement du/des protocoles d'essais
- entretien et contrôle des équipements mécaniques et électriques
-

.....communiquera la date de ces essais à l'Office fédéral des eaux et de la géologie, ainsi qu'aux services cantonaux et au professionnel expérimenté chargé du contrôle annuel.

1.3 Surveillance technique permanente

Mandataire/responsable.....

Missions:

- surveillance de l'exécution des contrôles
- interprétation des résultats des mesures
- résumé annuel des résultats de mesures et établissement du rapport de mesures



1.4 Contrôle annuel

Mandataire.....

Missions:

- exécution de l'inspection annuelle de contrôle
- recommandations concernant les mesures éventuelles à prendre
- établissement du rapport annuel de contrôle concernant l'état du barrage
- conseils dans le cas d'un événement extraordinaire

Le professionnel expérimenté chargé du contrôle fixe d'entente avec le propriétaire de l'ouvrage la date de ce contrôle. L'Office fédéral des eaux et de la géologie sera informé en temps utile par

1.5 Mesures géodésiques des déformations

Mandataire.....

Mission:

- exécution des mesures géodésiques et élaboration du rapport

Le propriétaire de l'ouvrage organise l'exécution de ces mesures géodésiques selon le programme défini au paragraphe 2.3. Le mandataire peut proposer des mesures complémentaires.

2. CONTRÔLES ET MESURES

2.1 Surveillance in situ du barrage

2.1.1 Transmission des mesures

Le personnel d'exploitation vérifie, au barrage (*fréquence*)..... les valeurs enregistrées des différentes mesures automatiques du niveau de la retenue, des.....(*déformations du barrage, des débits de fuite et de drainage, etc.*).

Si certaines valeurs devaient se révéler singulières, ou si, lors de fortes précipitations, le niveau de la retenue risque d'atteindre la cote maximale, le personnel d'exploitation informera rapidement:

-(*responsable de la surveillance du barrage*)
-

afin que puisse être trouvée la raison de l'anomalie.

Si l'enregistrement se fait dans un endroit non desservi en permanence (par exemple un barrage), le responsable de la surveillance du barrage, (désigné au paragraphe 1.1) contrôle que les bandes enregistrées soient régulièrement changées et qu'elles lui soient transmises.

2.1.2 Contrôles visuels des ouvrages, de leurs environs et de la zone de retenue¹⁰

2.1.2.1 Tournée ordinaire

Les gardiens du barrage entreprennent (*au moins une fois par semaine*) une tournée d'inspection afin d'observer l'état général des parties du barrage, de ses environs et des berges de la retenue afin que l'ouvrage soit totalement inspecté dans un laps de temps de 1 mois (*la description détaillée de cette tournée peut faire l'objet de l'annexe 2*).

En particulier, les points suivants sont observés:

Corps du barrage

- venues d'eau et suintements à l'aval du mur, particulièrement le long des joints verticaux de contraction ou des reprises de bétonnage, ainsi que dans les galeries de contrôle, d'accès, de liaison, de sondage et de drainage
- formation de fissures, écaillage, éclatement et délavage dans tous les endroits précités, de même qu'au niveau du couronnement et du parement amont
- évolution de fissures existantes
- déformations (aspérités, bombements, affaissements, renflements, tassements) sur la surface du barrage
- modification dans les remblais en gros blocs (*bris des arêtes des blocs (compression), extrusion de blocs isolés, éloignement de certains blocs de leurs voisins (expansion ...)*)

¹⁰ Littérature: Surveillance de l'état des barrages et check lists pour les contrôles visuels, Comité national suisse des grands barrages, 1997.

- endroits humides ou venues d'eau sur le parement aval, végétation singulière
-

Galleries et chambres

- venues d'eau et détachement de blocs dans les parties non revêtues

Drainage

- contrôle et si nécessaire nettoyage

Appuis du barrage et environs

- venues d'eau le long du mur ou de la fondation
- sources à l'aval, dans le but de déceler d'éventuelles variations irrégulières de débit, respectivement de découvrir de nouvelles sources.
- ouvertures de fissures existantes ou apparition de nouvelles, décollements, voire chutes de blocs de rocher ou glissements de masses rocheuses dans la zone des appuis
- mouvements de blocs, glissements de terrain, chutes de pierres, éboulements, ouverture de fissures existantes ou apparition de nouvelles dans la zone des rives de la retenue.

Ouvrages annexes (évacuateur de crue, bassin amortisseur, sortie de vidange, etc.)

- formation de fissures, écaillages, éclatements et délavages des bétons des parties mentionnées précédemment ainsi qu'au couronnement du mur et de la surface aval du mur
- affouillement et comblement, de même que détachement voire chute de blocs de rocher ou glissement de masses rocheuses dans la zone de l'évacuateur et des vidanges

2.1.2.2 Tournées particulières

Le gardien du barrage effectue des contrôles suivants

- lors du passage d'une crue exceptionnelle
- après une avalanche
- après l'annonce de glissements dans la région de l'aménagement
- après un tremblement de terre plus fortement ressenti ou annoncé par un tiers¹¹

¹¹ L'Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG) sera averti par le service sismologique suisse lors d'un tremblement de terre d'une magnitude > 3. L'OFEG informera le propriétaire d'ouvrage concerné si une intensité MSK > 4 atteint l'ouvrage.

2.1.3 Mesures¹²

Le/s gardien/s a/ont la charge d'effectuer les mesures suivantes:

Type de mesures	Fréquence
- niveau du lac	
- température de l'air, de l'eau et du béton	
- déformation du barrage, de sa fondation et de ses appuis	
- sous-pression sous fondations et contre les appuis	
- débits d'eau d'infiltration à travers le béton et le rocher	
- débits des drains	
- débits des eaux d'infiltration	
- ouverture des joints des blocs du barrage	
-	
-	

Mesures télétransmises

Les valeurs de mesures télétransmises et automatiquement enregistrées doivent être contrôlées si possible une fois par mois à l'aide de mesures manuelles.

Les mesures complémentaires suivantes doivent être effectuées:

- pendant la campagne de mesures géodésiques (niveau de la retenue, températures, déformation du barrage, de ses fondations et de ses appuis).
- dans le cas d'un événement extraordinaire (voir paragraphe 5.4).

2.1.4 Installation de mesures géodésiques

Les installations prévues pour les mesures géodésiques doivent être contrôlées au printemps et en automne. On veillera à dégager tout élément qui peut gêner les visées.

Les dégâts constatés aux installations sont communiqués à
(mandataire désigné au paragraphe 1.5)

2.2 Essais de fonctionnement des organes de décharge (vidanges de fond et intermédiaire) et des organes mobiles de l'évacuateur de crue

Le responsable (désigné au paragraphe 1.2) procède (au moins une fois par an) au contrôle de fonctionnement des vannes et des organes mobiles. Ces essais se déroulent en général.....(*précision concernant l'époque, le niveau de la retenue, le nombre d'essais*).
(*Ces indications peuvent faire l'objet d'un règlement séparé.*)

¹² Littérature: *Dispositif d'auscultation des barrages; Concept, fiabilité et redondance*; Comité national suisse des grands barrages, 1987.

Le programme d'essais est le suivant:

a) pour la vidange de fond

1.

2.

etc.

b) pour la vidange intermédiaire (*si existante*)

c) pour l'évacuateur de crues (*pour autant qu'il soit équipé d'organes de fermeture mobiles*)

On examine la capacité fonctionnelle du fonctionnement manuel par une rapide manœuvre des vannes.

La capacité de fonctionnement d'un groupe de secours sera examinée régulièrement.

La capacité de fonctionnement d'une système de commande à distance sera examiné par une manœuvre des vannes.

Le responsable organise un contrôle et l'entretien des installations électriques et mécaniques. Leur fonctionnement est à examiner régulièrement.

2.3 Mesures géodésiques des déformations¹³

Les mesures géodésiques des déformations sont effectuées selon le programme suivant:

Mesures périodiques

- mesures complètes
 - à lac plein toutes les années à partir de
 - à lac abaissé toutes les années (env. tous les 10 – 15 ans)
- mesures réduites toutes les années
- mesures de nivellement toutes les années
-

Mesures complémentaires

- lors d'une vidange de la retenue
- selon besoin, suite aux contrôles et aux recommandations du professionnel expérimenté chargé du contrôle annuel ou de l'Office fédéral des eaux et de la géologie; le cas échéant après un événement extraordinaire (tremblement de terre, crue, ...).

¹³ Littérature: *Mesures de déformation géodésiques et photogrammétriques pour la surveillance des ouvrages de retenue*; Comité national suisse des grands barrages; dans: «eau, énergie, air», 85. Jahrgang, 1993, Heft 9, CH-5401 Baden, pages 181 – 242.

3. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ET RAPPORTS

3.1 Résultats des contrôles

Des rapports seront établis à la suite de chacune des mesures et de chacun des contrôles, ainsi qu'à la fin d'éventuelles réparations.

(Contenu:

- nom de l'observateur, date, conditions climatiques, niveau de la retenue
- étendue des contrôles et des résultats)

Les résultats de mesures sont reportés sous forme de tableaux ou de diagramme.

Le/s gardien/s du barrage et ses supérieurs vérifient de suite si les résultats obtenus sont conformes à ceux enregistrés précédemment. En cas d'anomalie, on se référera au chapitre 5 du présent document.

Les originaux sont classés dans le dossier de l'ouvrage d'accumulation (journal du barrage).

Une copie est envoyée au plus tard 2 jours après les mesures au chargé du contrôle permanent des mesures (voir chapitre 1.3) et du contrôle annuel (voir chapitre 1.4).

3.2 Rapport de mesures

Le chargé du contrôle permanent des mesures vérifie de suite la validité des résultats reçus et établit un rapport annuel résumant ces résultats. Il en fait parvenirexemplaires(*au propriétaire de l'ouvrage*) moins de 3 mois après la fin du cycle annuel de mesures.

Un exemplaire est classé dans le dossier de l'ouvrage d'accumulation (journal du barrage); l'Office fédéral des eaux et de la géologie ainsi que l'autorité de surveillance cantonale reçoivent chacun un exemplaire de ce document.¹⁴

3.3 Rapport concernant l'état du barrage

À la suite de sa visite annuelle de contrôle, le professionnel expérimenté fait parvenir son rapport en exemplaires (*au propriétaire du barrage*) dans un délai de 1 mois.

Un exemplaire est classé dans le dossier de l'ouvrage d'accumulation (journal du barrage); l'Office fédéral des eaux et de la géologie ainsi que l'autorité de surveillance cantonale reçoivent chacun un exemplaire de ce document.¹⁴

3.4 Essais de fonctionnement des vannes

Un court rapport est établi par le personnel compétent (voir chapitre 1.2) à la suite des essais de fonctionnement des organes de décharge (vidanges de fond et intermédiaire) et des organes mobiles de l'évacuateur de crue.

L'original est classé dans le dossier de l'ouvrage d'accumulation (journal du barrage); l'Office fédéral des eaux et de la géologie et le professionnel expérimenté chargé du contrôle permanent des mesures reçoivent chacun un exemplaire de ce document¹⁴.

¹⁴ Uniquement à l'autorité cantonale si l'ouvrage n'est pas soumis à la Confédération

(Les comptes rendus concernant le chapitre 3.2 "Rapport de mesures", le chapitre 3.3 "Rapport concernant l'état du barrage" et le chapitre 3.4 "Essais de fonctionnement des vannes" peuvent aussi faire l'objet d'un seul rapport).

4. DOSSIER DE L'OUVRAGE D'ACCUMULATION (JOURNAL DU BARRAGE)

Le dossier de l'ouvrage d'accumulation (journal du barrage) est établi selon les recommandations du Comité national suisses des grands barrages du 27 avril 1960 (voir aussi art. 16 alinéa 1 OSOA).

M.est chargé de le tenir à jour.

Le dossier de l'ouvrage d'accumulation (journal du barrage) est conservé à
..... (lieu)

5. ÉVÉNEMENT EXTRAORDINAIRE

5.1 Définition de l'événement extraordinaire

Il y a un événement extraordinaire,

- si les contrôles et les mesures mettent en évidence des divergences par rapport au comportement normal de l'ouvrage,
- lors de crues exceptionnelles ou extrêmes,
- lors d'avalanches importantes,
- lors de glissements de terrain, d'éboulement, de rupture de glacier,
- après un tremblement de terre plus fortement ressenti ou annoncé par un tiers ¹¹,
- lorsqu'un organe de vidange ne peut plus être ouvert.
-

Celui qui constate un de ces faits informera l'une des personnes suivantes qui déterminera s'il s'agit d'un événement extraordinaire:

..... ou si non atteignable,
.....

5.2 Résultats singuliers des mesures

Si les résultats des mesures devaient se révéler non conformes, le gardien du barrage répétera la mesure; dans le cas où le premier résultat est confirmé, on vérifiera le fonctionnement de l'installation de mesures. Si celle-ci se révèle en ordre ou en cas de doute, une des personnes mentionnées au paragraphe 5.1 ci-dessus sera informée.

¹¹ L'Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG) sera averti par le service sismologique suisse lors d'un tremblement de terre d'une magnitude supérieure à 3. L'OFEG informera le propriétaire d'ouvrage concerné si une intensité MSK supérieure à 4 est atteinte au site de l'ouvrage.



5.3 Information (Organigramme selon annexe ...)

Si un événement extraordinaire est établi, M.....informera sans retard

- l'Office fédéral des eaux et de la géologie
- (Autorité cantonale de surveillance)
- (le responsable du contrôle annuel)

5.4 Contrôles et mesures complémentaires

Des contrôles et mesures complémentaires seront effectuées dans le cas des événements particuliers suivants: *(à spécifier, quels contrôles et mesures)*

- lors de divergences par rapport au comportement anormal du barrage lors de crues exceptionnelles ou extrêmes *(contrôles visuels de l'évacuateur de crues, du bassin amortisseur, de l'écoulement, stabilité des rives, etc.)*
- après un tremblement de terre plus fortement ressenti ou par l'aide d'un tiers *(contrôle visuel du barrage et de ses environs, mesure du débit total de drainage, etc.)*
-

5.5 Mesures à prendre

En cas d'un événement extraordinaire, les mesures à prendre seront ordonnées par:

- *(Chef d'exploitation /)*
- *(remplaçant)*

Autant que possible, l'Office fédéral des eaux et de la géologie et*(l'autorité cantonale de surveillance)* seront consultés.

.....

..... Signature



ANNEXE 4

EXEMPLE DE RAPPORT DE VISITE ET DE MESURES

A. CONTRÔLE VISUEL

Date (jj. mm. aa.)	Visa	Température de l'air	Niveau retenue	Météo (Beau, couvert, intempérie)
/ /		(C°)	(M / mer)	

1. ETAT GENERAL

Couronnement (revêtement, joints)	
Parement aval	
Parement amont	
Galeries (béton, joints)	
Zones de contact des appuis	
Evacuateur (béton, partie aval)	
Vidange de fond (vanne, béton, partie aval)	
Installations (électriques, mécaniques, dispositif d'auscultation)	

2. INFILTRATIONS D'EAU

Parement aval	
Galeries (drains)	
À l'aval (sources)	

3. ENVIRONS DU BARRAGE

Rives et versants de la retenue	
---------------------------------	--

4. DIVERS

Remarques, travaux en cours, mesures à prendre	
---	--

B. MESURES

Mesures des drains	Drain rive gauche (l/s)	Drain rive droite (l/s)
	Sortie galerie (l/s)	

Mesures sous-pressions	N°1 (kg/cm ²)	N°2 (kg/cm ²)
------------------------	---------------------------	---------------------------

Mesures du pendule		
Etalonnage	Radial (mm) :	Tangentiel (mm) :
Supérieur	Radial (mm) :	Tangentiel (mm) :
Inférieur	Radial (mm) :	Tangentiel (mm) :

C. ESSAI VANNE DE FOND

Date (jj. mm. aa.)	Visa	Température de l'air	Niveau retenue	Météo (Beau, couvert, intempérie)
/ /		(C°)	(M / mer)	
Ouverture (cm / %)		Durée (min)		Débit (m ³ /s)
Remarques				



ANNEXE 5

EXEMPLE D'ORGANIGRAMME POUR LE CONTRÔLE ET LA SURVEILLANCE

