

# Surveillance des ouvrages d'accumulation : conception générale du dispositif d'auscultation

Autor(en): **Pougatsch, Henri**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **94 (2002)**

Heft 9-10

PDF erstellt am: **11.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-939651>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Surveillance des ouvrages d'accumulation

## Conception générale du dispositif d'auscultation

■ Henri Pougatsch

### 1. Introduction

Le dispositif d'auscultation, comme les contrôles visuels et les essais de fonctionnement, sont les composantes essentielles d'une surveillance adéquate d'un ouvrage d'accumulation. Ces tâches permettent par ailleurs d'assurer la sécurité de ce type d'ouvrage. Le dispositif d'auscultation est donc incontournable et son étude se fait déjà au stade du projet. Il est bon de mentionner que le dispositif d'auscultation ne remplace pas les contrôles visuels.

Le présent article a pour objectif de présenter les points principaux qui régissent la conception et la réalisation du dispositif d'auscultation d'un ouvrage d'accumulation. Il indique les buts recherchés (pourquoi mesurer), mentionne quels sont les paramètres représentatifs qui doivent être relevés (que mesurer), décrit les moyens disponibles pour les mesures (comment mesurer) et fixe le programme de mesure (quand mesurer).

### 2. Pourquoi mesurer?

Le dispositif d'auscultation poursuit fondamentalement les objectifs suivants:

- exécuter des contrôles pendant la construction et le premier remplissage,
- exécuter des contrôles pendant l'exploitation,
- détecter à temps toute anomalie du comportement,
- disposer de renseignements complémentaires en cas d'anomalie de comportement (le cas échéant, la mise en place d'une instrumentation complémentaire peut s'avérer nécessaire),
- compléter et améliorer les connaissances de l'ingénieur (recherches techniques ou scientifiques, prévisions analytiques, analyse de risque).

### 3. Que mesurer?

Le dispositif d'auscultation est un système de mesure judicieusement conçu permettant de juger, par le suivi de paramètres représentatifs, le comportement de l'ouvrage de retenue et de ses fondations en regard des charges qui les sollicitent.

Le dispositif d'auscultation doit être conçu de telle façon qu'il soit possible de mesurer tant les charges qui sollicitent l'ouvrage (causes) que les différents paramètres (gran-

deurs) qui caractérisent le comportement d'un ouvrage de retenue (conséquences) (Figure 1).

En ce qui concerne les sollicitations extérieures, elles sont les suivantes:

- la charge hydrostatique par la mesure du niveau du plan d'eau,
- la charge des sédiments,
- la température de l'eau,
- les conditions climatiques (température de l'air, pluviométrie, hauteur de neige),
- les conditions sismiques.

Ces charges directes et les conditions extérieures vont engendrer

- des déformations,
- des variations de température particulièrement dans le corps d'un ouvrage en béton,
- des pressions (sous-pressions, pressions interstitielles) et
- des infiltrations (percolations).

Le Tableau 1 donne les principaux paramètres significatifs qui doivent être relevés et les contrôles à effectuer pour suivre le comportement des barrages en béton et en remblai, ainsi que celui de leurs fondations.

### 4. Comment mesurer?

#### 4.1 Rappel de quelques principes

Lors de la conception d'un dispositif d'auscultation, il est important de suivre quelques principes de base, entre autres:

- Le barrage et ses fondations constituent un ensemble. Toutefois, le dispositif d'auscultation doit permettre de distinguer clairement le comportement du barrage de celui de ses fondations et de ses environs.
- Le dispositif d'auscultation est adapté aux particularités et à l'importance de l'ouvrage d'accumulation.
- Il n'y a pas de règle pour définir le nombre d'appareils de mesure nécessaires pour assurer un suivi satisfaisant du comportement.
- 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 ou modernisé.

Signalons enfin qu'il faut prendre

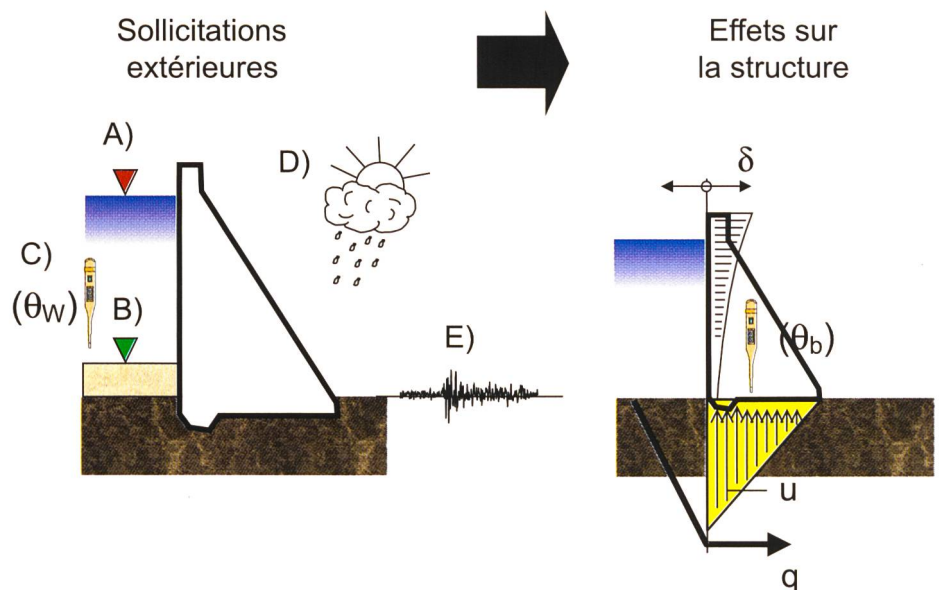


Figure 1. Effets sur la structure des sollicitations extérieures. Legende: Sollicitations extérieures: A) charge hydrostatique; B) charge des sédiments; C) température de l'eau; D) conditions climatiques (température de l'air, pluie, neige); E) conditions sismiques. Effets des charges: déformations ( $\delta$ ); températures du béton ( $\theta_b$ ); infiltrations ( $q$ ); sous-pression ( $u$ ) et pressions interstitielles.



Barrage en béton	Barrage en remblai	Fondations
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)	
Sous-pressions (au contact béton-fondation et dans le rocher)	Pressions interstitielles dans le corps du barrage en remblai et niveau piézométrique	Pressions interstitielles  Sous-pressions au contact béton-fondation  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 1. Paramètres significatifs et contrôles pour le suivi d'un ouvrage de retenue et de ses fondations.**

garde, en cas de changement ou de remplacement des appareils de mesure, à assurer la continuité des mesures.

#### 4.2 Choix et caractéristiques des appareils de mesure

Le choix des appareils de mesure dépend des paramètres à observer, du mode de construction de l'ouvrage et des possibilités d'installation. Le choix doit être adapté à chaque cas spécifique.

La priorité doit cependant 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 environne-

mentales: 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, ils doivent être

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

Pour parer à des pannes ou défaillances, il est recommandé de prévoir des mesures redondantes de certains paramètres (par exemple, la mesure des déformations).

En ce qui concerne la fiabilité des appareils de mesure, le taux de défaillance est

Pour tous les ouvrages	Pour les barrages en béton	Pour les barrages en remblai
Niveau du plan d'eau	Déformations caractéristiques (par exemple, déformation totale dans une section)	Débits de percolation et de drainage caractéristiques (par exemple, débit total)
Conditions météorologiques (précipitations)	Température du béton	Pressions interstitielles
	Débits de fuite et de drainage en des points particuliers	Turbidité des eaux de percolation

**Tableau 2. Paramètres pouvant faire l'objet d'une mesure continue.**

très variable et dépend du type d'instrument. On constate qu'il est relativement faible sur nos ouvrages.

#### 4.3 Automatisation et transmission

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. Un système automatique de mesure peut être utile en cas d'accès difficile au site du barrage, surtout en hiver, de même que pour la mesure de points dont l'emplacement est d'un accès peu commode.

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.

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 caractéristiques.

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.

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'un système de mesure permanente, les informations qui figurent dans le Tableau 2 sont utiles pour conduire une analyse à distance du comportement.

Il est indiqué de sauvegarder 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). Il faut veiller que l'information sortant de rapports édités automatiquement soient libres d'erreurs.

Enfin, il est important de procéder à une vérification périodique de fonctionnement d'un dispositif automatique (inspection sur place, test à distance). Un dysfonctionnement d'une partie de l'installation pourrait entraîner la perte fâcheuse de données.



#### 4.4 La mesure des déformations des barrages en béton et en remblai

Il faut distinguer les mesures qui permettent de saisir une information sur la déformation globale de l'ouvrage de retenue de celles qui permettent la mesure de points particuliers (par exemple, les mouvements de joints ou de fissures). Seul le premier cas est abordé ici.

De manière générale, une surveillance adaptée des déformations requiert un dispositif de mesure spatial, qui permet de recueillir des informations sur les déplacements altimétriques et planimétriques de points choisis.

Les points de contrôle ou de mesure sont situés sur le couronnement et dans les galeries, sur les parements ou sur les talus, ainsi que sur le terrain (environs du barrage). Dans le cadre de la surveillance courante, on se limite au suivi des mouvements de points situés au niveau du couronnement (Figure 2).

Les déformations verticales au niveau du couronnement peuvent être déterminées au moyen d'un nivellement. Les mouvements dans le plan sont obtenus par des mesures d'alignement ou mieux par des polygonales, de même par des mesures d'angles et de distance.

Lorsque le barrage en béton comporte des galeries de contrôle et des puits, il est possible de générer un système orthogonal pour des mesures selon des verticales et des horizontales. Dans la mesure du possible, les lignes de mesure doivent englober la fondation (Figure 3).

En l'absence de puits, on peut obtenir les mêmes résultats en installant des cibles réparties sur le parement aval.

Les déformations le long d'une ligne verticale peuvent être obtenues par la mesure de pendules. En l'absence de puits, une tech-

nique de forage permet de réaliser un forage en garantissant sa verticalité; il existe aussi la possibilité de faire glisser un guide-fil auto-centreur le long d'un tube rainuré, pour obtenir des points fixes à différents niveaux. Les déformations le long d'une galerie horizontale peuvent s'obtenir par des mesures de polygonales, le nivellement permettant d'obtenir des indications relatives aux mouvements verticaux. Ces déplacements connus, il est alors facile d'obtenir les déformées le long de lignes horizontales et verticales.

Pour les barrages en remblai, il s'agit en premier lieu de suivre les mouvements de tassements grâce à des mesures de nivellement (Figure 4). Par des mesures de distances et d'angles ou des polygonales et des mesures d'alignement, il sera possible de déterminer les mouvements horizontaux (Figure 5).

Lorsque les points de mesure sont implantés sur le couronnement et dans les galeries, sur les parements ou sur les talus, on obtient des déplacements relatifs. La géodésie présente l'avantage de déterminer des déplacements absolus d'un grand nombre de points. Elle permet la mesure de déplacements d'un ensemble de repères par rapport à un réseau de stations supposées «fixes». Toutefois, il faut admettre que la géodésie demande un dépouillement long et fait appel à des spécialistes (bien que certaines mesures puissent être conduites par le personnel de l'exploitant). En outre, les conditions météorologiques et saisonnières jouent un rôle.

Pour réaliser un réseau de mesures géodésiques (Figure 6), il faut que les points fixes du réseau extérieur soient entre autres

- implantés hors de la zone d'influence de l'ouvrage de retenue,
- situés tant à l'amont qu'à l'aval (au moins 4 points),
- constitués par des piliers en béton.

Par ailleurs, leur emplacement doit être fixé en collaboration avec le géologue et l'ingénieur. En outre, il ne faut pas oublier de rattacher au réseau les pendules et les têtes des extensomètres.

En outre, le système GPS offre une méthode élégante pour intégrer au réseau de contrôle, hors de la zone de déformation, des points géologiques stables. Le rattachement à des réseaux géodésiques existants peut être mesuré avec la méthode terrestre conventionnelle ou le GPS. La combinaison avec les mesures géodésiques terrestres constitue un réseau hybride.

#### 4.5 La mesure des températures des barrages en béton

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 de ces 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.

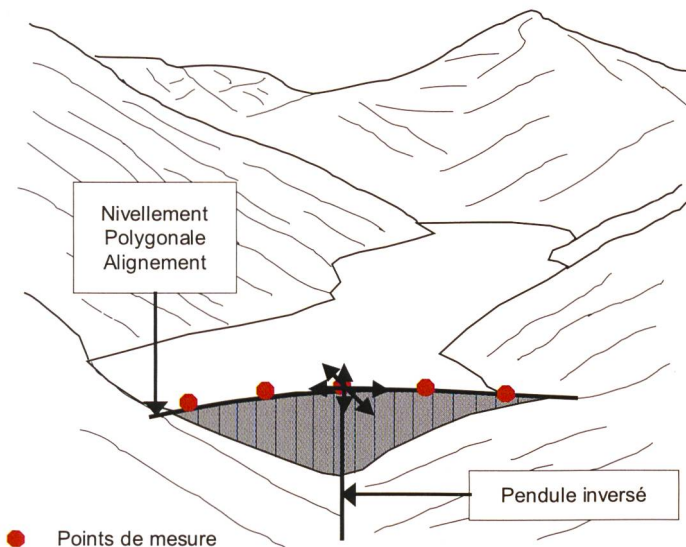


Figure 2. Barrage en béton. Mesure des déformations au niveau du couronnement.

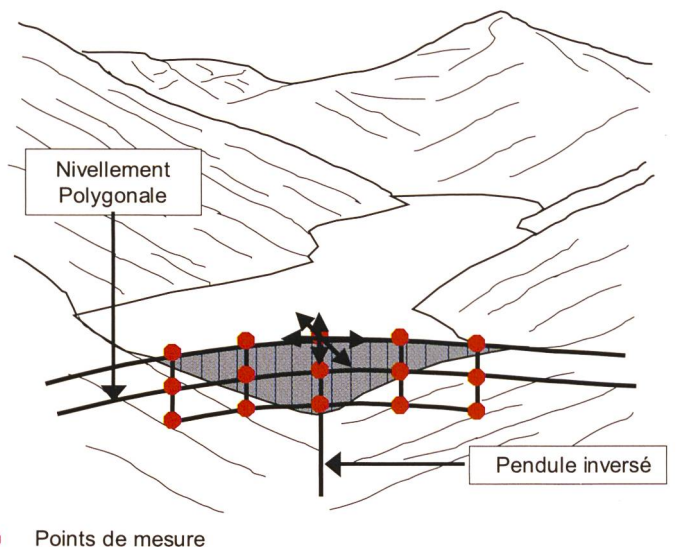


Figure 3. Barrage en béton. Mesure des déformations selon un réseau orthogonal.



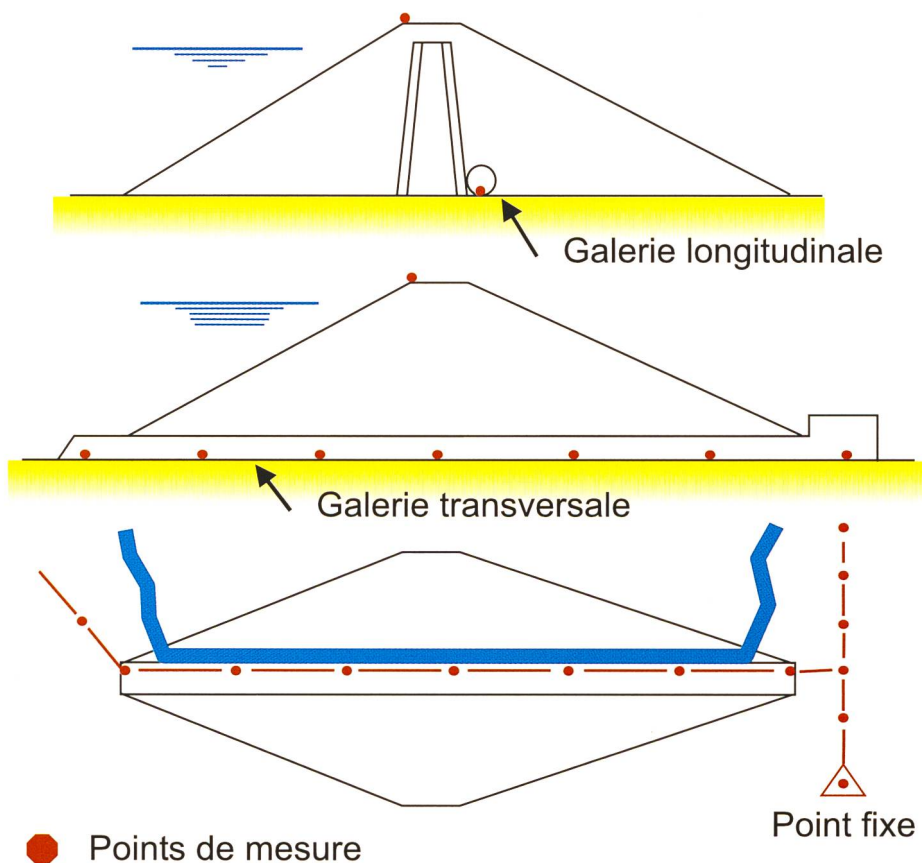


Figure 4. Barrage en remblai. Mesure des déformations par nivellement au niveau du couronnement et dans une galerie.

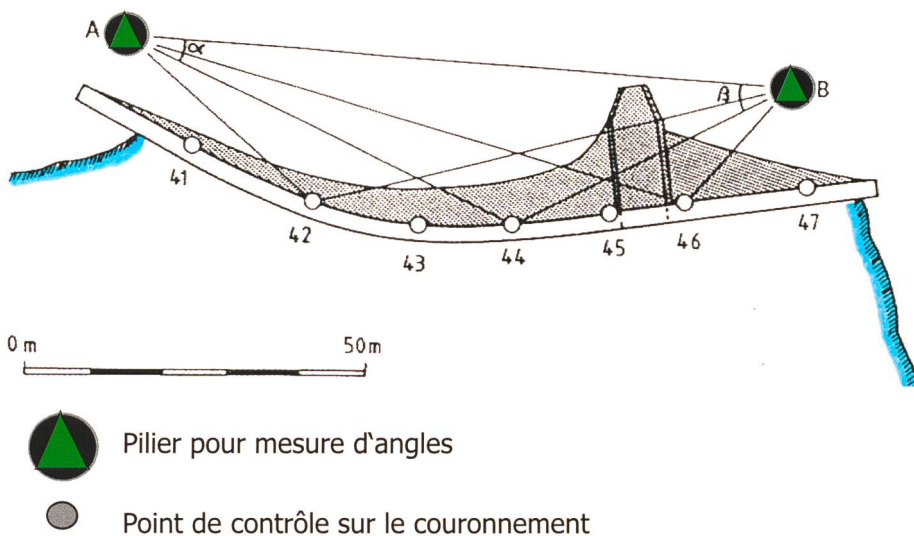


Figure 5. Barrage en remblai. Mesure des déformations par mesures d'angle et de distances.

#### 4.6 La mesure des percolations (infiltrations)

Toute retenue provoque des infiltrations à travers l'ouvrage de retenue et dans le sous-sol (même en présence d'un voile d'injection). Une augmentation inhabituelle du débit d'infiltration peut signifier l'existence d'un danger potentiel.

Il est important de suivre le débit total à travers l'ouvrage de retenue. On cherche aussi à effectuer des mesures de débits partiels, afin de localiser une zone particulière

en cas de comportement anormal (Figure 7). Pour les barrages en remblai, on complète les mesures de débit par des contrôles de qualité des eaux, tels que la mesure de turbidité et des analyses chimiques.

#### 4.7 La mesure des pressions

Les infiltrations sous un barrage en béton conduisent à l'apparition de sous-pression qui s'oppose à l'effet stabilisant du poids propre. Généralement il suffit de déterminer ces sous-pressions au niveau du contact

béton-rocher et répartir les mesures en plusieurs points distribués d'amont vers l'aval pour suivre la réduction d'amont vers l'aval. Dans certains cas, il est recommandé de mesurer les pressions à différentes profondeurs (Figure 8).

L'écoulement des infiltrations à travers d'un barrage en remblai et dans son sous-bassement est à l'origine de pressions interstitielles qui sont d'une importance capitale pour la stabilité de l'ouvrage (Figure 9). Le contrôle de l'évolution des infiltrations peut aussi se faire par la mesure de la ligne de pression (nappe phréatique) qui est un paramètre important du comportement (Figure 10). Le niveau de la nappe phréatique à l'aval fait aussi partie du dispositif d'auscultation.

#### 4.8 Surveillance hors «zone» de l'ouvrage de retenue

Cette surveillance englobe des mesures (déformations du terrain, venues d'eau) et des observations visuelles. Elle intéresse 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.

Dans la zone située directement au pied aval du barrage, le relevé (topographique, bathymétrique en cas de présence d'eau) des éventuels affouillements sera périodiquement effectué (tous les 5 à 10 ans) ou suite à une crue exceptionnelle. Par ailleurs, dans la zone aval, il est aussi indiqué de procéder au relevé des débits des résurgences ou des sources et éventuellement à la mesure de fluctuation d'une nappe phréatique.

Dans le cas où la tendance de dépôts de sédiments dans la retenue serait marquée, il est important de relever leur niveau, 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, dont la fréquence dépend de l'ampleur des apports en sédiments.

Enfin, dans la zone de la retenue, il s'agit d'observer les zones instables, qui en cas de glissement pourraient provoquer une vague et un débordement par-dessus le couronnement. Dans ce cas, on peut recourir à des mesures de triangulation (variation spatiale des déplacements de points en surface), des mesures de distance entre plusieurs points, des mesures par inclinomètre pour suivre les déformations en profondeur.

### 5. Quand mesurer?

#### 5.1 Introduction

Le programme de mesures doit fournir des informations en quantité suffisante pour évaluer le comportement de l'ouvrage. Il doit être adapté aux dimensions de l'ouvrage. Il sera



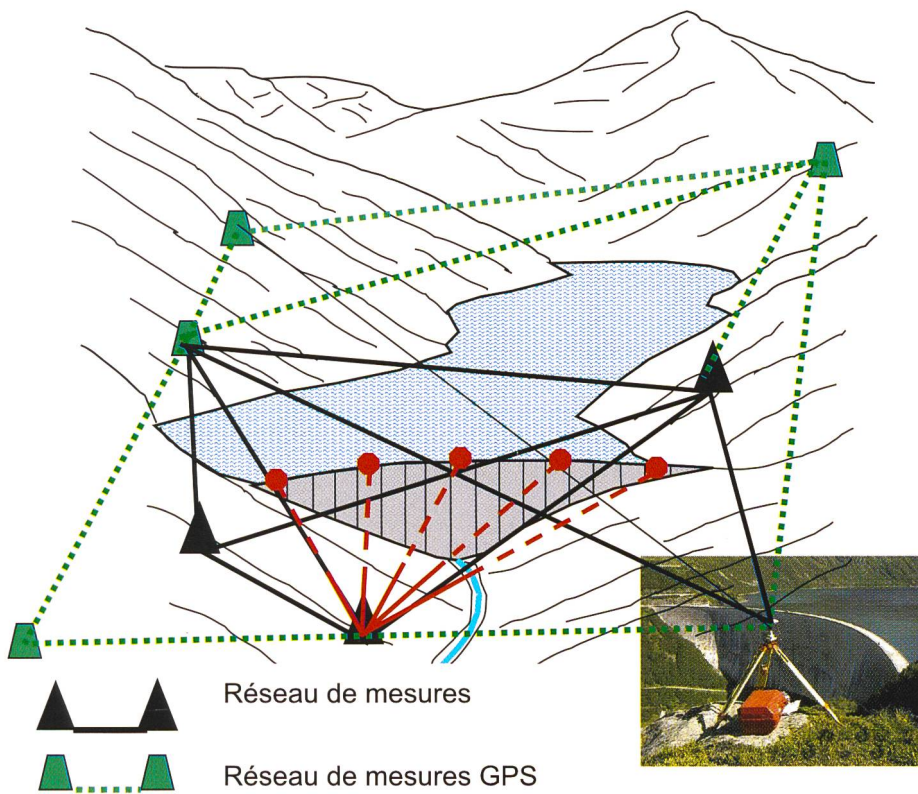


Figure 6. Schéma de réseaux de mesures géodésiques.

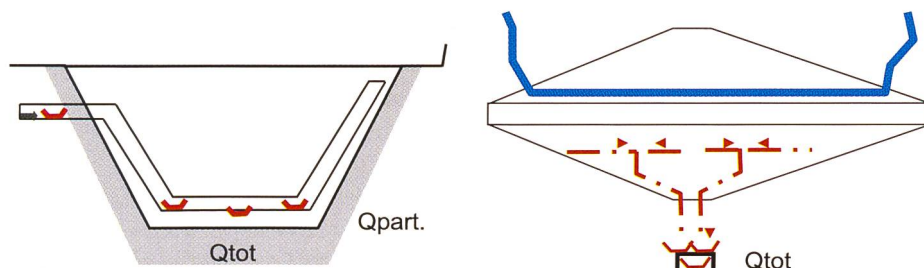


Figure 7. Barrages en béton et en remblai: Mesures des débits d'infiltration totaux  $Q_{tot}$  et partiels.

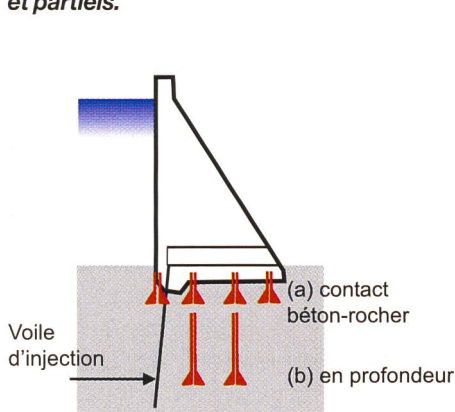


Figure 8. Barrage en béton. Mesures des sous-pressions au contact béton-rocher (a) et en profondeur (b).

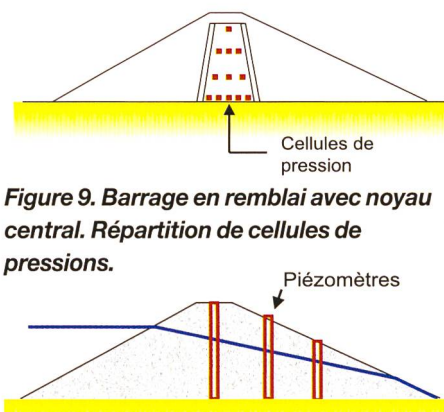


Figure 9. Barrage en remblai avec noyau central. Répartition de cellules de pressions.

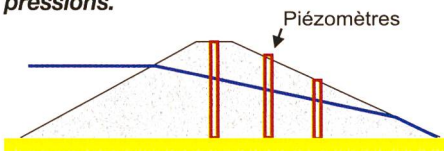


Figure 10. Barrage en remblai homogène. Relevé de la ligne de saturation par des mesures piézométriques.

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 par exemple après un séisme ou une crue. Par ailleurs, en cas

d'anomalie ou de comportement particulier, le rythme des mesures sera plus élevé.

### 5.2 Ouvrages d'une hauteur de retenue égale ou supérieure à 10 m

Pour répondre au mieux à l'objectif de mettre rapidement en évidence une anomalie, 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).

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 ou plusieurs fois par an pour suivre l'évolution des déformations.

### 5.3 Ouvrages d'une hauteur de retenue inférieure à 10 m

Le programme pour des ouvrages de petite hauteur de retenue 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. En ce qui concerne les venues d'eau et le relevé de niveaux piézométriques, il est recommandé d'effectuer au moins une mesure mensuelle. 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.

#### Bibliographie

Comité national suisse des grands barrages. Groupe de travail pour l'observation des barrages. Dispositif d'auscultation des barrages. Projet, fiabilité et redondance. «eau, énergie, air» 1986, Heft 7/8.

Version française de la conférence présentée dans le cadre des journées d'étude 2002 de Coire organisées par le Groupe de travail «Observation des barrages» du Comité suisse des barrages. Ce texte se base également sur le document cité dans la bibliographie et le projet de directives et de documentation de base de l'OFEG.

Adresse de l'auteur

Henri Pougatsch, section «Barrages», Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG), CH-2501 Bienne.