



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN
Section Barrages

OUVRAGES D'ACCUMULATION EN RIVIÈRE CONCEPT DE SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ

Mesures complémentaires aux dispositions
concernant les petits barrages-poids



Rapport final

Auteur



Pöyry Energy SA
Marco Peter
Hardturmstrasse 161, case postale
CH-8037 Zurich / Suisse

Impressum

Date

Mai 2008 (Version originale allemande)

Août 2009 (Traduction française)

Mandant

Office fédéral de l'énergie, Section Barrages, 3003 Berne

Mandataire

Pöyry Energy SA, Hardturmstrasse 161, case postale, CH-8037 Zurich

Auteur

Marco Peter

Encadrement

Rudolf Müller et Rocco Panduri, Office fédéral de l'énergie, Section Barrages,
3003 Berne

La présente étude a été réalisée dans le cadre des tâches attribuées à l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) en tant qu'autorité de surveillance de la sécurité des barrages. Le rédacteur de l'étude est seul responsable du contenu.

Table des matières

1	INTRODUCTION	2
2	PARTICULARITÉS STRUCTURALES DES BARRAGES AU FIL DE L'EAU	5
3	SCÉNARIOS DE DÉFAILLANCES POSSIBLES ET DOMMAGES PARTICULIERS	8
3.1	Généralités	8
3.2	Surélévation du niveau de la retenue	8
3.3	Dommages dus à l'écoulement de l'eau	12
4	EXIGENCES EN MATIÈRE DE SÉCURITÉ SPÉCIFIQUES AUX BARRAGES MOBILES	19
4.1	Concept de vérification compte tenu du potentiel de danger	19
4.2	Automatisation et intervention manuelle	20
4.3	Description de la sécurité des équipements et de l'exploitation	20
5	CONTRÔLES, MESURES ET TESTS	23
5.1	Mesures par échosondeur	23
5.2	Inspections de plongeurs	24
5.3	Mesures des déformations	26
5.4	Mesures du niveau du plan d'eau et des sous-pressions	27
5.5	Mesures de l'eau d'infiltration	28
5.6	Contrôles visuels en surface	28
5.7	Tests/essais de fonctionnement à effectuer régulièrement	30
6	ATTRIBUTION DES EXAMENS À EFFECTUER AUX DIFFÉRENTS NIVEAUX DE SURVEILLANCE	32
6.1	Niveau 1 : exploitant	32
6.2	Niveau 2 : contrôle annuel	33
6.3	Niveau 3 : examen périodique de la sécurité	34
7	PRÉPARATION D'UN RÈGLEMENT-TYPE DE SURVEILLANCE	37
8	BIBLIOGRAPHIE	38

Annexe

EXEMPLE DE RÈGLEMENT POUR LA SURVEILLANCE D'UN BARRAGE

1 INTRODUCTION

L'ordonnance sur les ouvrages d'accumulation (OSOA; RS 721.102), entrée en vigueur le 1^{er} janvier 1999 en Suisse, a élargi le domaine d'application des barrages classiques à de nombreux ouvrages d'accumulation de petites dimensions et, de ce fait, également aux barrages mobiles, dans la mesure où ils remplissent les critères d'assujettissement.

Le concept suisse de sécurité repose sur trois piliers:

- (1) la sécurité structurale,
- (2) la surveillance et l'entretien,
- (3) le plan en cas d'urgence.

Les barrages mobiles présentent certaines particularités par rapport aux autres types de barrages et requièrent une extension adéquate ou une adaptation correspondante de la pratique de surveillance en vigueur pour les barrages en montagne. Notamment, les barrages mobiles accumulent l'eau principalement au moyen d'organes de fermeture mobiles et doivent permettre l'écoulement immédiat des apports.

Le 25 janvier 2008, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) a chargé Pöyry Energy SA (PE), de traiter les thèmes suivants aux fins de documentation de base des ouvrages d'accumulation.

- Description des particularités structurales des ouvrages de retenue au fil de l'eau et de leurs ouvrages annexes, notamment concernant :
 - les conséquences éventuelles d'erreurs de saisie, de commande et de régulation ;
 - les mesures structurales et d'exploitation possibles pour minimiser la survenance d'erreurs de saisie, de commande et de régulation ;
 - les scénarios de défaillance envisageables (rupture partielle ou rupture totale).
- Description des exigences spécifiques en matière de sécurité posées aux barrages mobiles quant aux aspects suivants :
 - la conception structurale, y compris les systèmes de saisie et de commande ;
 - les contrôles visuels à effectuer (étendue et fréquence des contrôles);
 - les mesures à effectuer (dispositif d'auscultation et fréquence des mesures) ;
 - les tests / essais de fonctionnement à effectuer régulièrement (systèmes de commande, organes de fermeture, ... et indication de la fréquence des essais).
- Attribution des contrôles à effectuer aux niveaux de surveillance (avec l'indication de la fréquence respective des contrôles) :
 - niveau 1 : exploitant,
 - niveau 2 : spécialiste expérimenté (contrôle annuel),
 - niveau 3 : expert (contrôle de sécurité décennal approfondi).
- Préparation d'un règlement-type de surveillance.

La priorité est donnée aux barrages intégrés aux centrales hydroélectriques au fil de l'eau, dotés d'organes de fermeture mobiles.

En premier lieu, on peut comparer les barrages mobiles aux petits barrages-poids, car ils se comportent sur le plan statique de manière analogue. Outre les exigences que doivent remplir les petits barrages-poids, il faut examiner soigneusement à quelles particularités et problématiques supplémentaires il faut prêter attention s'agissant des barrages mobiles. Ci-après, ce sont surtout les aspects abordés tant dans les documents afférents de l'Office fédéral de l'énergie que dans la norme DIN 19700.

Dans le cadre de l'harmonisation technique internationale, en particulier dans la perspective d'une mise en œuvre sur le Rhin supérieur, la norme DIN 19700 [10, 11, 12] est également prise en compte.

Le public visé se compose des ingénieurs en génie civil actifs dans la construction de centrales électriques et de barrages ainsi que les responsables des systèmes de commande et de l'exploitation. Les conditions d'exploitation très variées et les perturbations possibles des barrages mobiles sont présentées, tout en évitant largement de répéter les informations généralement valables qui sont disponibles dans la littérature correspondante (cf. Bibliographie au chapitre 8)





Le même barrage mobile (barrage-toit) pendant un hiver froid (en haut) et lors d'une crue (en bas).

2 PARTICULARITÉS STRUCTURALES DES BARRAGES AU FIL DE L'EAU

Les barrages mobiles élèvent le niveau du plan d'eau d'une rivière ou d'un ruisseau et transmettent les forces agissant sur leur structure à leurs fondations. Outre des parties de barrage rigides, ces ouvrages comportent généralement aussi des organes de fermeture mobiles permettant le passage de débits variables au travers des passes de l'ouvrage.

Fondamentalement, les barrages mobiles doivent satisfaire à toutes les exigences d'un petit barrage-poids, puisque la poussée de l'eau est transmise au sous-sol par le poids propre des piles et du radier. Mais comme leur construction est sensiblement plus complexe, qu'ils sont sollicités par l'écoulement des eaux et que des débits transitant «suffisants» doivent être garantis par l'exploitation, des exigences supplémentaires s'appliquent.

Les différences essentielles entre un barrage mobile et un petit barrage-poids en montagne sont les suivantes.

1. Comme **la différence de niveau** de la zone de retenue est faible par rapport au secteur potentiellement inondable (généralement entre 5 et 15 m environ), on ne relève pas en principe de barrages mobiles présentant un très fort potentiel de dommages à des tiers, comme cela est envisageable pour tel ou tel ouvrage d'accumulation.
Conclusion: ces conditions plus favorables peuvent être éventuellement prises en considération dans la définition des exigences.
2. Une part importante de la zone de danger potentiel est constituée par le lit de la rivière, qui fait déjà partie du cours d'eau. Le **nombre de personnes susceptibles de se trouver dans le secteur potentiellement menacé** peut nettement plus fluctuer qu'avec les barrages traditionnels (dimanche ensoleillé en été).
Conclusion: il faudrait éventuellement adapter le critère de mise en danger.
3. Une grande **partie de l'infrastructure du barrage est généralement mobile**. Si le parfait fonctionnement des vannes n'est pas garanti, des variations du niveau de la retenue peuvent survenir très rapidement.
Conclusion: il faut prendre des mesures concernant l'équipement, afin d'éviter avec certitude une surélévation non prévue du niveau de la retenue; sinon, la conception de l'ouvrage doit tenir compte d'une telle surélévation du plan d'eau.
4. Les **débits sont sans rapport et beaucoup plus importants** que dans le cas des barrages en montagne. Ils doivent pouvoir correctement s'écouler vers l'aval en tout temps. En raison des importants débits, l'écoulement doit être géré à la minute, le risque d'incidents sérieux est incomparablement plus élevé qu'avec les ouvrages d'accumulation usuels. Selon les dimensions d'un barrage mobile, il peut en résulter une menace insignifiante ou considérable pour les tiers. La poussée de l'eau (niveau de retenue surélevé ou abaissé) peut se modifier très rapidement sous l'effet d'opérations d'exploitation.
Conclusion: éviter la surélévation imprévue du niveau de la retenue ou en tenir correctement compte dans la conception.

5. Les perturbations de l'exploitation peuvent également provoquer des ondes de translation (à front raide).

Conclusion: l'exploitant de l'installation est d'une part tenu de prendre les mesures requises pour minimiser les ondes de translation rapides. D'autre part, les ouvrages de protection des berges à l'amont et à l'aval doivent être conçus en conséquence et les utilisateurs des tronçons de cours d'eau concernés doivent prendre leur disposition pour le cas de rares perturbations.

6. Généralement, les **volumes utiles ou de crue sont négligeables**

Conclusion: il en résulte que les concepts d'alarme en situations d'urgence / selon les niveaux de danger (comme pour les barrages en montagne) ne peuvent pas être mis en œuvre par manque de temps.

7. La **partie immergée du barrage est souvent considérablement plus importante** que pour une retenue de montagne, ce qui entrave les observations.

Conclusion: les contrôles ne peuvent s'effectuer, pour une large part, qu'au moyen d'échosondeurs et par des plongeurs.

8. **Les abaissements du niveau de la retenue ne peuvent généralement pas même s'effectuer à titre exceptionnel** pour les installations d'une certaine taille, car la procédure d'autorisation est beaucoup trop complexe.

Conclusion: il convient d'examiner d'un œil critique la pratique consistant à éviter les abaissements du niveau des retenues. Un abaissement (partiel) périodique, préparé et réfléchi

- simplifierait les contrôles et les réparations (également dans la zone de retenue),
- permettrait partiellement le transport d'alluvions et de sédiments et
- serait une excellente préparation à d'éventuelles situations d'urgence.

Une telle pratique aurait toutefois une incidence sur les ports de plaisance, les puits d'eau souterraine, les décharges immergées, le renforcement des berges, etc.

9. Contrairement à un barrage en montagne, un barrage mobile n'est pas soumis qu'à des forces statiques; il est aussi exposé, durant l'exploitation, au **courant d'eau** qui peut entraîner des **dommages dus à l'érosion** dans les zones en dépression, à l'**abrasion** sous l'effet des matériaux charriés ou des **chocs** avec des troncs d'arbre, des bateaux ou des pontons de travail.

Conclusion: le potentiel de dommages dépend fortement de l'ampleur et de la durée de la crue. Les contrôles à cet égard devraient être plutôt définis en fonction des volumes de crues que selon une périodicité.

10. La **saisie et l'évaluation des valeurs mesurées posent davantage de problèmes** que pour un barrage en montagne, car les déformations sont si faibles qu'elles ne peuvent plus être mesurées et que, en raison du niveau d'eau, les débits des eaux d'infiltration ne sont guère observables.

Conclusion: comme pour un barrage de faible hauteur, on peut seulement confirmer que le comportement est normal ou déceler à temps un comportement extraordinaire.

11. Les barrages mobiles se situent souvent dans des terrains relativement plats.

Conclusion: s'agissant de barrages mobiles, les **environs immédiats** de l'ouvrage (secteur des culées du barrage) **et les digues latérales** peuvent également engendrer des problèmes.

12. Au cours du siècle passé, une multitude de types de construction, de vannes et de conceptions statiques ont été réalisés pour les barrages mobiles. Les taux d'armature, eux aussi, ont très fortement fluctué selon l'âge et le type de construction.

Conclusion: s'agissant des barrages mobiles, il faut analyser précisément les particularités structurales de l'ouvrage et les divers systèmes statiques.



Béton damé, généralement soumis à de faibles contraintes.

3 SCÉNARIOS DE DÉFAILLANCES POSSIBLES ET DOMMAGES PARTICULIERS

3.1 Généralités

Outre les divers dangers menaçant habituellement un ouvrage d'accumulation des Alpes (glissement, renversement, contraintes excessives dans la structure ou défaillance des fondations en cas de charges normales, séisme), un barrage mobile est encore exposé aux sollicitations suivantes :

- **Pertuis vidé** (batardeaux mis en place et espace entre les piles vidé par pompage): deux piles sont sollicitées tant longitudinalement que perpendiculairement à la direction du courant et le radier du barrage est généralement soumis à une force de sous-pression (il flotterait s'il n'était pas fixé latéralement).
- **Surélévation du niveau de la retenue** : avec un barrage mobile, le danger d'une élévation excessive du niveau de la retenue est sensiblement plus grand et, compte tenu de la faible hauteur, les conséquences en sont aussi beaucoup plus importantes.
- **Dommages dus à l'érosion** en raison de l'exploitation du barrage mobile.
- Charge supplémentaire éventuelle en raison de l'**alluvionnement**.

Généralement, on n'est pas au clair quant à savoir quelles combinaisons de cotes des niveaux du plan d'eau en amont et en aval sont déterminantes, ce qui accroît l'ampleur des vérifications (un niveau d'eau en aval inférieur réduit les forces de résistance, mais les sous-pressions s'en trouvent également réduites).

Outre les difficultés usuelles à maîtriser les paramètres du sous-sol avec une précision suffisante, la question se pose aussi de savoir quelle surélévation du niveau de la retenue peut être introduite.

3.2 Surélévation du niveau de la retenue

La plupart des barrages mobiles au fil de l'eau ont été construits il y a plusieurs dizaines d'années. Leur automatisation ne date que de 5 à 15 ans, après que l'on eut automatisé les aménagements hydroélectriques des Alpes, beaucoup plus nombreux (et qui présentent un potentiel de danger nettement plus élevé).

La plupart des aménagements hydroélectriques suisses des Alpes gèrent toutefois des débits considérablement plus faibles que les centrales au fil de l'eau. Les conceptions développées pour les installations des Alpes ont une portée limitée pour les centrales hydroélectriques au fil de l'eau.

S'agissant de centrales au fil de l'eau, la première des priorités doit consister à éviter de manière absolument sûre qu'une surélévation du niveau de la retenue n'atteigne un niveau excessif.

Les trois cas suivants doivent être considérés à cet égard.

- **Perturbation impliquant l'arrêt des turbines**
Il est en l'occurrence prioritaire d'éviter la panne de courant redoutée sur le réseau, qui entraîne l'arrêt automatique de tous les groupes. Les vannes du bar-

rage mobile doivent pouvoir être ouvertes en quelques minutes. Même les turbines modernes ne tolèrent que pendant un laps de temps limité le passage de l'eau sans charge, lorsque le système de commande et les aubes sont en position extrême. Ce laps de temps ne permet souvent que d'ouvrir les vannes du barrage mobile.

- Perturbation sans arrêt des turbines
Comme le débit au droit d'un barrage mobile au fil de l'eau ne varie que selon les fluctuations naturelles, ce cas n'est que d'une importance secondaire. On dispose alors de beaucoup plus de temps pour réagir.
- Erreur d'exploitation du système de régulation, par exemple fermeture des vannes sans raison.

Selon le débit, la **surélévation du niveau de la retenue peut survenir très rapidement** en cas de délestage des machines. Pour les retenues d'accumulation de faible hauteur, justement, cette situation peut rapidement conduire à de sérieux problèmes. En effet,

- **le moment de renversement augmente à raison du cube de la hauteur de la retenue;**
- **les forces de poussée augmentent à raison du carré de la hauteur de la retenue (glissement);**
- **en cas de submersion des digues latérales de fermeture, l'érosion de matériau meuble intervient rapidement.**



Petite centrale électrique (partie du barrage à droite sur la photo) : submersion dans le secteur latéral après que la vanne d'un évacuateur ne s'est pas ouverte lors d'une crue.

Généralement, la hauteur de la revanche est déterminante. En cas de dépassement de celle-ci, la centrale hydroélectrique attenante peut souvent être inondée par les ouvertures (p. ex. les portes) ou il peut se produire une érosion des matériaux meubles. Dès

qu'une digue ou le secteur d'une culée sont submergés, la rupture partielle par érosion est probable à très court terme.

Mais il ne faut pas non plus négliger le renversement de la structure du barrage ou la rupture par glissement. En particulier, les anciens barrages mobiles dotés d'une armature réduite et d'une liaison insuffisante au bassin de dissipation peuvent présenter une faible réserve vis-à-vis de la sécurité au renversement. Les constructions nouvelles, dotées de vastes bassins de dissipation, sont moins sensibles aux surcharges imprévues.

Une surélévation du niveau de la retenue peut être causée par une erreur ou une défaillance :

- gestion manuelle des opérations,
- valeurs mesurées erronées,
- système de commande (automatisation),
- alimentation électrique,
- entraînement mécanique,
- conception insuffisante pour les cas de crue, respectivement obstruction des passes par les bois flottants lors d'une crue,
- blocage des vannes par givrage (ou par alluvionnement en cas de mauvaise construction),
- sabotage.



Rupture de barrage par pompage excessif, suite à l'indication de valeurs de mesure erronées provenant de sondes insuffisamment fixées (Taum Sauk, Etats-Unis, décembre 2005).

On peut largement garantir l'alimentation électrique et la sécurité mécanique en ménageant des redondances adéquates. Encore faut-il y pourvoir.

L'interaction entre les opérations automatisées et les interventions manuelles sont plus complexes. Il est courant, en cas de perturbation de la saisie des données ou du système de commande qu'un service de piquet soit automatiquement appelé à agir manuellement.

Il faut prêter une attention particulière aux perturbations et aux aspects suivants :

- **Panne du réseau auquel est reliée la centrale hydroélectrique au fil de l'eau**

En cas de panne du réseau impliquant une centrale hydroélectrique au fil de l'eau, les turbines doivent être stoppées dans l'espace de quelques minutes. Le débit d'exploitation de la centrale hydroélectrique doit être immédiatement compensé par le barrage mobile.

- **Séisme affectant une centrale hydroélectrique au fil de l'eau**
Il ne suffit guère de concevoir seulement le barrage mobile en fonction du séisme de dimensionnement. Ce dernier doit également dicter la conception des composantes des équipements (et de leurs locaux) nécessaires à l'exploitation du barrage.
Après un séisme d'assez grande amplitude, on ne peut guère s'attendre à ce que le réseau électrique soit encore intact, ce qui peut conduire à une mise hors service de la centrale hydroélectrique. Le débit d'exploitation de la centrale hydroélectrique doit être immédiatement compensé par le barrage mobile.
- **Séparation des câbles principaux**
Une coupure des câbles de commande et d'énergie n'est assurément pas la règle, mais elle ne saurait jamais être totalement exclue. Si un gros tronc d'arbre, un bateau ou un ponton de travail percute l'installation, on acceptera les dommages survenant localement, mais il ne faut pas que l'ensemble du système de commande, l'approvisionnement en énergie du barrage mobile ou l'accès à l'ouvrage soient interrompus.
- **Grippage des vannes en raison du givre, charge accrue due à la glace**
Ce cas, qui est rare, ne survient que par de très basses températures de longue durée. Dans notre pays, on ne peut l'envisager à juste titre que pendant la période d'étiage.
Pour empêcher le givrage des vannes, il suffit de munir une petite partie de celles-ci de glissières chauffantes ou d'une installation de production de bulles d'air.



La même vanne de barrage, en été et par un hiver extrême.

3.3 Dommages dus à l'écoulement de l'eau

Avec les matériaux de construction normalement utilisés, béton, acier et pierre naturelle, on assiste à une dégradation en fonction du temps par corrosion de l'acier dont l'enrobage de béton est insuffisant ou en cas de recours au sel d'épandage. Les dégâts au béton dus au gel résultent de béton de qualité insuffisante; rarement, ils sont l'effet de réactions chimiques agressives. A l'instar des autres ouvrages, ces phénomènes usuels de vieillissement se développent lentement et peuvent être observés au fil des années.

Les barrages mobiles sont en outre sollicités par l'écoulement de l'eau. Selon l'exploitation de la retenue sur de longues périodes, cet écoulement peut ne causer que des dégâts insignifiants. Mais lors de crues persistantes, des dégâts considérables peuvent aussi survenir en quelques semaines.

Il faut prêter particulièrement attention aux dommages potentiels suivants liés aux débits de crues.

- **Chocs de troncs flottants** contre les vannes et leur charpente.
 - Les câbles électriques et de commande, ainsi que les conduits hydrauliques devraient en tout cas être posés de manière à ce que des troncs d'arbre ne puissent les endommager. Les troncs d'arbre pris dans un tourbillon peuvent se dresser et sortir de l'eau de plus d'un mètre.
 - De ce fait, la course des vannes doit être suffisamment élevée pour permettre, en cas d'ouverture totale des vannes, un gabarit de libre passage suffisamment grand entre la surface de l'eau et le bord inférieur des vannes.
 - Evidemment, les mêmes remarques s'appliquent aux passerelles de service (il est déjà arrivé qu'une passerelle de service, qui contenait tous les câbles de commande et d'alimentation électrique, soit arrachée par un tronc d'arbre lors d'une crue).



Bois flottant lors d'une crue, immédiatement avant un pertuis.



Tronc d'arbre dressé dans le voisinage d'un tourbillon.

- **Domages dus à l'érosion à l'aval**

Le sous-sol naturel adjacent à l'ouvrage est particulièrement menacé en l'occurrence, car il présente souvent une résistance nettement inférieure à celle du radier du barrage. De même, les parties de l'ouvrage dont les formes ne sont pas hydrauliquement adéquates sont particulièrement en danger dans le cas où elles sont soumises à une dépression.



Erosion de pierre en granit de haute qualité due à une dépression derrière une arrête.

Dans les ouvrages en pierre naturelle, les éléments les plus menacés sont ceux qui ne sont pas scellés sur plusieurs côtés.

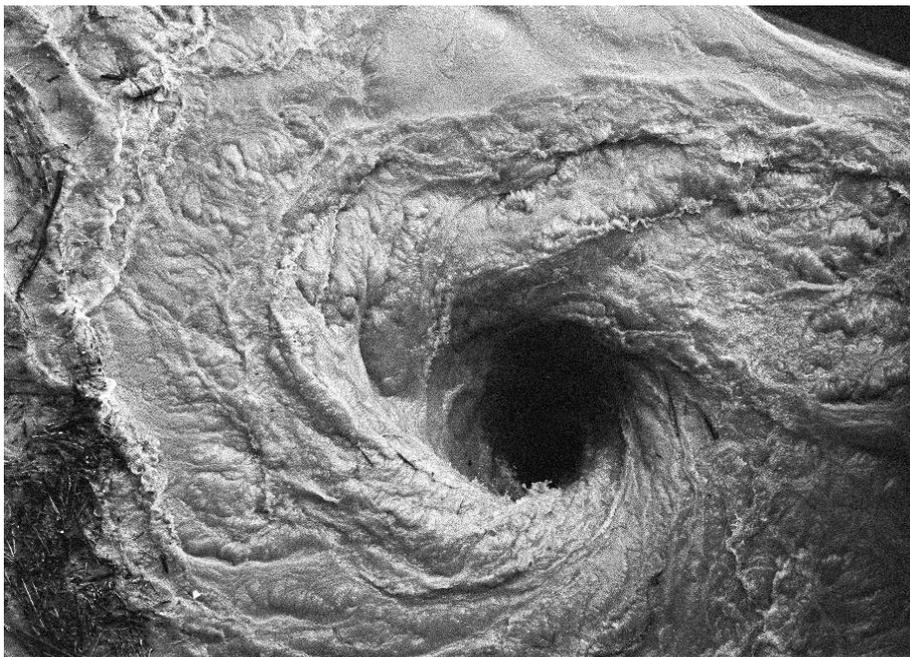


Ecoulement non uniforme à travers n-1 ouvertures au sortir d'un ouvrage de plus de 100 MW de puissance.

- **Dommages dus à l'érosion à l'amont**

L'admission irrégulière de l'eau dans les pertuis, selon leurs différents degrés d'ouverture ou lorsque l'un d'eux reste fermé (n-1), peut entraîner à l'amont des tourbillons considérables, qui occasionnent un affouillement à proximité immédiate des avant-bec des piles.

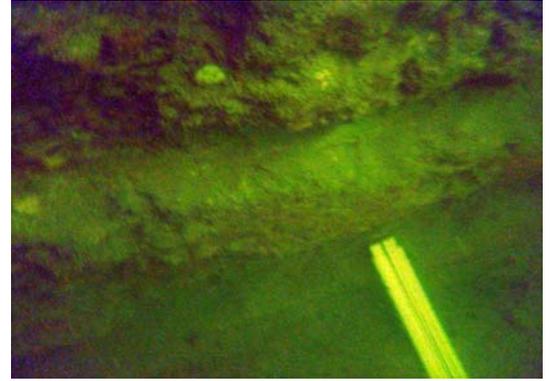
C'est pourquoi les barrages mobiles bien construits sont munis à l'amont d'un petit avant-radier. L'affouillement des piles est particulièrement délicat, lorsque les piles et les seuils du barrage ont été construits indépendamment l'un de l'autre.



Tourbillon à l'amont, causé par l'ouverture inégale des vannes.

- **Dommages dus à l'abrasion**

Les dommages causés par le frottement ou les chocs de pierres charriées évoluent lentement, mais continuellement à chaque crue. Sont particulièrement menacés, les secteurs profonds (fond du lit) et les zones où se forment éventuellement des rouleaux ou des tourbillons.



Mortier de joints usé par l'érosion et paroi frontale en béton endommagée.

- **Charges supplémentaires dues aux sédiments sur les vannes (ou les batardeaux)**

Pour les constructions hydrauliques en acier bien construits, le poids des sédiments est de peu d'importance. Mais, dans le cas d'anciennes vannes ou de batardeaux, une importante accumulation de sédiments sur les poutres métalliques horizontales peut occasionner une surcharge parfois considérable.



Sédiments sur un batardeau.



Sédimentation devant la prise d'eau d'une centrale électrique.

Les sédiments qui ne sont pas emportés par le courant (p. ex. dans les secteurs latéraux des barrages mobiles) sont également susceptibles d'accroître la charge agissant sur la structure.

- **Entrave des vannes par des troncs d'arbre**

Selon le type de construction, il se peut que des troncs d'arbre restent prisonniers dans les vannes. Il faut être particulièrement attentif au frottement éventuel de troncs d'arbre contre les piles lorsque les vannes sont actionnées. Ce problème peut être considérable dans les anciennes constructions à charpente ; avec les nouvelles vannes à segments, il ne se pose guère.



Tronc d'arbre coincé dans la structure d'une vanne.

La plupart des menaces/dommages potentiels se développent lentement et l'observation permet généralement de les déceler à temps.

Il faut prêter attention en particulier aux aspects qui surviennent subitement ou qui sont susceptibles de se propager rapidement. Il s'agit des dommages suivants :

- dommages dus aux chocs ;
- dommages dus à l'érosion à des ouvrages anciens en béton damé avec revêtement en pierre naturelle ; si un seul bloc de pierre se détachait, l'érosion du béton damé pourrait se propager très rapidement.

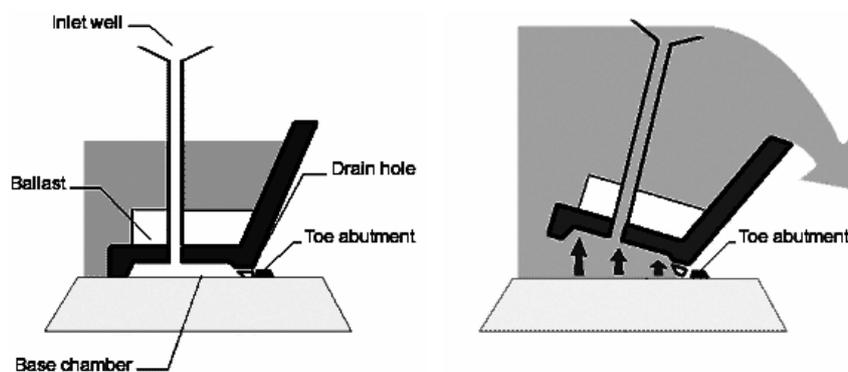
4 EXIGENCES EN MATIÈRE DE SÉCURITÉ SPÉCIFIQUES AUX BARRAGES MOBILES

Mesures structurales et d'exploitation possibles pour minimiser la survenance d'erreurs de commande et de contrôle.

4.1 Concept de vérification compte tenu du potentiel de danger

S'agissant de retenues fluviales mobiles, construite généralement il y a plusieurs dizaines d'années et automatisées pour la plupart il y a 5 à 15 ans, afin de réduire la présence de personnel sur les lieux aux horaires de travail normaux, le concept de vérification suivant pour accroître la sécurité est recommandé.

1. Pour déterminer le potentiel de danger envers les tiers, il est d'usage en Suisse de calculer l'**onde de submersion que provoquerait une rupture** de l'ouvrage d'accumulation.
2. Si des tiers sont menacés par la propagation des ondes de submersion, l'exploitant de l'installation devrait démontrer que la retenue ne cédera pas d'un coup et qu'elle ne libérera l'eau que par étapes sans danger. Cette exigence ne sera probablement réalisable que dans des cas exceptionnels. On pourrait par exemple la remplir au moyen d'un système de hausses fusibles («fusgate system») :



Système des hausses fusibles de Hydroplus (www.hydroplus.com)

Légende : Inlet well = Puits de prise d'eau ; Ballast = Lest ; Drain hole = Trou de drainage ; Toe abutment = Butée ; Base chamber = Chambre

L'installation du système représenté ci-dessus requiert de la place, qui n'est généralement pas disponible pour les ouvrages existants. Un système de hausses fusibles, basé sur l'érodabilité du sable, ne devrait guère être envisagé en Europe centrale, compte tenu de la végétation intense prévisible.

3. Si les deux étapes précédemment décrites ne permettent pas de montrer qu'aucun péril notable ne menace des tiers, **il faut alors analyser plus précisément le cas de charge de la surélévation de la retenue et son développement dans le temps**, en considérant les éléments suivants.

- **Quelle est la fluctuation dans le temps du niveau du plan d'eau** dans les cas choisis suivants :
 - Arrêt d'urgence de la centrale hydroélectrique en cas d'apport dans la rivière qui correspond exactement au débit équipé de la centrale (cas supposé le plus défavorable).
 - Si les écoulements sont de 50% inférieurs et de 50% supérieurs.
 - Comment le facteur de sécurité évolue-t-il en cas de surélévation croissante du niveau de la retenue.
 - **Quelle est la cote maximale «possible» du niveau du plan d'eau à l'amont de l'ouvrage, à partir de laquelle le barrage mobile échappe au contrôle : à savoir :**
 - défaillance statique de la structure principale (facteur de sécurité calculé de l'ordre de 1)
 - submersion des zones latérales immédiatement avoisinantes d'amont vers l'aval
 - submersion des digues latérales
 - irruption d'eau dans la centrale (p. ex. par les ouvertures des portes)
4. En se fondant sur les résultats du point 3, il faut élaborer un concept adéquat pour les situations d'urgence, afin de garantir que
- l'alerte fonctionne en toutes circonstances ;
 - le personnel de piquet nécessaire soit suffisamment tôt sur place, qu'il saisisse la situation et qu'il soit apte à prendre les mesures voulues en temps utile ;
 - les redondances et moyens correspondants soient à disposition pour que les vannes puissent être ouvertes en tout temps.

Ces objectifs requièrent une organisation similaire à celle qui est usuelle pour prévenir les incendies et lutter contre le feu (cf. aussi chapitre 4.3).

4.2 Automatisation et intervention manuelle

Contrairement aux systèmes complètement automatisés, qui requièrent au moins trois systèmes indépendants de saisie et de traitement (deux systèmes régissent celui avec écart/erreur), il est usuel de faire appel à un service de piquet, en cas de panne du système de commande d'une centrale hydroélectrique, afin qu'il puisse prendre les mesures voulues manuellement.

4.3 Description de la sécurité des équipements et de l'exploitation

Il incombe à l'exploitant du barrage mobile / de la centrale hydroélectrique de prendre les dispositions de sécurité voulues contre les écarts sensibles du niveau de la retenue et de montrer comment il peut garantir les points suivants :

- **Au moins une vanne peut être hors service** (critère n-1). Mais il faut également mettre en question le critère n-1, généralement applicable, dans les cas suivants.
 - Pour les grands ouvrages comptant de nombreuses ouvertures, qui sont mal entretenues ou âgées, il peut être adéquat d'élever le critère n-1. Cf. à ce propos [13].
 - Pour les petits ouvrages en montagne, exposés à d'importantes périodes d'étiage en hiver et de faible largeur (danger d'obstruction), il peut être parfaitement judicieux de concentrer les révisions seulement sur la période hivernale, de munir la vanne principale de deux moteurs indépendants et de la concevoir en conséquence.
 - Il faut prêter particulièrement attention aux rivières de faible largeur, susceptibles de charrier une masse de bois importante. Pour que des troncs d'arbre puissent passer au travers d'un pertuis, il faut prévoir des ouvertures d'environ 20 m de large. En pareils cas, il peut être recommandable de ne construire qu'une seule vanne large qui puisse s'ouvrir sous la pression de l'eau (éventuellement même sans énergie extérieure).
- **L'approvisionnement en énergie** est garanti par un système de commande relié à une installation AEI (alimentation électrique ininterrompue) et par ailleurs des moyens plus puissants (p. ex. groupe de secours) sont disponibles en réserve pour l'exploitation du barrage mobile. Les pompes manuelles ne suffisent plus pour les barrages mobile au fil de l'eau (en situation d'urgence, plusieurs hommes vigoureux ne peuvent guère lever qu'une vanne d'environ 30 m² à l'aide de pompes manuelles).
- Les **câbles d'énergie et de commande** sont assurés par deux tracés différents et un chemin de câble au moins n'est pas combiné à la voie d'accès. En cas de rupture d'une voie d'accès éventuellement menacée, il ne doit en aucun cas arriver que tous les câbles de commande et d'alimentation en énergie soient coupés.
- **Plusieurs sondes de niveau hydrostatique indépendantes** sont installées et munies par exemple d'un système de prétraitement des valeurs mesurées et d'un système de contrôle de plausibilité.
- En cas de mesures inhabituelles, l'**alerte** est immédiatement déclenchée.
- L'alerte est déclenchée en cas de **panne d'une redondance** (même si l'installation fonctionne encore parfaitement) ou on procède aux tests du système.
- **L'alerte est donnée automatiquement par diverses voies** (également en cas de panne de l'ordinateur de commande ou de l'installation AEI). On recommande un deuxième système d'alerte, présentant des valeurs de tolérance assez grandes, qui soit indépendant de tous les autres systèmes.
- Les systèmes concernant la sécurité sont le plus **facilement** compréhensible possible.

En outre, l'exploitant du barrage mobile/de la centrale électrique doit penser aux aspects suivants :

- **Dans quels délais le service de piquet** peut être sur les lieux et comment du personnel supplémentaire peut être mobilisé.
- Comment les **cas extraordinaires** sont réglés, lorsque la durée usuelle des trajets ne s'applique pas, notamment:
 - en cas de pluie givrante ou de chutes de neige extrêmes ;
 - lors d'une tempête extrême ;
 - si un fort séisme survient, impliquant des victimes et éventuellement des dégâts à la centrale électrique ou aux composantes des équipements.
- Comment le fonctionnement du barrage mobile est assuré **en cas d'incendie** de parties de la centrale électrique (en particulier le poste de commande ou le système AEI).
- Comment **l'équipe d'exploitation est protégée des sollicitations excessives**, lorsqu'une situation extrême déclenche simultanément trop d'alertes. Comment les alertes de surélévation du niveau de la retenue (éventuellement aussi les alertes en cas d'**ondes de translation (à front raide)** ou de niveau particulièrement bas de la retenue) se distinguent des alertes de la centrale électrique (p. ex. signaux visuels ou alertes vocales).
- Comment l'exploitation manuelle peut être assurée **à partir de plus d'un site**.
- Quelles dispositions sont prises contre des **actions complètement fausses générées par l'ordinateur**.
- Quelles dispositions sont prises contre de **grossières erreurs de l'opérateur**.
- Comment la **formation du personnel** se déroule et est contrôlée en prévision de cas extraordinaires.
- Dans quelle mesure des **dispositions contre le vandalisme et le sabotage** sont prises s'agissant des composantes de l'équipement intéressant la sécurité.
- Autres aspects :

S'agissant de ce type de travail, la complétude est sensiblement plus importante que la précision du détail.

En situation normale, il est possible de maintenir la cote de la retenue au centimètre près, ce qui simplifie la régulation des débits aux paliers inférieurs. Mais il arrive que l'on n'y parvienne pas. Il est toutefois beaucoup plus important d'éviter avec une sécurité absolue que le niveau de l'eau ne dépasse jamais, même dans des cas extraordinaires, la cote convenue correspondant aux dommages acceptés.

5 CONTRÔLES, MESURES ET TESTS

5.1 Mesures par échosondeur

5.1.1 Exigences générales et présentation

Mesure décennale de la zone de retenue

Les zones de retenue des barrages fluviaux sont mesurées tous les dix ans par échosondeur, afin de déceler les modifications (par comblement dû à l'alluvionnement ou par érosion). La priorité est donnée au suivi de l'alluvionnement, qui peut très largement s'étendre. Il s'agit donc de saisir des profils distants de 100 à 200 m, lorsqu'aucune modification notable n'apparaît.

La meilleure représentation est celle de profils du même endroit. Il faut alors superposer les nouveaux et les anciens profils.

Si l'on constate des modifications d'une certaine importance, il faut aussi représenter par une esquisse les zones de comblement et d'érosion. Selon les cas, il faut réduire la grille du relevé.

Examen quinquennal de la zone à proximité de l'ouvrage

En outre, on relève tous les cinq ans, sur une grille à petite échelle, les zones amont et aval proche du barrage mobile. Il s'agit avant tout, ce faisant, de relever l'érosion éventuelle du sous-sol jouxtant l'ouvrage, voire de l'ouvrage lui-même. Afin de permettre un tel relevé, il faut réduire la grille à environ 5 m et procéder à des relevés croisés.

Les courbes de niveau ont fait leurs preuves comme mode de représentation. Il faut tout d'abord représenter en plan la topographie actuelle du fond par des lignes de niveau et ensuite les zones de comblement et d'érosion par rapport à la dernière mesure aussi à l'aide de courbes de niveau

Il est aussi recommandé de représenter les zones de comblement et d'érosion par rapport à une mesure aussi ancienne que possible.

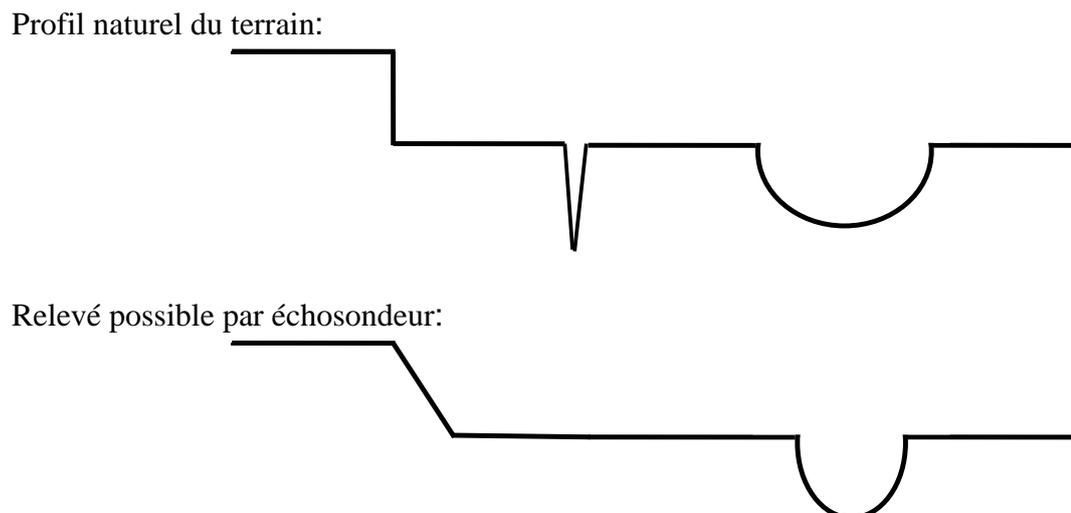
5.1.2 Problèmes liés aux mesures par échosondeur

L'échosondeur mesure la distance au fond en un endroit déterminé. Contrairement à une latte ou à un fil à plomb, l'échosondeur émet un cône sonore dont le fond réfléchit les ondes.

Combiné au positionnement par GPS, ce système est très performant et fournit de très bons résultats sur un fond plat.

Il faut toutefois être conscient du fait que l'échosondeur mesure la distance le séparant de la surface couverte par le cône du transducteur. Pour la mesure de l'alluvionnement, ce point est sans importance, mais s'il s'agit de relever des irrégularités, comme un morceau de roche détaché, une fissure, un décrochement vertical, etc., les mesures obtenues peuvent être insuffisantes selon les cas.

L'esquisse ci-après montre schématiquement l'erreur systématique liée à la propagation conique des ondes ultrasonores :



Le cône sonore émis par l'échoudeur est souvent trop large pour relever précisément des blocs de roche détachés reposant sur le lit de la rivière. Dans la zone à proximité d'un barrage mobile, cette technique est insuffisante, même si l'on recourt à un transducteur à cône aussi étroit que possible.

Il est donc recommandé de procéder aux études complémentaires suivantes :

- inspections par des plongeurs dans le voisinage immédiat de l'ouvrage ;
- mesures au fil à plomb ;
- échoudeur 3D (ce scanner multifaisceaux gagnera probablement beaucoup en importance à l'avenir).

La représentation la plus opportune des mesures par échoudeur dans la zone proche du barrage consiste en un plan en couleur des courbes de niveau, un deuxième plan des courbes de niveau montrant les modifications par rapport aux dernières mesures et éventuellement encore un troisième plan indiquant les changements survenus par rapport à des mesures aussi anciennes que possible. Cette présentation sera complétée par quelques profils représentatifs en indiquant les contours du barrage et de ses fondations.

Pour la réalisation de mesures aux fins de sécurité au moyen d'un échoudeur, nous renvoyons à [15].

5.2 Inspections de plongeurs

Les inspections effectuées par des plongeurs sont un moyen indispensable pour contrôler la partie immergée du barrage. Comme l'ingénieur chargé de l'évaluation ne plonge généralement pas lui-même et que les conditions de visibilité ne permettent pas de voir à plus de quelques mètres au mieux, la réalisation de ces plongées n'est pas exempte de difficultés. Quelques problèmes spécifiques aux inspections sous l'eau sont présentés ci-après :

- La visibilité limitée ne permet pas une vue d'ensemble. Il est toutefois possible de très bien observer isolément les détails. Il convient donc de définir précisément quel objectif ou quelles zones doivent faire l'objet du contrôle.

- La visibilité limitée entraîne souvent des difficultés considérables à s'orienter. Il ne faut donc pas sous-estimer le risque d'indications de lieu erronées.
- Avec le port du masque, la réfraction de la lumière entre l'eau et l'air induit une vision ressemblant à celle perçue au travers d'une longue-vue et produit un léger grossissement de l'image observée. Le champ de vision ainsi restreint constitue un risque, subjectivement ignoré du plongeur, de manquer des informations. Ce point est très important.
- Dans l'eau, les couleurs sont plus ou moins absorbées. Selon la distance depuis la source de lumière – l'objet - l'œil (ou la caméra), les couleurs se modifient fortement et le mécanisme automatique de la caméra tend à les «corriger». En raison de la transformation des couleurs, les images prises sous l'eau peuvent être mal interprétées (p. ex. des algues teintées de rouge sur de l'acier semblent être de la rouille et vice versa).
- La respiration d'air comprimé induit une saturation du corps par l'azote, ce qui réduit les durées de plongée admissibles selon la profondeur et les temps de décompression. Si la profondeur maximale de plongée est d'environ 10 mètres, le plongeur peut séjourner plusieurs heures en immersion. Si la profondeur est plus importante, les temps de plongée se réduisent très rapidement.

Voici quelques brèves indications quant à la réalisation de contrôles en immersion.

- L'objectif à contrôler doit être clair. Les plongeurs doivent avoir à l'esprit une vue d'ensemble aussi bonne que possible de la situation sous l'eau. En raison de la visibilité restreinte, il est possible de relever des écarts surprenants, mais il n'est guère possible de saisir globalement une situation complexe.
- Contrairement à la pratique répandue consistant à tourner un film vidéo sous l'eau, qu'il est ensuite difficile à interpréter, il est recommandé que l'ingénieur responsable accompagne le plongeur en communiquant avec lui par un interphone, jusqu'à ce qu'il ait compris la situation. Il incombe à l'ingénieur accompagnant de rédiger le rapport.
- S'agissant des aspects de sécurité concernant les travaux sous l'eau et la plongée, nous renvoyons aux documents correspondants. Il va de soi que le barrage mobile / la centrale électrique doivent être sécurisés contre des manœuvres non intentionnels dangereux.
- Il faut particulièrement souligner le potentiel de danger que revêtent les travaux en plongée. Les dangers associés à de tels travaux, fondamentalement différents selon qu'ils sont exécutés à l'amont ou à l'aval, sont souvent sous-estimés. De petites ouvertures de vannes ou d'autres courants traversants à l'un ou l'autre niveau de la retenue créent un jet concentré à l'aval et interdisent éventuellement la plongée en certains endroits.

La situation est toute autre à l'amont: une chasse crée un dégagement de forme conique, ce qui a pour effet de provoquer un entrainement vers le pertuis (tout un chacun en a fait l'expérience avec un aspirateur ménager). Il n'est guère nécessaire d'expliquer à un ingénieur quelles forces opèrent en pareille situation. Par conséquent, les mesures suivantes pour les travaux en plongée effectués à l'amont des barrages sont instamment recommandées :

- Contrôle préalable à l'aval pour déceler d'importantes sorties d'eau (exécuté si possible par le plongeur qui plongera ensuite ou le jour suivant à l'amont).
- Plonger en étant relié par une corde et muni d'un interphone, pour les cas où la corde doit être rallongée ou déplacée pendant la plongée.
- Le plongeur doit observer les déplacements des matériaux en suspension.
 - Il serait judicieux de placer des marques d'orientation dans l'eau lors de la construction d'ouvrages, car le plongeur ne peut saisir simplement que la profondeur dans l'eau (précision entre 10 et 20 cm) et éventuellement la direction nord. Selon le type de tâches à exécuter, il peut être opportun d'installer des éléments d'orientation ou d'apposer sous l'eau des marques d'orientation fixes.

5.3 Mesures des déformations

5.3.1 Généralités

En principe, on peut recourir aux mêmes instruments pour les barrages mobiles que pour les barrages en montagne, pour autant que les conditions de construction le permettent (manque de galeries de contrôle / puits). On trouvera une présentation détaillée des possibilités de mesure dans [7].

En raison de la faible hauteur et des faibles variations du niveau de l'eau, par rapport aux bassins d'accumulation, les déformations des barrages mobiles sont très petites.

Hormis les cas de problèmes particuliers, qui impliquent le recours aux micromètres de forage ou à d'autres appareils similaires que l'on peut installer en complément, les mesures géodésiques sont prioritaires eu égard aux faibles déformations et à l'absence de galeries de contrôle.

Mais les mesures géodésiques sont onéreuses et plusieurs années s'écoulent jusqu'à ce que l'on dispose de quelques mesures consécutives. Selon la taille et l'importance de l'ouvrage, elles représentent toutefois un moyen parfaitement approprié pour conforter la confiance dans le barrage à long terme.

5.3.2 Mesures géodésiques

Si le comportement de l'ouvrage est normal, il suffit donc de procéder à quelques mesures, très précises cependant, à des intervalles périodiques, afin de confirmer que le comportement du barrage ne présente pas d'anomalies.

A cet effet, le mieux est d'implanter un réseau géodésique permettant de suivre le comportement des piles du barrage aussi précisément que possible. Le réseau géodésique d'un barrage mobile est comparable à celui d'un barrage en montagne.

Les mesures minimales devraient comprendre au moins :

- Un point sur chaque pile du barrage mobile et sur les culées, implanté aussi loin que possible vers l'amont ou vers l'aval; ces points doivent être relevés tant en planimétrie (parallèlement et perpendiculairement à l'axe du courant) qu'en altimétrie. A cet effet, il convient d'utiliser des appareils de mesure aussi précis que possible.

- Sur le côté opposé des piles du barrage, il faudrait au moins relever les altitudes.

Grâce à la détermination des 3 coordonnées d'un point implanté sur chaque pile et celle de l'altitude d'un deuxième point aussi éloigné que possible, on peut connaître le déplacement et la rotation de chaque pile.

Comme les résultats des mesures sont fortement influencés par les températures, il est recommandé, lors des premières mesures, de procéder alternativement à des mesures en été et en hiver, afin de saisir l'amplitude due aux différences de température. Puis, après deux ou trois mesures d'été et d'hiver, par exemple en adoptant pour commencer un intervalle de mesure de 1,5 an, on passera au cycle de mesures régulier de cinq ans.

Sur le Rhin, dans la zone limitrophe avec l'Allemagne, des mesures géodésiques doivent être prévues selon la norme DIN 19700-13, article 9.3.1.

Pour les ouvrages de petite taille, on peut aussi procéder par alignement ou par nivellement sur quelques points.

5.3.3 Nivellement sur les digues latérales et les passerelles du barrage

Ces techniques permettent de relever à faible coût les divers tassements des digues latérales et les déformations sur le long terme des passerelles du barrage.

S'agissant d'anciennes digues latérales, des tassements instables sont des signes clairs de modifications dans la partie non visible, par exemple des dommages aux ouvrages de protection des berges, de petits glissements ou une érosion interne.

En ce qui concerne les ponts en béton armé, les nivellements entre le milieu de la travée et les culées sont un indice de surcharges et d'une forte diminution de la section de l'armature sous l'effet de la corrosion.

5.4 Mesures du niveau du plan d'eau et des sous-pressions

Les mesures des sous-pressions permettent de saisir ponctuellement les conditions de pressions qui ne sont généralement pas absolument évidentes dans le sous-sol. Outre la saisie des forces qui agissent sur la structure, les sous-pressions sont aussi un bon indicateur quant à d'éventuelles modifications au niveau de la fondation de la structure, car elles réagissent souvent de manière sensible aux changements extérieurs. Il est donc recommandé de procéder à des mesures des sous-pressions pour les ouvrages importants et de grande taille.

Il est possible de compléter les équipements d'ouvrages existants en réalisant des forages à travers les piles du barrage mobile dans le secteur du pont du barrage ou des avant-becs. Cette opération est toutefois onéreuse.

Les instruments de mesure suivants sont disponibles :

- Mesures manuelles au moyen d'une sonde de niveau à signal lumineux (régulièrement toutes les semaines ou tous les mois): les investissements sont minimisés, mais le temps d'engagement est accru.
- Équipement de forages au moyen de sondes de mesure et d'enregistreurs de données : les enregistreurs de données peuvent être lus une à trois fois par an.

Il est recommandé d'y recourir lorsque l'on recherche à démontrer au moyen de ces mesures que le comportement est normal.

- Equipement de forages au moyen de sondes de mesure et de moyens de télé-transmission : cet équipement plutôt cher est utilisé dans certains cas pour les barrages en montagne. Tel ne devrait être le cas qu'exceptionnellement pour des barrages mobiles.

Lorsque les sous-pressions sont saisies électroniquement, la fréquence des mesures ne joue guère de rôle. On recommande de s'adapter à la fréquence éventuelle des fluctuations du niveau du plan d'eau.

Il faut représenter conjointement sur un graphique les mesures des sous-pressions et les variations du niveau du plan d'eau (diagramme des niveaux de retenue et en fonction du temps).

Eventuelles influences sur les sous-pressions :

- En cas d'écoulement torrentiel à travers le barrage, le niveau amont baisse souvent de manière sensible, ce qui peut se traduire par des sous-pressions plus faibles.
- Lorsque les pertuis sont vides, les niveaux piézométriques peuvent baisser.
- En période exempte de crues (colmatage à l'amont), les sous-pressions peuvent diminuer.

Sur le Rhin, dans la région limitrophe avec l'Allemagne, il est nécessaire de procéder à des mesures de la pression de l'eau interstitielle selon DIN 19700-13, article 9.3.1.

5.5 Mesures de l'eau d'infiltration

Il faut évidemment accorder la plus grande attention aux éventuelles eaux d'infiltration à travers un ouvrage de retenue. Mais pour la plupart des barrages mobiles, ces infiltrations ne pourront guère être observées en raison de la présence d'eau en aval.

Par des conditions de visibilité favorables dans l'eau, un plongeur peut relativement bien observer les débits des eaux d'infiltration grâce à l'absence de sédiments. Si les conditions sont bonnes (vision claire et présence de sédiments au sol), on ne saurait guère localiser des courants notables.

Sur le Rhin, dans la zone limitrophe avec l'Allemagne, les débits des eaux d'infiltration et les débits de sources devraient être mesurés selon la norme DIN 19700-13, article 9.3.1, pour autant que cette possibilité existe.

5.6 Contrôles visuels en surface

Les principaux points à observer sont les suivants:

- dommages et déformations des vannes et de leur système d'entraînement,
- barres tordues de construction triangulée,

- corrosion des structures en acier et éventuellement des aciers d'armature,
- fentes, venues d'eau, concrétion de carbonate de calcium,
- dommages dus au gel, éclatements, indices de RAG (réaction alcali-granulats),
- dommages aux joints,
- sources ou tassements dans le secteur des culées ou des digues latérales,
- état d'entretien, fuite d'huile,
- autres irrégularités,
- sources en profondeur dans le secteur des culées ou éventuellement des digues latérales.

On trouvera des listes de contrôle détaillées pour les contrôles visuels ou le classement des données relevées dans [9], [15] et [16].



Dommages considérables dus au gel d'un appui d'un pont de service d'un barrage mobile.



Jauge en acier inoxydable et en acier, après quelque dix ans d'exploitation.

5.7 Tests/essais de fonctionnement à effectuer régulièrement

5.7.1 Test des vannes

Enregistrement et évaluation annuels :

- de la pression de l'huile et du maintien de la pression de l'huile à un niveau constant pendant un certain temps dans les moteurs hydrauliques,
- de l'intensité du courant électrique pour les entraînements directs,
- des vitesses,

lors du levage et éventuellement de l'abaissement des vannes.

Il faut représenter les résultats graphiquement au fil des années et comparer les vannes de même type.

Les éventuelles vannes clapets installées sur un déversoir devraient toujours se trouver dans la même position.

Les vannes clapets de retenues d'une capacité relative de débit assez faible, qui servent avant tout à la régulation fine et à l'enlèvement des matières flottantes et sont de toute façon souvent en service, ne doivent pas faire l'objet d'essais. Ceci devrait par exemple concerner les vannes clapets fixées en tête équipant de grandes vannes.

Pour les vannes importantes et de grande taille, il peut en outre être judicieux de noter l'évolution des divers paramètres dès l'ordre de commande, afin de saisir également les valeurs initiales, qui sont supérieures.

5.7.2 Test des réserves de puissance

Les groupes électrogènes de secours ou les entraînements directs qui sont nécessaires à l'exploitation du barrage mobile, doivent être actionnés régulièrement, par exemple une fois par mois. Il faut surveiller le niveau de remplissage du réservoir de carburant, le consigner dans un procès-verbal et pourvoir au remplissage régulier du réservoir.

Si possible, les groupes électrogènes de secours devraient alimenter le réseau lors des essais ou, si cela n'est pas réalisable, les essais devraient s'effectuer au moins une fois par an avec les vannes.

Les turbines destinées aux besoins propres, qui servent à l'alimentation en électricité de secours et qui peuvent être actionnées également sans mise sous tension du réseau, doivent être testées une fois par an.

Il faut procéder à des contrôles réguliers de la pression dans les accumulateurs à vessie des petites installations et en établir le procès-verbal.

5.7.3 Capacité des batteries de l'installation AEI

Il faut régulièrement solliciter les batteries. On doit tenir un journal du fonctionnement des batteries et de leur entretien.

5.7.4 Autres test / essais de fonctionnement éventuels

Normalement, on peut renoncer à tester **régulièrement** les points suivants :

- **Contrôle de fonctionnement de l'installation AEI**

Normalement, les consommateurs qui dépendent d'une alimentation ininterrompue en énergie sont connectés en permanence au réseau AEI. Un contrôle à ce propos n'est de ce fait pas nécessaire.

Dans d'autres cas éventuels, il faut procéder à des contrôles de fonctionnement correspondants.

- **Contrôle de fonctionnement autonome des capteurs de mesures, du système de commande et du système d'alarme**

Le système de commande devrait en principe être conçu de telle manière que des contrôles de fonctionnement autonomes soient réalisés. Il faut, lors de la mise en exploitation, tester complètement le système dans les diverses conditions de retenue et dans la perspective des différents scénarios de perturbation déterminants. Les tests de mise en service ne doivent pas être effectués seulement selon le programme, mais il faut aussi procéder par étapes en fonction des événements.

- **Organisation de piquet**

On peut généralement renoncer à tester l'organisation de piquet, car elle est mobilisée suffisamment souvent lors de petites perturbations. Il suffit d'évaluer ces cas.

6 ATTRIBUTION DES EXAMENS À EFFECTUER AUX DIFFÉRENTS NIVEAUX DE SURVEILLANCE

6.1 Niveau 1 : exploitant

A la condition, largement applicable, que le barrage mobile ne soit pas nouveau, qu'il ne présente pas de problèmes particuliers, qu'il ne soit pas exposé à des agressions chimiques importantes (eau sulfatée, RAG, etc.) et qu'il ne soit pas fondé sur un matériau meuble sensible au tassement, il est recommandé de procéder à des contrôles non pas de façon périodique, mais **en fonction des circonstances**.

- **Séisme de forte amplitude impliquant des victimes et des dommages matériels**

Tous les employés disponibles de la centrale électrique doivent se réunir sur le site de l'installation, analyser la situation et garantir en première priorité un écoulement sûr par le barrage.

- **Séisme nettement perceptible**

Le service de piquet doit immédiatement se rendre sur place et contrôler si le barrage mobile a subi des dommages :

- contrôle visuel de la cote de retenue en observant la zone de retenue,
- contrôle de l'alimentation en énergie et des indications des sondes de mesure,
- contrôle des moyens de communication,
- contrôle du mécanisme d'entraînement des vannes quant à d'éventuels déplacements ou déformations,
- contrôle des vannes quant à de nouvelles pertes d'eau ou des déformations,
- contrôle de la zone aval en ce qui concerne d'éventuels écoulements ou venues d'eau inhabituels dans le secteur des deux culées, contrôle des sources à proximité des éventuelles digues latérales,
- contrôle des structures de l'ouvrage (apparition de nouvelles fissures, déformations de joints),
- contrôle de la zone de retenue quant à d'éventuels glissements (dès que le temps disponible le permet).

- **Crue**

Il faut contrôler l'ouvrage au moins une fois par jour, notamment les points suivants :

- déformations des vannes, dommages aux moteurs, éventuellement dommages aux passerelles inférieures,
- contrôle du barrage mobile sous l'angle de l'effet des vibrations,
- évaluation des zones d'écoulement en amont et en aval pour y déceler d'éventuelles anomalies,
- contrôle des ouvrages de fermeture latéraux à l'aval,

- relevé de la présence d'un éventuel tapis de matières flottantes et de la configuration de l'écoulement en vue de modifier éventuellement la position des vannes,
 - il faut en outre garantir que le poste de commande soit en mesure de relever immédiatement les défaillances éventuelles de la mesure du niveau de retenue,
 - contrôle de la présence de sources dans les secteurs des culées et des éventuelles digues latérales,
 - contrôle approprié de la zone de retenue.
- **Exploitation normale**
Il faut contrôler l'installation au moins une fois par semaine. En principe, les points à contrôler sont les mêmes qu'en cas de crue.
 - **Suite à l'interruption de l'exploitation d'un barrage mobile**
Il est recommandé de contrôler les points suivants :
 - fuites d'eau des vannes et éventuellement faibles courants en profondeur comme indice de points non étanches des vannes ;
 - troncs d'arbres coincés, morceaux de bois ;
 - dommages éventuels, identiques à ceux visés sous la rubrique «crue»; en particulier dommages dans les zones plus profondes, qui apparaissent lorsque le niveau de l'eau d'aval baisse.
 - **En cas de gel persistant**
Selon l'état des vannes (fuites) et les températures, il faut contrôler quotidiennement ou tous les 2-3 jours si les vannes sont givrées.
En cas de nécessité, la glace doit être dégagée, notamment en cas de risque que la capacité présente des vannes de la centrale ne soit réduite en raison de la charge trop grande de la glace ou du blocage causé par la glace et ne puisse être compensée pour le barrage mobile.
 - **En l'absence de vent et si l'installation est hors service**
En l'absence de vent et si l'exploitation est interrompue, les courants éventuels à l'aval dus aux infiltrations sont le mieux perceptibles. Il faut périodiquement contrôler ce point.
 - **En cas de transparence extraordinaire de l'eau**
Les bonnes conditions de rare visibilité doivent être exploitées pour procéder à des observations de contrôle à travers l'eau ou pour engager des plongeurs aux fins de contrôles ou de réparations.

6.2 Niveau 2 : contrôle annuel

Le contrôle annuel doit être assumé par un ingénieur civil expérimenté.

Eu égard au caractère annuel du contrôle prescrit, il se concentrera sur l'observation visuelle des dommages qui évoluent au fil du temps (cf. chapitre 5.6 ou [9]). Les dommages causés par les crues ou d'autres événements ne devraient pas être mis en évidence qu'au moment du contrôle annuel.

Fondamentalement, il s'agit de relever les mêmes modifications de l'ouvrage que pour les barrages en montagne. Mais il faut en outre contrôler visuellement les modifications survenues aux vannes, à leurs moteurs et aux passerelles.

Il est recommandé d'intégrer dans le rapport annuel les particularités et les modifications du concept concernant les équipements et l'exploitation (cf. chapitre 4.3), les contrôles de la centrale électrique (cf. chapitre 5.7), les contrôles annuels irréguliers tels que des enregistrements de l'échosondeur, les inspections de plongeurs, les mesures géodésiques, etc.

6.3 Niveau 3 : examen périodique de la sécurité

Jusqu'à présent, les barrages mobiles de Suisse n'ont pas été soumis comme les grands barrages en montagne aux expertises quinquennales. L'Allemagne demande selon la norme DIN 19700 un contrôle de sécurité approfondi environ tous les dix ans.

Dans [1] «Sécurité des ouvrages d'accumulation. Documentation de base relative à la surveillance et à l'entretien», les directives de l'OFEN concernant l'expertise quinquennale sont définies comme suit:

«Ces rapports [d'examen de la sécurité] 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 de 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 du 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 en 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.»

Ce texte s'appliquerait aussi aux barrages mobiles. Une section supplémentaire concernant l'expert en géologie ne s'appliquera guère aux barrages mobiles, car les données géologiques sont rares pour ceux-ci.

Dans [10] «DIN 19700-10 Stauanlagen – Teil 10: Gemeinsame Festlegungen», l'avant-dernier alinéa de l'article 11 précise ce qui suit:

« Dans le cas de modifications de paramètres introduits dans les analyses pertinentes de sécurité, un examen approfondi doit chaque fois de nouveau être effectué en pre-

nant en compte les valeurs caractéristiques présentement valables et selon les prescriptions techniques en vigueur. »

Le cahier des charges pour l'examen de la sécurité doit être affiné de cas en cas avec les autorités. A cet effet, on trouvera ci-après un inventaire complet des prestations possibles.

Cahier des charges possible

Deux à trois ingénieurs spécialisés issus des domaines de la construction, des constructions hydrauliques en acier, de l'électromécanique et de la technique de commande devront assumer l'examen approfondi de la sécurité.

Il faut étudier les bases de dimensionnement existantes du barrage mobile et les évaluer du point de vue actuel. Il s'agit notamment des bases suivantes :

- **Statistique des crues et crues de dimensionnement**

Il faut examiner si les crues de dimensionnement actuelles, doivent être ré-évaluées sur la base des principes théoriques et des événements de la dernière décennie (voire des dernières décennies).

Le mandat correspondant incombe à l'autorité de surveillance, qui doit garantir que la statistique des crues et les crues de dimensionnement sur les rivières sont mises à jour tronçon par tronçon selon une méthodologie uniforme.

- **Sollicitation de l'ouvrage en cas de crues**

Il convient d'analyser les sollicitations de l'ouvrage en cas de crues au cours des dix dernières années.

- **Dimensionnement hydraulique de l'ouvrage**

Selon les éventuelles corrections des débits de dimensionnement, il peut être justifié de vérifier ou de recalculer la capacité d'écoulement (c'est-à-dire la capacité de débit en fonction de la hauteur de la retenue). L'effet de laminage de la zone de retenue est généralement de si faible importance dans les rivières qu'il peut être négligé.

- **Critères de dimensionnement**

Les critères de dimensionnement de l'ouvrage devraient être récapitulés dans un document et de même que le résumé de toutes les actions importantes prises en compte pour le dimensionnement dans la perspective de la sécurité et de l'aptitude au service. On les désigne aussi souvent de bases de dimensionnement ou de plan d'utilisation et de plan de sécurité.

Ces critères de dimensionnement doivent être examinés et comparés aux nouveaux règlements normatifs dans la perspective de la situation présente de risque et des besoins de l'exploitation.

- **Calculs statiques**

Il faut examiner en priorité les aspects de sécurité globale quant au risque de renversement et de glissement dans les conditions de niveau du plan d'eau déterminantes en cas d'exploitation normale, en cas de surélévation du niveau de la retenue et en cas de séisme. Il faut, ce faisant, prêter particulièrement attention aux forces de sous-pression présentes en fondation (et à leur comparaison avec les mesures actuelles) ainsi qu'aux caractéristiques du

sous-sol. Il ne sera généralement pas possible de vérifier les paramètres des fondations, car il est beaucoup plus difficile d'examiner les aspects géotechniques et géologiques après la construction de l'ouvrage que pendant celle-ci. Les cas de charge à envisager sont particulièrement les séismes et la surélévation du niveau de la retenue, auxquels on a souvent moins porté attention par le passé qu'aujourd'hui. Dans des cas particuliers, les modifications des sollicitations peuvent aussi exiger la vérification des contraintes de certaines composantes.

- Mise à jour de la documentation concernant la **sécurité des équipements et de l'exploitation** (cf. chapitre 4.3).
- **Enumération de toutes les perturbations sérieuses** des dix dernières années qui ont eu une influence sur l'installation de barrage ou qui auraient pu avoir une incidence.
- **Examens supplémentaires de l'ouvrage**, plus approfondis que les appréciations visuelles des contrôles annuels, par exemple au moyen de techniques d'auscultation plus onéreuses ou classification plus détaillée sur la base de contrôles visuels (cf. p. ex. [15] et [16]). De tels examens peuvent être notamment judicieux pour les passerelles des barrages mobiles.
- **Evaluation du comportement du barrage** et de ses fondations durant les dix dernières années (synthèse des résultats des mesures de la dernière décennie et comparaison avec les données des périodes précédentes, évaluation des déplacements particuliers, etc.).
- Examen du **dispositif d'auscultation** et du programme de mesures.
- **Evaluation de l'état du barrage mobile**, de ses ouvrages annexes, de son instrumentation et de ses équipements électromécaniques.
- Mise à jour du **plan d'urgence et du règlement de manœuvre des vannes**.
- Mise à jour de la **monographie**.
- **Résumé de tous les petits dommages** et de **toutes les particularités** relevés année après année, pour autant qu'un document complet à ce sujet n'existe pas encore.

7 PRÉPARATION D'UN RÈGLEMENT-TYPE DE SURVEILLANCE

Dans [1] «Sécurité des ouvrages d'accumulation. Documentation de base relative à la surveillance et à l'entretien», les directives de l'OFEN sont définies comme suit: «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».

Ce document contient en particulier :

- La description de toutes les tâches du ressort de l'exploitant et désigne le responsable et son (ses) remplaçant(s).
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 [1]. Dans l'annexe 1 ci-jointe, cet exemple est transposé au cas d'un barrage mobile.

Notons que le contenu de ce document doit être spécifiquement adapté au cas particulier du barrage mobile considéré.

8 BIBLIOGRAPHIE

Publications de l'Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG), respectivement désormais Office fédéral de l'énergie (OFEN)

- [1] Sécurité des ouvrages d'accumulation. Documentation de base relative à la surveillance et à l'entretien, version 1.0 (décembre 2002) ou version 2.0 (projet d'août 2004)
- [2] Sécurité des ouvrages d'accumulation. Documentation de base relative aux critères d'assujettissement, version 1.0 (juin 2002)
- [3] Sécurité des ouvrages d'accumulation. Documentation de base relative à la sécurité structurale, version 1.0 (août 2002)
- [4] Sécurité des ouvrages d'accumulation. Documentation de base pour la vérification des ouvrages d'accumulation aux séismes, version 1.2 (mars 2003)
- [5] Sécurité des ouvrages d'accumulation. Directive pour la vérification aux séismes: Exemples d'application à des ouvrages de petite hauteur de retenue, mars 2003

Publications du Comité suisse des barrages (CSB)

- [6] Dossier de l'ouvrage d'accumulation [précédemment «Journal du barrage»]. Recommandations pour l'établissement du dossier de l'ouvrage d'accumulation, mai 2005
- [7] Dispositif d'auscultation des barrages. Concept, fiabilité, et redondance, avril 2005
- [8] Mesures de déformation géodésiques et photogrammétriques pour la surveillance des barrages, (1997), (publié en français et en anglais).
- [9] Surveillance de l'état des barrages et check lists pour les contrôles visuels, 1997.

Documentation allemande

- [10] DIN 19700-10 Stauanlagen – Teil 10: Gemeinsame Festlegungen, juillet 2004
- [11] DIN 19700-11 Stauanlagen – Teil 11: Talsperren (Dams), juillet 2004
- [12] DIN 19700-13 Stauanlagen – Teil 13: Staustufen (Weirs), juillet 2004
- [13] DVWK- Merkblatt 216, Betrachtungen zur (n-1)- Bedingung an Wehren, 1990
- [14] DVWK- Merkblatt 249, Betrieb von Verschlüssen im Stahlwasserbau, 1998
- [15] Bundesanstalt für Wasserbau, Merkblatt, Bauwerksinspektion Wehranlagen, Karlsruhe, août 1998

- [16] Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Hambourg, Ilmenau, Merkblatt, Schadensklassifizierung an Verkehrswasserbauten, MSV, février 2007

Annexe

Exemple de consignes pour la surveillance d'un barrage mobile

MODÈLE

..... Lieu/date

Ouvrage d'accumulation
(coordonnées).....

CONSIGNES POUR LA SURVEILLANCE DU BARRAGE MOBILE

Public cible :

Personnel d'exploitation de l'ouvrage d'accumulation

*Le présent règlement-type peut servir de modèle. Selon le type et les dimensions de l'ouvrage d'accumulation ainsi qu'en fonction des conditions environnementales, certains passages du texte doivent être adaptés, complétés ou supprimés.
Les textes en caractères italiques indiquent simplement quelles sont les informations à introduire.*

T A B L E D E S M A T I È R E S

1 ORGANISATION

- 1.1 Surveillance régulière in situ de l'ouvrage d'accumulation
- 1.2 Essais de fonctionnement des vannes du barrage mobile
- 1.3 Surveillance technique permanente et contrôle annuel
- 1.4 Plongeurs
- 1.5 Mesures géodésiques des déformations
- 1.6 Mesures par échosondeur
- 1.7 Contrôle décennal de la sécurité

2 CONTRÔLES ET MESURES

- 2.1 Surveillance in situ du barrage mobile
 - 2.1.1 Equipement électrique et système de commande de l'ouvrage
 - 2.1.2 Contrôle visuel des ouvrages, de leurs environs et de la zone de retenue
 - 2.1.2.1 Tournées ordinaires
 - 2.1.2.2 Tournées en relation avec des événements
- 2.2 Mesures et contrôles

3. INTERPRETATION DES RÉSULTATS DES CONTRÔLES ET RAPPORTS

- 3.1 Résultats des contrôles
- 3.2 Rapport des mesures
- 3.3 Rapport concernant l'état de l'ouvrage
- 3.4 Essais de fonctionnement des vannes

4. DOSSIER DE L'OUVRAGE D'ACCUMULATION

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

- B1 Organigramme pour le contrôle et la surveillance
- B2 Rapports de visites et de mesures
- B3 Événement extraordinaire (organigramme)

^a Non incluses dans le présent document-type (cf. annexes 4 et 5 de [1]).

1 ORGANISATION

1.1 Surveillance régulière in situ de l'ouvrage d'accumulation

Responsable : (év. nom/position/fonction)

(organigramme selon l'annexe).

Suppléant :

Tâches :

Affectation du personnel qui lui est subordonné pour les tâches suivantes :

- réalisation des contrôles visuels et des mesures
- premier dépouillement et transmission des résultats des mesures
- entretien des installations d'auscultation
- contrôle des installations destinées aux mesures géodésiques, dégagement des visées
- tâches spéciales lors d'événements extraordinaires
-

1.2 Essais de fonctionnement des vannes du barrage mobile

Responsable : (év. nom/position/fonction)

Suppléant :

Tâches :

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

La date des essais de fonctionnement doit être à chaque fois communiquée à l'avance par aux autorités de surveillance et au professionnel expérimenté chargé du contrôle annuel.

1.3 Surveillance technique permanente et contrôle annuel

Mandataire/responsable : (professionnel expérimenté).....

Tâches :

- surveillance de l'exécution des contrôles
- dépouillement et interprétation permanents des résultats des mesures
- récapitulation annuelle des résultats des mesures et établissement du rapport des mesures
- exécution des inspections de contrôle annuelles
- recommandation des mesures éventuellement nécessaires
- établissement du rapport sur le contrôle annuel (rapport concernant l'état de l'ouvrage)
- conseil en cas d'un événement extraordinaire

La date du contrôle annuel est fixée (par le professionnel expérimenté, d'entente avec la direction de l'exploitant). Les autorités de surveillance doivent en être informées à temps par

Le contrôle ne doit pas toujours être effectué à la même période.

(Si de nombreuses valeurs sont mesurées, la saisie de ces valeurs et le contrôle annuel peuvent être répartis entre différentes personnes.)

1.4 Plongeurs

Aux fins d'élimination de désordres et pour des inspections, on recourt à l'entreprise de plongée suivante : (nom et no de téléphone)

Les plongeurs suivants sont familiarisés avec le barrage mobile :
 (noms, prénoms)

1.5 Mesures géodésiques des déformations

Mandataire :

Tâche :

- exécution des mesures géodésiques des déformations et établissement du rapport.
 (direction de l'exploitant) ordonne les mesures géodésiques des déformations conformément au programme visé au point 2.3.

Le mandataire peut demander des mesures supplémentaires.

1.6 Mesures par échosondeur

Mandataire :

Tâche :

- exécution des mesures par échosondeur et établissement du rapport.
 (direction de l'exploitant) ordonne les mesures par échosondeur conformément au programme visé au point 2.3

Le mandataire peut demander des mesures supplémentaires.

1.7 Contrôle décennal de la sécurité

Le contrôle décennal de la sécurité aura lieu les années suivantes :
, etc.

Ces contrôles seront organisés par la direction de l'exploitant, d'entente avec les autorités de surveillance et le professionnel expérimenté.

2 CONTRÔLES ET MESURES

2.1 Surveillance du barrage mobile in situ

2.1.1 Equipement électrique et système de commande de l'ouvrage

Indication et enregistrement des valeurs : au poste de commande de l'aménagement, le personnel de l'exploitant contrôle fois par quant à leur plausibilité les valeurs relevées automatiquement du niveau de la retenue, du niveau de l'eau à l'aval et du débit turbiné par la centrale électrique et du barrage mobile. La personne responsable est(nom)

Test de la réserve de puissance pour l'exploitation du barrage mobile : les groupes électrogènes de secours ou les moteurs à entraînement direct nécessaires à l'exploitation du barrage doivent être régulièrement mis en marche, par exemple (indication des périodes) ; il faut régulièrement contrôler le niveau du carburant dans le réservoir, consigner le résultat dans un procès-verbal et veiller à remplir le réservoir. Si possible, les groupes électrogènes de secours devraient fournir du courant au réseau lors des tests ou les essais devraient s'effectuer au moins une fois par an avec les vannes.

La personne responsable est (nom).....

Capacité des batteries de l'installation AEI : il faut solliciter les batteries tous les
(*indication de la période*). Il faut tenir le journal du fonctionnement et de l'entretien des batteries. La personne responsable est (nom)

Dérangements du système de commande de l'ouvrage : il faut relever les dérangements du système de commande du barrage provoqués par l'automatisme ou par un membre du personnel. La personne responsable est (*nom*)

.....(éventuellement autres aspects).....

2.1.2 Contrôle visuel des ouvrages, de leurs environs et de la zone de retenue

2.1.2.1 Tournées ordinaires

L'équipe d'exploitation responsable effectue une tournée d'inspection..... (*au moins une fois par semaine*) de manière à contrôler visuellement l'état général de la centrale électrique et du barrage mobile, culées comprises (et éventuellement des digues latérales au moins une fois par mois).

Il faut en particulier prêter attention aux points suivants :

Vannes et écoulements

- Déformations des vannes, dommages aux moteurs, dommages éventuels aux passerelles de service inférieures
- Contrôle du barrage mobile sous l'angle de l'effet des vibrations
- Appréciation des zones d'écoulement en amont et en aval quant à d'éventuelles anomalies
- Relevé d'un éventuel tapis de matières flottantes et de la configuration de l'écoulement

Structures

- Venues d'eau et formation de concrétions sur la surface aval de la structure
- Formation de fissures, d'écailles, d'éclats et apparition de phénomènes de désagrégation
- Modification de fissures existantes
- Contrôle des ouvrages de fermeture latéraux à l'aval
- Déformations en surface (aspérités, bombements, affaissements, gauchissements, tassements) dans le secteur des culées ou des éventuelles digues latérales
- Modifications de l'enrochement (cassure des arêtes des blocs, déplacement de certains blocs sous l'effet de la pression, élargissement des espaces entre les blocs)
- Zones humides ou venues d'eau à la surface des talus aval des éventuelles digues latérales, présence exceptionnelle de végétation
- Il faut contrôler la zone de retenue à intervalles réguliers pour déceler les glissements potentiels de terrain, d'éventuels arbres instables sur la rive ou d'autres faits marquants
-

2.1.2.2 Tournées en relation avec des événements

L'équipe en charge de l'exploitation procédera aux principaux contrôles suite aux événements suivants :

- **Séisme nettement perceptible** ou séisme annoncé par des tiers¹ : le service de piquet doit intervenir sans délai et contrôler le barrage mobile pour déceler d'éventuels dommages :
 - contrôle visuel de la cote de retenue en observant la zone de retenue
 - contrôle de l'alimentation en énergie et des indications des sondes de mesure
 - contrôle des moyens de communication
 - contrôle du mécanisme d'entraînement des vannes quant à d'éventuels déplacements ou déformations
 - contrôle des vannes quant à de nouvelles pertes d'eau ou déformations
 - contrôle de la zone aval en ce qui concerne d'éventuels écoulements inhabituels ou venues d'eau dans le secteur des deux culées; contrôle des sources à proximité des éventuelles digues latérales
 - contrôle des structures de l'ouvrage (apparition de nouvelles fissures, déformations de joints)

- **Crue**
Il faut contrôler l'ouvrage au moins une fois par jour, notamment les points suivants :
 - Déformations des vannes, dommages aux moteurs, éventuellement dommages aux passerelles inférieures
 - Contrôle du barrage mobile sous l'angle de l'effet des vibrations
 - Appréciation des zones d'écoulement en amont et en aval pour y déceler d'éventuelles anomalies
 - Contrôle des ouvrages de fermeture latéraux à l'aval
 - Relevé d'un éventuel tapis de matières flottantes et de la configuration de l'écoulement en vue de modifier éventuellement la position des vannes
 - Il faut en outre garantir que le poste de commande soit en mesure de relever immédiatement les défaillances éventuelles de la mesure du niveau de la retenue

- **Suite à l'interruption de l'exploitation d'un barrage mobile**
Il faut contrôler les points suivants :
 - fuites d'eau des vannes et éventuellement faibles courants en profondeur comme indices de points non étanches des vannes
 - troncs d'arbres coincés, morceaux de bois
 - dommages éventuels, identiques à ceux visés sous la rubrique «crue»; en particulier dommages dans les zones plus profondes, qui apparaissent lorsque le niveau de l'eau à l'aval baisse.

- **En cas de gel persistant**
Selon l'état des vannes (fuites) et les températures, il faut contrôler quotidiennement ou tous les 2-3 jours si les vannes sont givrées.
En cas de nécessité, la glace doit être dégagée, notamment en cas de risque que la capacité des vannes de la centrale soit réduite en raison de la charge trop grande de la glace ou du blocage causé par la glace et ne puisse être compensée par le barrage mobile.

¹ Les autorités de surveillance sont renseignées par le Service sismologique suisse en cas de séisme d'une magnitude M supérieure à 3 et elles informent les exploitants concernés d'ouvrages d'accumulation, pour autant que leur barrage ait été affecté par une intensité supérieure à 4 sur l'échelle MSK.

- **En l'absence de vent et si l'installation est hors service**
En l'absence de vent et si l'exploitation est interrompue, les courants éventuels dus aux infiltrations sont le mieux perceptibles. Il faut périodiquement contrôler ce point.
- **En cas de transparence extraordinaire de l'eau**
Les bonnes conditions de rare visibilité doivent être exploitées pour procéder à des observations de contrôle à travers l'eau ou pour engager des plongeurs aux fins de contrôles ou de réparations.

2.2 Mesures et contrôles

Le tableau ci-après fournit une vue d'ensemble des mesures et contrôles à tableau effectuer.

Pos.	Mesure de surveillance	Lieu, objet du contrôle	Responsabilité	Exécution (objet et modalités)	Périodicité
1.	Mesure des sous-pressions	Deux piézomètres dans chaque pile	Saisie : exploitant Evaluation : ing	Mesure des niveaux d'eau dans les piézomètres par sonde à témoin lumineux ou sonore Relevé des niveaux de l'eau à l'amont et à l'aval	les premiers mois après quelques mois chaque semaine mensuellement
2.	Surveillance géodésique	Chaque pile à l'amont et mesure initiale à l'aval	Géomètre spéc.	Saisie des mouvements en planimétrie et de rotation de chaque pile	Mesure d'hiver 1, an 01 Mesure d'été 1, an 02 après 1,5 an Mesure d'hiver 2, an 04 après 3 ans Mesure d'été 2, an 05 après 4,5 ans Mesure d'été 3, an 10 puis tous les 5 ans tous les 5 ans
3.	Nivellement des passerelles du barrage	Déplacement relatif de 2 points au milieu de la travée vers les culées	Géomètre	Identification d'éventuelles sollicitations excessives et d'importante corrosion de l'acier du béton de la passerelle.	tous les 5 ans
4.	Surveillance des ancrages des piles	Ancrage de mesure Tirant de contrôle	Exploitant Entreprise de génie civil spécialisée	Mesure de la force d'ancrage au moyen d'une cellule de mesure intégrée Cellule de mesure de force sur le tirant de contrôle	chaque année tous les 5 ans
5.	Contrôle du fonctionnement	Vannes et moteurs de vannes	Saisie : exploitant Evaluation : ing	Vitesse d'ouverture/fermeture ainsi que pression de l'huile + consommation de courant lors du levage/abaissement	chaque année
6.	Contrôle annuel	Piles du barrage mobile, piles, vannes, moteurs et équipements électromécaniques	Professionnel (ing. civ. spéc.)	Domages (déformations) aux vannes et à leurs accessoires, corrosion des structures en acier et év. de l'acier d'armature, fissures, venues d'eau, nouvelles concrétions de carbonate de calcium, dégâts dus au gel, éclats, indices de RAG, dommages aux joints, sources ou tassements dans les secteurs des culées ou des digues latérales, état d'entretien, fuite d'huile, etc.	chaque année
7.	Relevés par échosondeur	Envasement dans la zone de retenue et érosion du lit de la rivière Affouillement dans la zone de proximité du barrage	géomètre spéc. géomètre spéc.	Levé de profils transversaux (et évent. de profils longitudinaux) de toute la zone de retenue en amont du barrage Saisie à petite échelle des profils transversaux et longitudinaux pour représenter le plan des courbes de niveau à proximité de l'ouvrage	tous les 10 ans après une crue importante ou tous les 5 ans
8.	Contrôle des plongeurs	A l'aval de l'ouvrage A l'amont de l'ouvrage	plongeur et ing. plongeur et ing.	Radier, secteur de contact des vannes, zones d'instabilité, extrémité des piliers, protections contre l'affouillement, contact avec le rocher Avant-becs des piles, affouillement, radier, évent. contact avec rocher	après chaque relevé par échosondeur à proximité et par de bonnes conditions de visibilité (après une crue ou tous les 5 ans) selon les besoins

3. INTERPRETATION DES RÉSULTAT DES CONTRÔLES ET RAPPORTS

3.1 Résultats des contrôles

Des rapports sont établis à la suite de tous les contrôles, de toutes les mesures et de tous les travaux de réparation éventuels.

(Contenu: - nom de l'observateur, date, météo, débit du cours d'eau et du barrage mobile, niveaux d'eau en amont et en aval de l'ouvrage
- étendue des contrôles et résultats)

Les résultats des mesures sont reportés dans des tableaux de façon claire et des valeurs sélectionnées sont graphiquement représentées.

Les originaux des procès-verbaux sont classés dans le dossier de l'ouvrage d'accumulation.

Une copie sera transmise au professionnel expérimenté dans les meilleurs délais après le contrôle ou la mesure (selon chiffre 1.3), dans le but de la surveillance permanente et du contrôle annuel.

3.2 Rapport des mesures

Le professionnel expérimenté examine les résultats des contrôles dans le délai d'une semaine à compter de leur réception. Ces résultats seront récapitulés dans le rapport annuel.

3.3 Rapport concernant l'état de l'ouvrage

Le professionnel expérimenté établira un rapport du contrôle annuel, qui sera intégré dans le rapport annuel.

3.4 Essais de fonctionnement des vannes

Le mandataire (selon chiffre 1.2) établit un rapport sommaire sur les essais de fonctionnement des organes de décharge et des organes mobiles de l'évacuateur de crues.

L'original doit être conservé dans le dossier de l'ouvrage d'accumulation (journal du barrage) et une copie en sera adressée (aux autorités de surveillance)..... et à la personne chargée du contrôle annuel.

Les points reportés sous chiffres 3.2 (Rapport des mesures), 3.3 (Rapport concernant l'état de l'ouvrage) et 3.4 (Essais de fonctionnement), ainsi que d'éventuelles études supplémentaires doivent être résumés dans le rapport annuel et transmis en exemplaires au plus tard trois mois après la clôture de l'exercice à (propriétaire du barrage).

Un exemplaire en sera conservé dans le dossier de l'ouvrage d'accumulation (journal du barrage), tandis qu'une copie sera adressée sans tarder par aux autorités de surveillance.

4. DOSSIER DE L'OUVRAGE D'ACCUMULATION

Le dossier de l'ouvrage d'accumulation doit être tenu conformément aux recommandations du Comité suisse des barrages².

Responsable de la complétude et de la mise à jour continue du dossier :

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

5. ÉVÉNEMENT EXTRAORDINAIRE

5.1 Définition de l'événement extraordinaire

Un événement extraordinaire se présente

- si les contrôles et les mesures font apparaître des divergences par rapport au comportement normal de l'ouvrage,
- en cas de crue extrême,
- en cas de glissement de terrain dans le secteur des rives présentant un potentiel de danger pour l'ouvrage ou pour des tiers,
- suite à un séisme fortement ressenti ou annoncé par des tiers,
- lorsqu'un organe de décharge ne peut plus être fermé.

En de tels cas, la personne qui constate l'événement extraordinaire doit en informer immédiatement l'une des personnes suivantes:

.....
ou, si inatteignable

La personne ainsi contactée évaluera s'il s'agit d'un événement extraordinaire.

5.2 Résultats singuliers des mesures

S'il s'agit de résultats de mesures non conformes, le personnel d'exploitation répète les mesures sans délai. Au cas où le résultat se confirme, le personnel d'exploitation vérifie le fonctionnement correct de l'installation de mesure. Il informe les personnes citées au point 5.1 si un défaut apparaît.

5.3 Information (organigramme selon annexe 3)

Si un événement extraordinaire est constaté (personne chargée d'informer)..... en informera immédiatement:

- les autorités de surveillance,
- (professionnel expérimenté/mandataire pour le contrôle annuel)

² Cf. *Recommandations du Comité suisse des barrages (CSB) pour l'établissement du dossier de l'ouvrage d'accumulation*; Comité suisse des barrages, mai 2005.

En cas de débit non contrôlé ou qu'une telle situation est imminente, la direction de l'exploitant informe d'abord directement le service de piquet de la police cantonale et

5.4 Contrôles et mesures complémentaires

En cas d'événement extraordinaire, il faut procéder aux contrôles et mesures complémentaires suivants (*spécifier quels contrôles et quelles mesures*).

- En cas de comportement anormal de l'ouvrage :
- En cas de crue extrême: (*contrôle visuel de l'évacuateur de crue, du bassin de dissipation, de l'écoulement, ...; stabilité des versants, etc.*) :
- En cas de séisme fortement ressenti ou annoncé par des tiers: (*contrôle visuel de l'ouvrage et de ses environs, mesure du débit total des eaux d'infiltration, etc.*)
-

5.5 Mesures à prendre

..... (le responsable de l'exploitation/la direction)..... ordonne les mesures à prendre en cas d'événement extraordinaire:

- (*responsable de l'exploitation/*)
- (*suppléant*)

Dans la mesure du possible, les mesures seront ordonnées d'entente avec (*les autorités de surveillance*)

.....

..... Signature