

PARTIE 2 EQUIPEMENTS ET METHODES DE MESURES



Mesures géodésiques au barrage-voûte de Contra
(Source. Schneider Ingénieurs SA, Coire)

Explication des tableaux

1^{ère} colonne: Référence partie 3

Les feuilles de commentaires de la partie 3 indiquent pour les différents appareils et méthodes de plus amples indications telles que brève description, possibilités de redondance, exigences techniques, dérangements possibles et erreurs de mesure, contrôles de fonctionnement indispensables et autres remarques.

2^e colonne: But

Dans cette colonne sont indiqués les buts des mesures déterminant les paramètres du comportement des barrages en béton et en remblai selon la nature des charges et des réactions.

3^e colonne: Equipements, appareils et méthodes de mesures

Pour chaque type de mesure, les appareils et les méthodes les mieux adaptés et les plus usuels sont mentionnés.

4^e colonne: Exigences

Les conditions exigées pour les appareils et les méthodes sont définies comme suit:

F - Une grande *fiabilité* est demandée pour la détermination des valeurs des mesures qui sont indispensables pour une surveillance parfaite des barrages et qui doivent de ce fait être disponibles en tout temps.

L - Pour les valeurs de mesures importantes - en plus de la redondance - la *longévité* du dispositif d'auscultation est nécessaire; le renouvellement de l'équipement ou le rattachement aux mesures antérieures ne doit pas conduire à une perte de temps trop importante ou à une impossibilité.

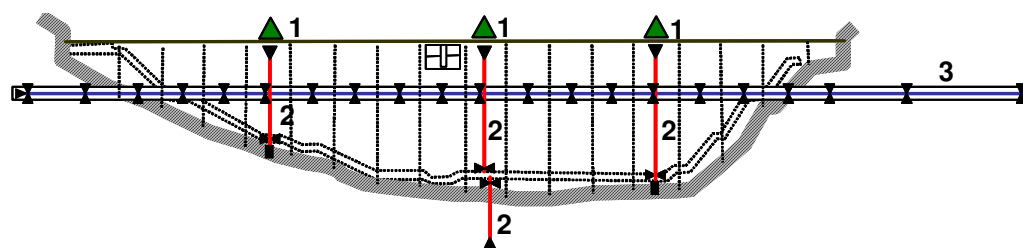
M - La *plage de mesure* doit être suffisante pour couvrir une charge exceptionnelle ou un comportement inattendu.

P - La *précision* demandée doit englober les erreurs de tout le dispositif d'auscultation et l'exécution de l'ensemble des mesures (imprécision des instruments et de leur calage, influence de la température, matériau d'enrobage, frottement, usure, déplacement du point zéro, défaut de linéarité, etc.).

R - Par *redondance*, on entend le doublement (indépendant) d'un moyen de mesure ainsi que la possibilité de contrôler ou de rétablir une valeur de mesure au moyen d'un autre mode de mesure.

5^e colonne: Remarques

Dans cette colonne apparaissent les renseignements et les indications, ou les caractéristiques distinctives concernant les buts des mesures et les dispositifs d'auscultation.



Dispositif pour la mesure des déformations d'un barrage-poids.
1 Piliers de la géodésie
2 Pendules
3 Alignement par fil

Réf. Partie 3	But	Equipement Appareil de mesures Méthodes de mesures	Exigences F = Fiabilité L = Longévité M = Plage de mesure P = Précision R = Redondance	Remarque
------------------	-----	--	---	----------

1. CHARGES ET SOLLICITATIONS EXTERIEURES

Charge hydraulique d'eau et sédiments

1.01	Niveau du plan d'eau	Balance à pression	F: très élevée L: faible M: jusqu'au-dessus du couronnement / parapet P: ± 10 cm R: indispensable.	Mesure importante. La plage de mesure doit également englober les crues. Possibilités de mesure automatique et d'enregistrement pour la plupart des instruments.
1.02		Flotteur		
1.03		Echelle limnimétrique		
1.04		Manomètre		
1.05		Sonde pneumatique		
1.06		Sonde à ultrasons		
1.07		Sonde de pression		
1.08		Câble avec témoin sonore ou lumineux		
1.09	Niveau du dépôt des sédiments Dépôts dans la retenue et devant les prises; charges des sédiments.	Mesure de profondeur d'eau	F: modérée L: aucune M: sur toute la hauteur P: $\pm 0.2 \dots 0.5$ m R: pas indispensable.	Egalement pour la mesure de la profondeur d'affouillement.

Températures

1.10	Température de l'air et de l'eau Charges thermiques externes. Influence sur la fonte des neiges.	Thermographe Enregistrement continu de l'évolution de la température de l'air.	F: modérée L: modérée M: -30°C à $+40^{\circ}\text{C}$ G: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ R: nécessaire.	Ces instruments sont facilement remplaçables. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.
1.11		Thermomètre normal Valeurs minimum, maximum et instantanée.	F: modérée L: modérée M: -30°C à $+40^{\circ}\text{C}$ P: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ R: souhaitable.	Ces instruments sont faciles à remplacer.
1.12		Thermomètre électrique	F: modérée L: modérée M: -30°C à $+40^{\circ}\text{C}$ P: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ R: souhaitable.	Ces instruments sont faciles à remplacer. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.
1.13	Température dans le béton Charges thermiques internes (influençant directement la déformation du béton).	Thermomètre normal dans les forages.	F: très élevée L: très élevée M: -10°C à $+60^{\circ}\text{C}$ P: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ R: nécessaire, prévoir assez d'instruments.	La plage de mesure jusqu'à $+60^{\circ}\text{C}$ est nécessaire pendant la période de construction seulement. Lors d'une installation ultérieure, une échelle jusqu'à $+30^{\circ}\text{C}$ est suffisante.
1.14		Thermomètre électrique	F: très élevée L: très élevée M: -10°C à $+60^{\circ}\text{C}$ P: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ R: nécessaire, prévoir assez d'instruments.	La plage de mesure jusqu'à $+60^{\circ}\text{C}$ est nécessaire pendant la période de construction seulement. Lors d'une installation ultérieure, une échelle jusqu'à $+30^{\circ}\text{C}$ est suffisante. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.

Réf. Partie 3	But	Equipement Appareil de mesures Méthodes de mesures	Exigences F = Fiabilité L = Longévité M = Plage de mesure P = Précision R = Redondance	Remarque
1.15	Répartition de la température dans le béton, Circulation d'eau dans les remblais, Modification de température due aux infiltrations	Capteurs distribués de température à fibres optiques	F: très élevée L: très élevée M: -10 °C à +60 °C P: ± 0.5 °C R: nécessaire.	La plage de mesure jusqu'à + 60 °C est nécessaire pendant la période de construction seulement. Lors d'une installation ultérieure, une échelle jusqu'à + 30 °C est suffisante. Remblai: le domaine de mesure jusqu'à + 30 °C suffit ; sous les revêtements bitumineux jusqu'à + 60 °C. Installation relativement facile. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.
Précipitation				
1.16	Précipitations dans la région de la retenue Influençant les infiltrations.	Pluviomètre Totalisateur Pluviographe	F: modérée L: faible M: précipitation totale dans l'intervalle de temps de mesure P: ± 10% R: pas nécessaire.	Il n'est pas indispensable que la mesure soit effectuée dans les environs immédiats du barrage. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.
Pression				
1.17	Contraintes dans les remblais et dans le béton	Mesure de la pression des terres	F: modérée L: élevée M: surcharge totale (0 à 3 N/mm ²) P: ± 5% de M R: pas nécessaire.	Rarement utilisé. Le module de déformation doit être ajusté avec le matériel de remblai. Interprétation et résultats problématiques. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.
1.18)		Télépressmètre	P: modérée L: élevée M: totalité du domaine de contrainte (0 à 10 N/mm ²) P: ± 5% de M R: pas nécessaire.	Très rarement utilisé. Interprétation et résultats problématiques. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.) Pas de fiche explicative.



Mesure de déformation par pendule dans une galerie d'un barrage. (Source: Emosson SA)

Réf. Partie 3	But	Equipement Appareil de mesures Méthodes de mesures	Exigences F = Fiabilité L = Longévité M = Plage de mesure P = Précision R = Redondance	Remarque
2. DÉFORMATIONS ET DÉPLACEMENTS (BARRAGE ET ENVIRONS)				
Mesures géodésiques				
2.01	Mesure du déplacement spatial des points y compris l'influence des environs.	Triangulation de cas en cas combinées avec: Polygonales et nivellements Mesures de distances électro-optiques Pendules optiques, pendules Alignements Extensomètres.	F: très élevée L: très élevée P: exigences à fixer de cas en cas R: indispensable moyennant - Points de contrôle surabondants - Combinaison avec d'autres méthodes de mesure.	Le réseau géodésique doit englober un espace étendu et permettre l'observation à long terme des déformations de l'ouvrage et de ses alentours, de même que le contrôle des déplacements éventuels des points de références d'autres équipements de mesure (redondance). Mesure délicate qui ne peut être exécutée qu'à intervalles importants. Concevoir des mesures réduites permettant l'appréciation rapide de l'état des déformations. Archiver d'une manière sûre les données et les indications relatives aux méthodes de mesure et de calcul.
2.02		Mesures assistées par satellites (GPS) En liaison avec les mesures terrestres (consolidation du réseau de triangulation) et les mouvements de terrain.	F, L, P: exigences à fixer de cas en cas R: nécessaire; avec mesures répétitives ou d'autres méthodes de mesure.	La précision dépend de la durée des mesures et de la configuration des satellites. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.
2.03		Photogrammétrie Pour mouvement de terrain et de glaciers.	F, L: exigences à fixer de cas en cas P: ± 0.2 m R: pas important.	En général, photos aériennes; prises de vue terrestres aussi possibles. Longue durée de conservation des photos aériennes nécessaire. La photogrammétrie peut aussi être utilisée pour le relevé des dépôts dans les retenues.
2.04		Laser-Scanning Balayage complet de la surface d'un objet.	F, L, P: exigences à fixer de cas en cas R: pas important.	Méthode de mesure moderne qui remplace avantageusement la photogrammétrie.
2.05	Déformées le long de lignes horizontales ou verticales avec prolongation dans les appuis et les versants de la vallée.	Nivellement	F: très élevée L: très élevée P: exigences à fixer de cas en cas R: selon les circonstances, nécessaire en combinaison avec triangulation.	Méthode éprouvée et simple avec emploi d'instruments modernes. Prévoir des groupes de points de référence sur les deux rives.

Réf. Partie 3	But	Equipement Appareil de mesures Méthodes de mesures	Exigences F = Fiabilité L = Longévité M = Plage de mesure P = Précision R = Redondance	Remarque
2.06	Suite: Déformées le long de lignes horizontales ou verticales avec prolongation dans les appuis et les versants de la vallée.	Mesure simple d'angles et mesure de distances électro-optique depuis des stations extérieures.	F: très élevée L: très élevée P: exigences à fixer de cas en cas R: possible au moyen de mesures répétitives ou de la triangulation.	Méthode de mesure éprouvée mais délicate. A n'appliquer qu'au cas où une installation de pendules n'est pas possible. Mesures nécessitant des conditions météorologiques favorables. Précision dépendant des distances et de la réfraction. Stations de mesure à contrôler périodiquement par triangulation.
2.07		Alignement optique	F, L, M, P: exigences à fixer de cas en cas. R: indispensable en combinaison avec triangulation et pendules.	Méthode de mesure éprouvée et facile. Mesures nécessitant des conditions météorologiques favorables. Précision dépendant des distances et de la réfraction.
2.08		Polygonale	F, L, M, P: exigences à fixer de cas en cas. R: indispensable en combinaison avec triangulation et pendules.	Méthode de mesure très délicate. Rattachement indispensable à la triangulation ou aux pendules.
Instruments				
2.09	Déformées le long de lignes horizontales ou verticales avec prolongation dans les appuis et les versants de la vallée.	Pendule, pendule inversé Dispositif de mesure à deux axes, avec optique permettant de viser le fil du pendule qui sert d'axe de référence.	F: très élevée L: très élevée M: déformation maximale calculée + 50% P: ± 0.2 mm R: indispensable; moyennant - Instrument de réserve - Combinaison avec triangulation, polygonales, alignements, extensomètres.	Méthode de mesure précise et éprouvée. Durée de mesure réduite. Station de contrôle de l'instrument. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement; le dispositif de mesure ne doit pas fausser la position du pendule.
2.10		Alignement par fil Dispositif de mesure à un axe, avec optique pour viser le fil qui représente un plan de référence vertical.	F: très élevée L: très élevée M: déformation maximale calculée + 50% P: ± 0.2 mm R: indispensable; moyennant - Instrument de réserve - Combinaison avec triangulation, pendules, extensomètres.	Equivalent au pendule. Précision dépendante de la portée du fil tendu. Ne convient que pour des ouvrages rectilignes. La portée maximale est limitée par le poids et la qualité du fil d'acier. Station de contrôle de l'instrument. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.

Réf. Partie 3	But	Equipement Appareil de mesures Méthodes de mesures	Exigences F = Fiabilité L = Longévité M = Plage de mesure P = Précision R = Redondance	Remarque
2.11	Suite: Déformées le long de lignes horizontales ou verticales avec prolongation dans les appuis et les versants de la vallée.	Repère de tassement vertical	F: élevée L: élevée M: 50 à 100 m P: ± 5 cm (phase de construction) ± 1 cm (opération, après reconstruction) R: nécessaire, par nivellement.	Eléments tubulaires < 6m. Vérifier soigneusement la verticalité lors de la mise en place. Difficultés de réalisation pour systèmes inclinés. Combinaison avec un inclinomètre à tube.
2.12		Repère de tassement hydraulique	F: élevée L: élevée M: quelques mètres P: ± 1 cm R: nécessaire, par repère de tassement et nivellement.	Tubes communicants et lecture directe sur les marques du tube de niveau; 3 tuyaux par point de mesure. Très précis; quelque fois délicat, sensible au gel. Dégazage de l'eau de mesure nécessaire.
2.13	Variation de longueur	Distomètre / Distinvar	F: élevée L: élevée M: 10 cm pour le distomètre 5 cm pour le distinvar P: ± 0.2 mm R: nécessaire, par des mesures géodésiques ou ruban métrique.	Mesure de distance précise en galerie et dans le terrain. Le distomètre permet de mesurer dans une direction voulue, le distinvar seulement horizontalement. Le fil peut se raccourcir ou se rallonger en cas de dépassement de la plage de mesure.
2.14	Variation de longueur et déformée le long de lignes de forages Mesures globales sur grands tronçons de mesure ou mesures différentielles entre repères aménagés sous forme d'une chaîne.	Extensomètres à tiges et à fils à une ou à plusieurs tiges.	F: élevée L: élevée M: 10 à 50 mm P: ± 0.2 mm R: pas toujours nécessaire. Peut être atteinte par: - Installation d'extensomètres en plusieurs endroits comparables - Subdivision en plusieurs tronçons - Combinaison avec pendule inversé ou nivellement.	Travaux de mise en œuvre de l'ancrage et injection des gaines de protection délicats. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.
2.15		Extensomètre à tiges pour barrage en remblai à une ou à plusieurs tiges	F: élevée L: élevée M: 10 à 30 cm P: ± 1 mm R: pas toujours nécessaire. Peut être atteinte par: - Installation d'extensomètres en plusieurs endroits comparables - Subdivision en plusieurs tronçons.	Travaux de mise en œuvre de l'ancrage et injection des gaines de protection délicats. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.

Réf. Partie 3	But	Equipement Appareil de mesures Méthodes de mesures	Exigences F = Fiabilité L = Longévité M = Plage de mesure P = Précision R = Redondance	Remarque
2.16	Suite: Variation de longueur et déformée le long de lignes de forages Mesures globales sur grands tronçons de mesure ou mesures différentielles entre repères aménagés sous forme d'une chaîne.	Extensomètre fibre-optique à une ou à plusieurs tiges.	F: très élevée L: très élevée M: 1 à 2% du tronçon de mesure P: ± 0.2 mm R: pas toujours nécessaire; peut être atteinte par l'installation en plusieurs endroits comparables.	Mise en place relativement facile. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.
2.17		Micromètre de forage Variation de longueurs différentielles.	F: élevée L: élevée M: Déformation attendue +100% P: ± 0.2 mm pour des modifications de longueur, ± 0.02 mm/m pour des déflexions en rocher, ± 0.2 mm/m pour des déflexions en terrain meubles R: selon le but.	Précision dépendant fortement du système de guidage de l'instrument. Certains instruments fournissent des mesures très précises et fiables. Travaux de mise en œuvre et injection des tubes de guidage délicats. Indiqué pour localiser et observer les mouvements des discontinuités (fissures) et surface de glissement. Mesures et interprétation demandent beaucoup de temps.
2.18		Micromètre de forage avec inclinomètre Déformation différentielle combiné avec micromètre de forage.		
		Inclinomètre Déformation différentielle dans un forage.		
2.19	Variation de rotations locales Dans le plan vertical.	Clinomètre sur repère de tassement hydraulique et micromètre, avec indicateur électronique. Tiltmètre Avec indicateur électronique.	F: élevée L: élevée M: 20 mm/m P: 0.02 mm/m R: la mesure n'est indiquée qu'en combinaison avec d'autres équipements de mesures tels que pendules ou nivellement.	A proximité d'espaces vides, les résultats peuvent être influencés par des concentrations de contraintes. Des chaînes de mesure courtes peuvent améliorer les résultats. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement pour le tiltmètre.
2.20	Mouvement de fissures et de joints En surface, dilatations et mouvements de cisaillement.	Micromètre Déformètre Dilatomètre Défectomètre	F: modéré L: élevée M: 10 mm P: ± 0.05 mm R: selon le but.	Les mesures sur les parois d'une galerie ou d'une niche ne sont souvent pas représentatives du comportement du massif. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.
2.21	Déformation ponctuelle Pour contrôler les contraintes dans le béton.	Déformètre électrique noyé dans le béton Combiné avec mesures de température.	F: élevée L: élevée M: Déformation spécifique 2 mm/m, Température -10°C à +50°C P: Allongement 0.02 mm/m, Température ±0.2°C R: nécessaire moyennant instruments en surabondance - autres types d'instruments pour comparaison.	Pannes fréquentes. Résultats souvent influencés par les conditions locales des matériaux au droit de l'instrument. Evaluation et résultats problématiques. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.
2.22 *)		Fibre-optique noyée dans le béton		*) Voir fiche explicative 2.15

Réf. Partie 3	But	Equipement Appareil de mesures Méthodes de mesures	Exigences F = Fiabilité L = Longévité M = Plage de mesure P = Précision R = Redondance	Remarque
3. INFILTRATIONS				
Débits d'eau				
3.01	Débit des eaux d'infiltration et de drainage Par zone et global.	Mesure volumétrique avec récipient taré et chronomètre ou par supplantation de volume (par exemple à l'aide d'une tige étalonnée dans des forages inclinés vers le bas)	F: modéré L: modéré M: débit maximal présumé + 100 % P: ± 5 % de M R: par mesures répétitives.	Méthode limitée à des débits modérés jusqu'à 10 l/s; le temps de remplissage du récipient doit être d'au moins 20 secondes.
3.02		Déversoir Canal de mesure Avec échelle, capteur à ultrasons, échelle pneumatique, sonde de pression.	F: élevée L: élevée M: débit maximal présumé + 100% P: ± 5% de M R: par une mesure volumétrique.	Enlever périodiquement les concrétions. Pas indiqué pour des débits < 0.05 l/s. Pour le débit total du barrage, prévoir l'enregistrement et un signal d'alarme. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.
3.03		Mesure du flux dans des tubes Par ex. pour eaux d'infiltration dans une conduite alimentée par pompe - Venturimètre (mesure d'une différence de pression) - Mesure de la vitesse d'écoulement par capteur à ultrasons ou mesure magnéto inductive	F: élevée L: élevée M: débit maximal présumé + 100% P: ± 5% de M R: par des mesures volumétriques en d'autres endroits.	Prévoir des possibilités simples pour contrôler périodiquement les indications (manomètres, déversoir, canal de mesure à écoulement libre). Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.
3.04		Mesure du flux dans des tubes partiellement remplis Mesure de la vitesse d'écoulement par capteur à ultrasons ou mesure magnéto inductive	F: élevée L: élevée M: débit maximal présumé + 100% P: ± 5% de M R: par des mesures volumétriques en d'autres endroits.	Prévoir des possibilités simples pour contrôler périodiquement les indications (manomètres, déversoir, canal de mesure à écoulement libre). Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.
Mesures des pressions hydrauliques dans le rocher et dans les matériaux meubles				
3.05	Pression de l'eau dans le rocher Pression de l'eau circulant dans la zone des fondations (sous-pression, pression de l'eau dans des fissures)	Piézomètres: systèmes ouverts Mesure du niveau de la nappe par câble avec témoin lumineux ou sonore.	F: modéré L: élevée M: longueur totale du forage P: ± 0.05 m R: nécessaire moyennant une disposition en groupes.	Tuber le forage d'une manière étanche jusqu'à la prise de pression; protéger la tête du forage contre la pénétration d'eau de surface, de boue, de cailloux, etc. Garantir une aération permanente.

Réf. Partie 3	But	Equipement Appareil de mesures Méthodes de mesures	Exigences F = Fiabilité L = Longévité M = Plage de mesure P = Précision R = Redondance	Remarque
3.06	Suite: Pression de l'eau dans le rocher Pression de l'eau circulant dans la zone des fondations (sous-pression, pression de l'eau dans des fissures).	Piézomètres: systèmes fermés Indication de pression par manomètre ou capteur électrique.	F: élevée L: élevée M: toute la hauteur comprise entre le manomètre et le couronnement du barrage P: ± 0.5 m resp. $\pm 1\%$ de M R: nécessaire moyennant une disposition en groupes.	Méthode éprouvée. Les tubes et raccords du manomètre doivent être étanches. Ne pas provoquer artificiellement une décharge de pression, afin que les pressions puissent être saisies en totalité, même si elles se constituent très lentement. Aérer périodiquement les conduites. Contrôle périodique indispensable des manomètres. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.
3.07		Piézomètres: cellules de pression (pneumatique ou électrique) installée dans des forages, une ou plusieurs cellules par niveaux	F: élevée L: élevée M: toute la hauteur comprise entre le manomètre et le couronnement du barrage P: ± 0.5 m resp. $\pm 1\%$ de M R: nécessaire moyennant un grand nombre de cellules ou une disposition en groupes.	Centralisation possible des mesures des cellules réparties sur la profondeur. Déterminer soigneusement le genre de filtre, de manière à éviter que des cellules se bouchent trop rapidement. Mise en place délicate surtout si installation de plusieurs cellules dans un même forage. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.
3.08	Pression de l'eau dans les matériaux meubles Pression de l'eau circulant dans le barrage en remblai (noyau, corps d'appui) et dans les fondations (sous-pressions et pressions interstitielles)	Piézomètres: systèmes ouverts Mesure du niveau de la nappe par câble avec témoin lumineux ou sonore.	F: modéré L: élevée M: longueur totale du forage P: ± 0.05 m R: nécessaire moyennant une disposition en groupes.	Tuber le forage d'une manière étanche jusqu'à la prise de pression; protéger la tête du forage contre la pénétration d'eau de surface, de boue, de cailloux, etc. Garantir une aération permanente. Contrôle de fonctionnement par rinçage.
3.09		Piézomètres: systèmes fermés Indication de pression par manomètre ou capteur électrique.	F: élevée L: élevée M: toute la hauteur comprise entre le manomètre et le couronnement du barrage P: ± 0.5 m resp. $\pm 1\%$ de M R: nécessaire moyennant une disposition en groupes.	Méthode éprouvée. Les tubes et raccords du manomètre doivent être étanches. Ne pas provoquer artificiellement une décharge de pression, afin que les pressions puissent être saisies en totalité, même si elles se constituent très lentement. Aérer périodiquement les conduites. Contrôle périodique indispensable des manomètres. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.

Réf. Partie	But	Equipement Appareil de mesures Méthodes de mesures	Exigences F = Fiabilité L = Longévité M = Plage de mesure P = Précision R = Redondance	Remarque
3.10	<p>Suite: Pression de l'eau dans les matériaux meubles</p> <p>Pression de l'eau circulant dans le barrage en remblai (noyau, corps d'appui) et dans les fondations (sous-pressions et pressions interstitielles)</p>	<p>Piézomètres: cellules de pression (pneumatique, électrique ou hydraulique)</p> <p>Installées dans le remblai dans des forages, à une ou plusieurs cellules par niveau.</p>	<p>F: élevée L: élevée M: toute la hauteur comprise entre le manomètre et le couronnement du barrage P: $\pm 0.5m$ resp. $\pm 1\%$ de M R: nécessaire moyennant un grand nombre de cellules ou une disposition en groupes.</p>	<p>Centralisation possible des mesures des cellules réparties sur la profondeur.</p> <p>Mesure hydraulique possible seulement si le poste de mesure se situe au-dessous du niveau minimal des pressions.</p> <p>Déterminer soigneusement le genre de filtre, de manière à éviter que des cellules se bouchent trop rapidement.</p> <p>Mise en place délicate surtout si installation de cellules à plusieurs niveaux.</p> <p>Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.</p>
Propriétés physiques et chimiques des eaux				
3.11	<p>Relevé des modifications physiques ou chimiques (Erosion, dissolution)</p>	Turbidimètre	<p>F: élevée L: élevée M: 0 à 500 ppm P: ± 1 ppm R: nécessaire; par analyse d'échantillons d'eau en laboratoire.</p>	<p>Détermination des matières dissoutes ou en suspension.</p> <p>Un local abrité est important.</p> <p>Etalonnage après analyse en laboratoire de l'eau de percolation.</p> <p>Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.</p>
3.12		Analyse chimique	<p>F: élevée L: aucune M: selon les valeurs recherchées P: selon les valeurs recherchées R: pas nécessaire.</p>	<p>Exécution à grands intervalles.</p> <p>La détermination des caractéristiques importantes est l'affaire de spécialistes.</p>
4. ETAT				
4.01	<p>Méthodes géophysiques</p> <p>Détermination de caractéristiques géophysiques des barrages et du sous-sol.</p>	<p>Sismique réflexion Sismique réfraction Géoelectrique Electromagnétique Géoradar Géomagnétique Gravimétrie Tomographie sismique Ultrason Relevé infrarouge Diagraphie</p>	<p>F, L, M, P: exigences à fixer de cas en cas R: nécessaire; selon les cas au moyen de forages, prise d'échantillons et d'essais ou par d'autres méthodes géophysiques.</p>	<p>Application et interprétation par des spécialistes.</p>

Réf. Partie 3	But	Equipement Appareil de mesures Méthodes de mesures	Exigences F = Fiabilité L = Longévité M = Plage de mesure P = Précision R = Redondance	Remarque
4.02	Inspection par caméra Dans le cas de points inaccessible ou difficile d'accès.	Robot sous lacustre muni d'une caméra	F, L, M, P: exigences à fixer de cas en cas R: pas nécessaire.	Bonne visibilité dans l'eau requise. S'assurer de la localisation du robot.
4.03		Caméra dans un forage	F, L, M, P: exigences à fixer de cas en cas R: pas nécessaire.	La turbidité de l'eau peut gêner les conditions de visibilité.
4.04	Caractéristiques des bétons	Scléromètre (Marteau de Schmidt) Essai non destructif à la surface du béton.	F: moyenne l L: aucune M: résistance probable à la compression + 100% P: $\pm 20\%$ de M R: nécessaire; par essais en laboratoire.	Mesure in situ simple. Les résultats ne sont représentatifs que pour la zone de surface.
4.05		Essais en laboratoire Sur échantillons.	F, L, M, P: exigences à fixer de cas en cas R: nécessaire, par un grand nombre d'essais.	Les échantillons sont petits par rapport aux dimensions de l'ouvrage.
4.06 *)	Détection des circulations d'eau Localisation de fuites.	Mesure des variations de température en raison des percolations Mesures de modification de température suite aux circulations d'eau.	F: très élevée L: très élevée M: de -10°C à $+30^{\circ}\text{C}$ P: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ R: nécessaire; prévoir un nombre suffisant d'instruments.	Nouvelle méthode. La fibre optique permet de localiser les changements de température le long d'une ligne provoqués par les circulations d'eau. *) Voir fiche explicative 1.15.
5. DIVERS				
5.01	Contrôle des ancrages Pour tirants d'ancrage.	Mesure de la force d'ancrage (électrique ou hydraulique), en tête d'ancrage.	F: élevée L: élevée M: force d'ancrage +25% P: $\pm 1\%$ de M R: nécessaire.	La cellule de mesure de charge doit être contrôlable et remplaçable. Avec possibilités de mesure automatique et d'enregistrement.
5.02 *)	Enregistrement d'événements sismiques	Sismomètre Enregistrement des mouvements du support en fonction du temps (<i>vitesse</i> ou <i>accélération</i>). Accélérographe Enregistrement des <i>accélérations</i> en fonction du temps.	F: élevée L: moyenne M: $\pm 1\text{g}$ (a_{max}) P: $\Delta a \leq 0.03\text{ mg}$ ($\geq 16\text{ Bits}$); $\Delta t \leq 0.005\text{ sec}$ R: nécessaire.	Prévoir des appareils à 3 composantes. Installer au moins 3 appareils (au couronnement, au niveau de la fondation et en champ libre). Application et interprétation par des spécialistes. *) Pas de fiche explicative.