

# Dispositif d'auscultation des barrages

## Appareils de mesures

### 1 Mesure du niveau de plan d'eau

#### 1.1 ECHELLE LIMNIMETRIQUE

Il s'agit d'une latte calibrée en bois ou en métal avec repères décimétriques et centimétriques. Il existe des modèles avec repère du niveau maximum atteint (niveau à valeur limite)

Mesure facile d'un niveau d'eau par une lecture directe. Permet de suivre visuellement les variations d'un niveau d'eau, par exemple en cas de crues.



#### 1.2 MANOMETRE

Un conduit de liaison avec la retenue transmet au manomètre la pression hydrostatique correspondant au niveau du plan d'eau.

Dispositif simple et fiable, de précision limitée, par exemple comme redondance pour un contrôle rudimentaire des balances à pression.

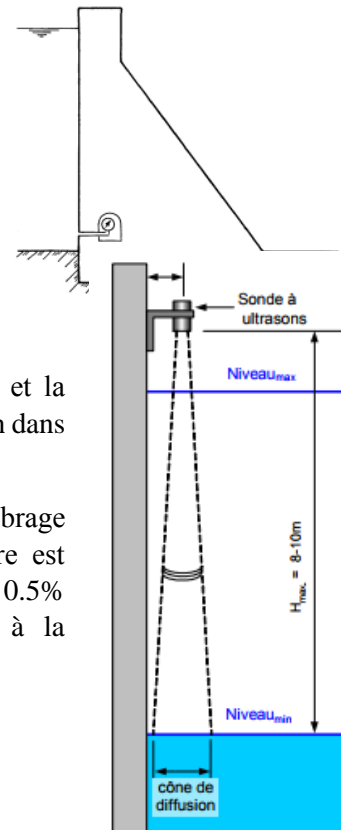
Cet équipement de mesure ne se prête pas pour des lectures directes. Des cellules de prise de pression doivent être installées pour une télétransmission des valeurs.



#### 1.3 SONDE A ULTRASONS

Cet équipement détecte la surface de l'eau par réflexion d'impulsions d'ultrasons. La distance entre le détecteur et la surface de l'eau est déterminée à partir du temps écoulé entre l'émission et la réception du signal (temps de parcours) et de la vitesse de propagation dans le milieu concerné (air).

La sonde permet une mesure directe du niveau d'eau après calibrage. L'installation de la sonde est très simple. Le domaine de mesure est cependant limité à 8-10 m. La précision des mesures est inférieure à 0.5% du domaine de mesure. La sonde à ultrasons se prête bien à la télétransmission.



## 2 Niveau de dépôt des sédiments

### 2.1 Mesure de profondeur d'eau

La sédimentation des retenues se laisse contrôler par des mesures de profondeur d'eau. Celles-ci peuvent se faire à partir d'une embarcation, soit par sondage à la perche ou au fil lesté, soit par ultrasons.

Afin d'obtenir une répartition des sédiments dans l'espace, il est nécessaire de connaître la position du bateau au moment de la mesure. Celle-ci peut se faire depuis la rive par une mesure d'angle et de distance ou par positionnement au moyen d'une mesure GPS. Une possibilité plus simple consiste à tendre d'une rive à l'autre des fils avec des repères de distance. Les relevés permettent de dresser la topographie ou des profils.

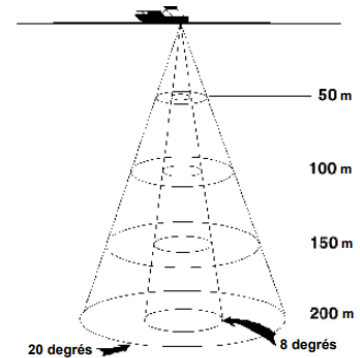
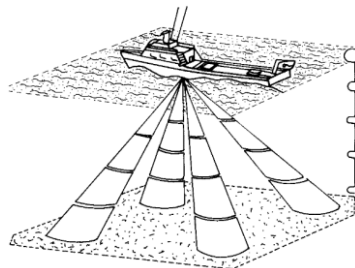


Figure 1.09-1: Mesure de profondeur d'eau par ultrasons

## 3 La température dans le béton

### 3.1 THERMOMETRE NORMAL

La température interne du béton peut être déterminée de façon simple avec un thermomètre industriel à capillaire. Ce dernier est introduit dans un forage vertical ou incliné ou dans un tube pris dans le béton, de telle manière que la lecture soit faite à la profondeur voulue. Les thermomètres sont fixés soit à une ficelle soit à l'extrémité d'une perche et sont retirés du forage pour lecture.

La mesure est simple et se fait par lecture directe. Les thermomètres défectueux sont facilement remplaçables. Cet équipement ne se prête qu'à des lectures directes ; des thermomètres électriques doivent être installés pour la télétransmission des valeurs.



Figure 1.13-1: Introduction d'un thermomètre normal dans un forage

### 3.2 THERMOMETRE ELECTRIQUE

Les appareils pour la mesure de la température placés dans le béton ou un forage sont basés sur les principes suivants :

Thermomètre à résistance : une variation de température provoque un changement de résistance dans le conducteur métallique de la sonde. La mesure se fait au moyen d'un pont de mesure. Thermo élément (thermocouple) : deux fils de métaux différents sont soudés à leurs extrémités. Une tension apparaît entre les deux extrémités libres des fils, qui dépend de la température et que l'on peut mesurer. La mesure de température dans le béton est faite au point de soudure des fils. Thermomètre à corde vibrante : une variation de température cause un changement de la fréquence de vibration d'un filament sous tension qui est excité dans la sonde par un aimant. Un filament étalonné se trouve dans l'appareil de mesure et sert de référence.



Ces mesures sont fiables et faciles à exécuter. Des pannes de certains capteurs sont possibles. Ce thermomètre se prête à la télétransmission des valeurs mesurées.

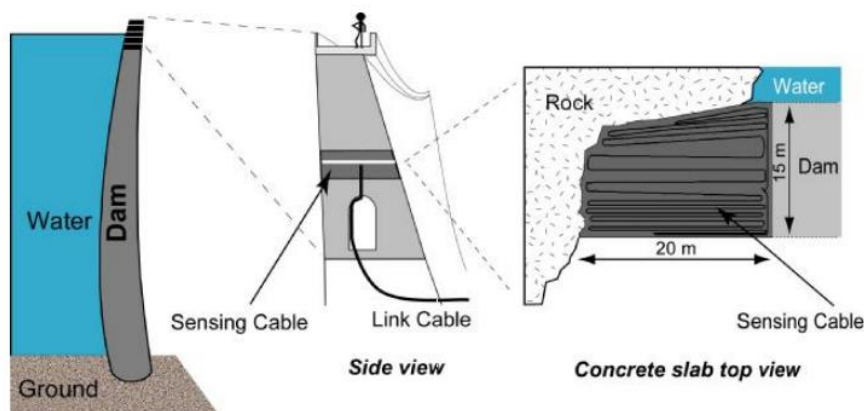


Figure 1.15-3: Installation dans un bloc de béton d'un barrage voûte (Source MET-EPFL, Omnisens, SMARTEC).

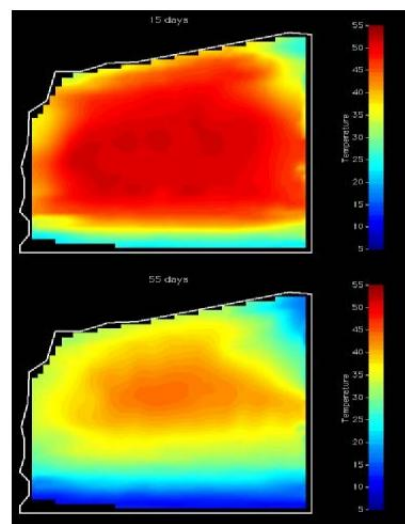


Figure 1.15-4: Mesures de température, 15 et 55 jours après le bétonnage (Source MET-EPFL, Omnisens, SMARTEC).

## 4 Paramètres météorologiques dans la région de la retenue

### 4.1 Précipitation : Pluviomètre / pluviographe

Ces instruments sont utilisés dans le cadre de la surveillance des barrages pour la mesure des précipitations tombées dans la région du barrage. Les résultats de mesure permettent de tenir compte des conditions météorologiques dans l'interprétation des débits d'infiltration et de drainage ainsi que des pressions d'eau dans la fondation, qui sont tous deux influencés par le niveau de la nappe phréatique. Par ailleurs, les mesures fournissent d'importantes données pour les études hydrologiques.



**Le pluviomètre** recueille les précipitations. L'appareil de mesure est principalement constitué par un récipient d'une surface de 200 cm<sup>2</sup> parfois 500 cm<sup>2</sup>. La quantité des précipitations tombées est régulièrement relevée au moyen d'un récipient gradué.

**Les pluviographes** sont des appareils qui permettent de relever la distribution des pluies de manière mécanique ou électronique. Le principe d'auge à bascule est utilisé. La pluie remplit un auget qui bascule lorsqu'un certain poids est atteint et se vide en donnant une impulsion qui sera enregistrée.



Figure 1.16-1: Pluviographe avec auget à bascule

### 4.2 Température de l'air et de l'eau

De nouveaux appareils sont équipés **d'un thermomètre électrique**, lequel transmet le signal de sortie stocké dans une mémoire à partir de laquelle les données peuvent être reprises pour être interprétées.

Ces appareils fonctionnent sans problème pour autant qu'ils soient bien installés et entretenus. La plage de mesure se situe habituellement entre -35 °C et +50 °C. Il n'est pas absolument certain de pouvoir obtenir la précision désirée de  $\pm 1^\circ\text{C}$ . L'équipement électrique facilite l'interprétation des données, car elles sont déjà sous forme digitale.

#### THERMOMETRE NORMAL

Température de l'air : La mesure de la température de l'air peut se faire au moyen d'un thermomètre industriel à capillaire. Un thermomètre à maximum/minimum est particulièrement bien indiqué, car en plus de la mesure courante, il permet de connaître la température la plus basse et la plus haute de la période de mesure.

La mesure est simple et se fait par lecture directe. Les thermomètres défectueux sont facilement remplaçables. Les simples thermomètres ne se prêtent pas à la télétransmission.

### 4.3 Direction et vitesse du vent

Anémomètre avec girouette



## 5 Station hydrométrique

### 5.1 Débits entrants de liquide et de solide

## 6 Contraintes dans les remblais et dans le béton

### 6.1 MESURE DE LA PRESSION DES TERRES (pression totale)

#### Principe de mesure

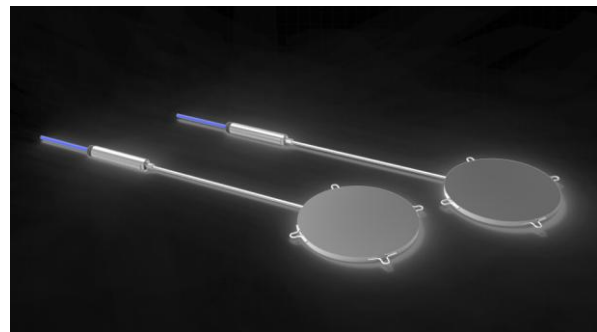
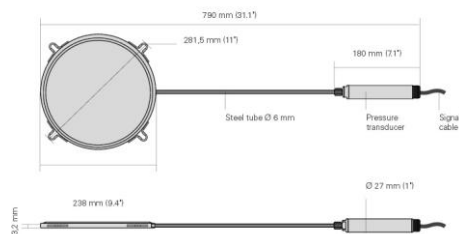
Capteur de pression se présentant sous la forme d'un disque plat et circulaire (diamètre environ 25 à 35 cm) pour la mesure, perpendiculairement à la surface du disque, de la pression totale dans un remblai (pression des terres + pression interstitielle). Différents systèmes de transmission des valeurs (électrique, hydraulique, pneumatique) sont utilisés selon la distance et le produit. La transmission à la boîte de connexion s'effectue soit par câble soit par tube flexible. Pour la détermination de la pression effective (pression des terres), il est nécessaire d'installer également des cellules de mesure de pression interstitielle.

#### Appréciation

Les systèmes hydrauliques et pneumatiques sont sensibles aux variations de température. La mesure hydraulique est uniquement possible si le poste de mesure se situe à un niveau inférieur à celui de la cellule de mesure la plus basse placée dans le corps de la digue ce qui permet de suivre le développement des pressions depuis le début des remblais. La mise en valeur des résultats est souvent

**Problématique :** Toutefois le système permet de suivre la tendance du développement des contraintes. Le système pneumatique ne convient que pour des mesures jusqu'à 3 MPa et des longueurs de tube flexible jusqu'à 500 m.

La transmission des valeurs de mesure est habituelle. L'enregistrement automatique est possible.



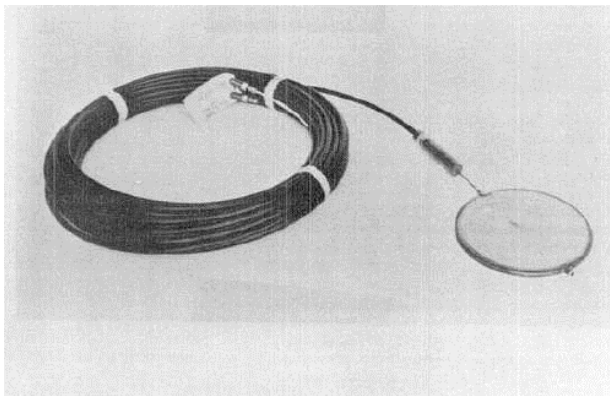
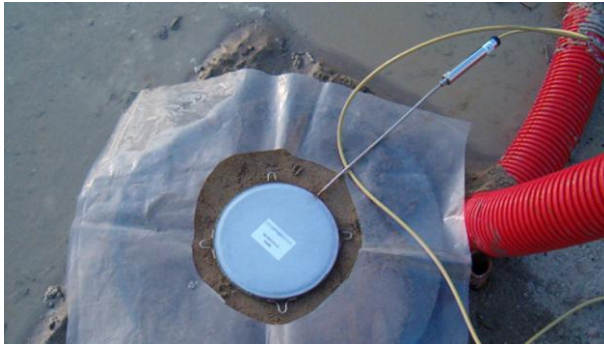


Figure 2-33.—Pneumatic total pressure cell. P801-D-81012.

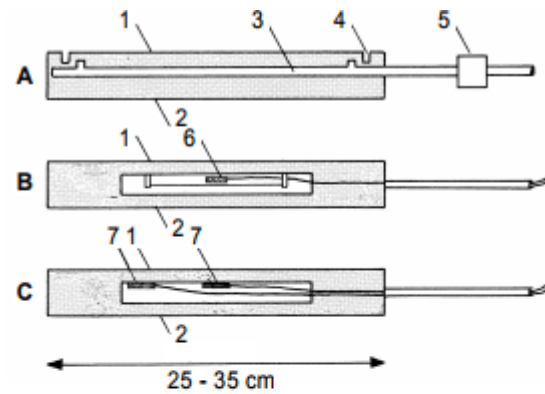


Figure 1.17-1: Cellule de mesure de la pression des terres

- A Mesure hydraulique
  - B Mesure avec corde vibrante
  - C Mesure de résistance électrique
- 1 Face active
  - 2 Face passive
  - 3 Chambre de mesure avec liquide
  - 4 Rainure pour augmenter la flexibilité
  - 5 Membrane pour la mesure de pression
  - 6 Corde vibrante
  - 7 Résistance

### Dérangements possibles et erreur de mesure

Dégâts aux tubes flexibles pendant leur mise en place ou suite à des tassements différentiels de matériaux différents.

Dégâts aux câbles en cas de protection insuffisante contre les surtensions.

Hétérogénéité de l'enrobage du capteur de pression conduit à des résultats inutilisables.

### Exigences techniques

Les câbles de mesure doivent être protégés contre les surtensions. Les épissures entre capteurs et boîte de connexion doivent être évitées à tout prix. Les tubes flexibles dans le système hydraulique doivent être placés de telle manière à éviter les sous-pressions.

Les câbles électriques et les tubes flexibles doivent être placés dans des tranchées étroites et être protégés de manière efficace contre les dégâts possibles dus aux engins de chantier.

### Contrôle du fonctionnement et entretien

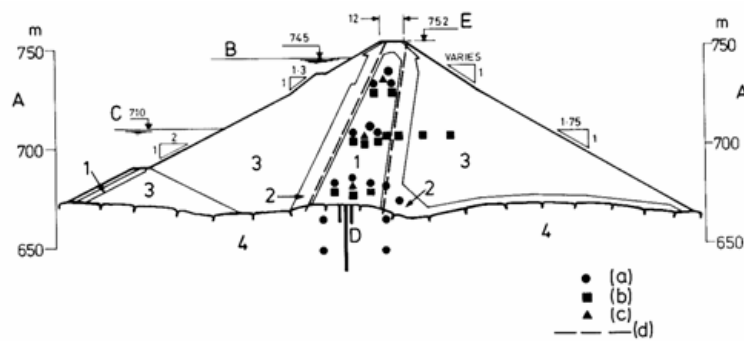
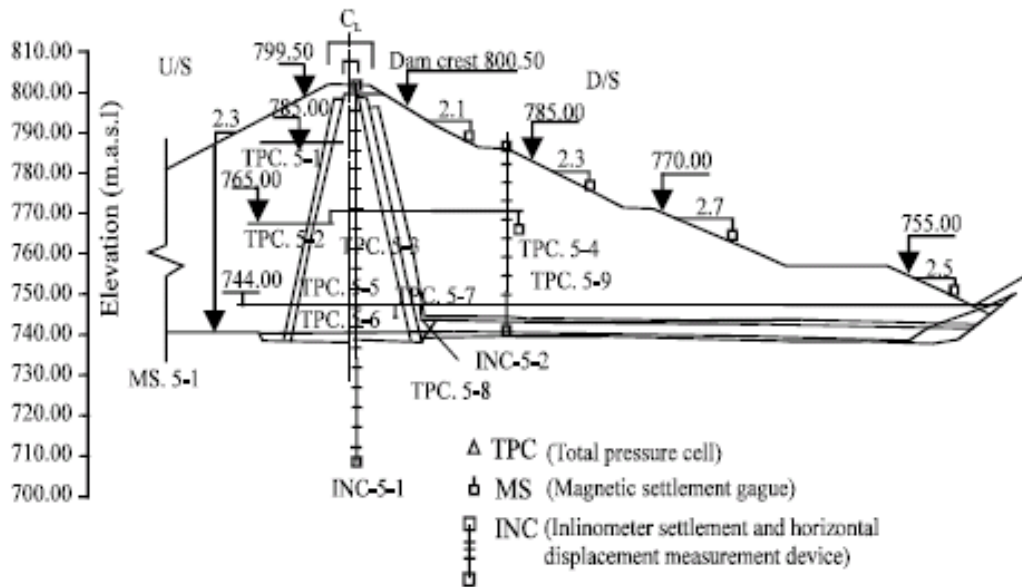
Pour le système hydraulique ou pneumatique, il faut prévoir au moins une purge annuelle (eau ou gaz) des tubes flexibles, ainsi qu'un entretien régulier et soigné des appareils de lecture.

### Redondance

L'installation de 2 systèmes différents (par exemple électrique et pneumatique) est possible, mais pas absolument nécessaire. Toutefois, éviter la pose d'un seul capteur en un point de mesure.

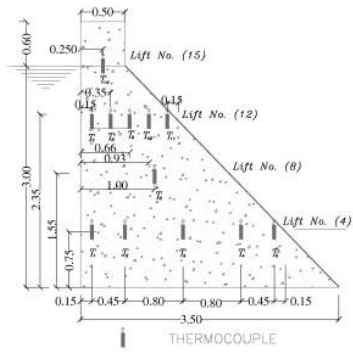
### Remarques

Lors de la mise en place de l'installation, veiller particulièrement à l'homogénéité du matériel d'enrobage



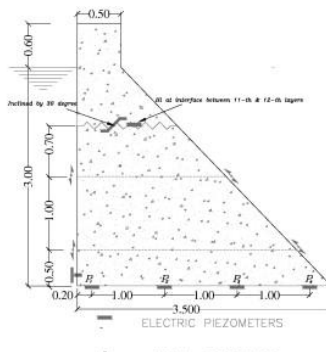
Dam Cross Section and Instrumentation at Ch. 175

- |                                    |   |
|------------------------------------|---|
| A. Elevation                       | 4. Monzonite  |
| B. Full supply level               | a. Hydraulic piezometer   |
| C. Minimum operating level         | b. Hydraulic settlement cell                                    |
| D. Grout curtain                   | c. Group of earth pressure cells<br>(measuring in 3 directions) |
| E. Includes settlement allowance   | d. Deformation tube   |
| 1. Core                            | Varies  |
| 2. Filters, drains and transitions |   |
| 3. Rockfill                        |   |



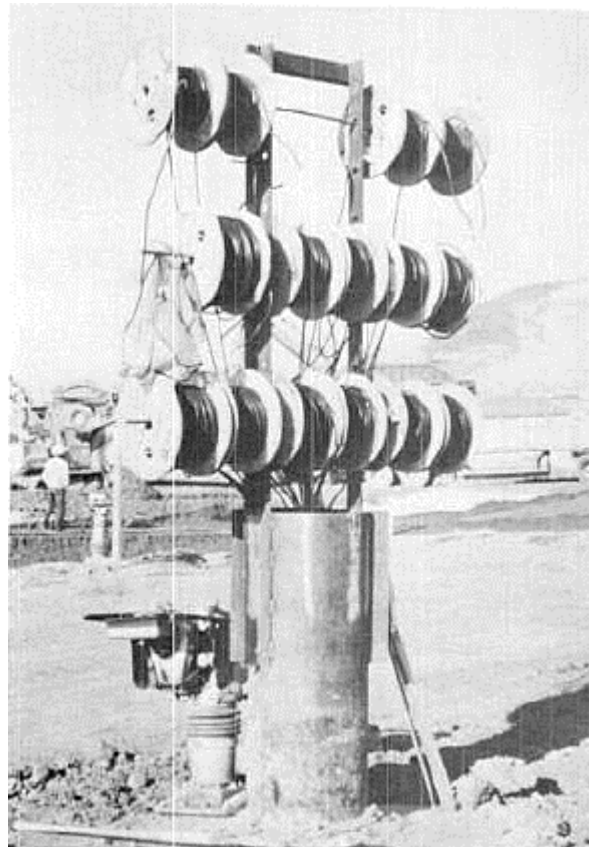
(All RCC dim. in m)

(a) Thermo-couple



ELECTRIC PIEZOMETERS  
CELL PRESSURE  
STRAIN GAGE

(b) Piezometers, strain gauges, cell pressure





## 7 Mesure du déplacement spatial des points

### 7.1 Triangulation

#### 1. Principe de mesure

Le principe de la triangulation est la détermination de la position d'un point par des techniques géodésiques. En règle générale, il s'agit de la définition des coordonnées spatiales (3 dimensions, situation et altitude) par :

- L'intersection de 2 directions.
- Le recoupement de 2 distances.
- En règle générale, la combinaison des 2 méthodes.

La détermination du déplacement "absolu" des points de contrôle situés sur un barrage et dans ses environs, par rapport aux points de référence situés hors de la zone d'influence du barrage, se fait par la mesure de directions (éventuellement d'angles horizontaux), d'angles de hauteur et de distances. Les instruments employés à cet effet sont :

Le théodolite de précision (erreur moyenne de mesure sur une direction :  $\pm 2''$ )

L'appareil de précision pour la mesure des distances (erreur moyenne de mesure :  $+ (0,1 - 0,2 \text{ mm} + 1 \text{ mm par km de la distance mesurée})$ ) L'erreur de centrage de ces instruments est plus petite ou égale à  $\pm 0,1 \text{ mm}$ .



Figure 2.01-1: Théodolite de précision T2002



Figure 2.01-2: Instrument de précision de mesure de distance ME5000

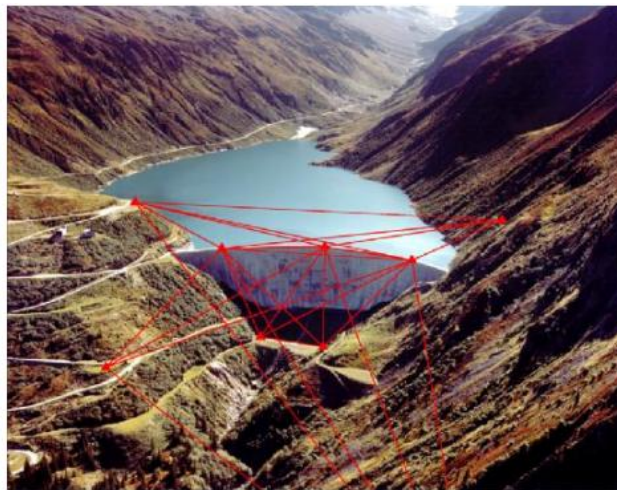


Figure 2.01-3: Exemple d'un réseau de mesure

### 7.2 GPS (Global positioning system)

#### b) Application géodésique

Moyennant un mode de mesure adéquat, ce système de navigation peut être utilisé pour la détermination précise d'une position par rapport à un point connu. A cet effet, il faut disposer de 2 récepteurs GPS lesquels mesurent les distances à des satellites visibles simultanément. Grâce une méthode d'analyse adéquate, les différences relatives de coordonnées entre les stations (lignes de base) peuvent être déterminées sur la base des différences des distances entre les stations respectives et les satellites isolés (méthode différentielle GPS).

Pour l'application à la surveillance des barrages, seule la méthode différentielle est intéressante.

## Appréciation

La mesure au moyen de GPS est par rapport aux méthodes géodésiques conventionnelles (par exemple, les mesures d'angles et de distance) largement indépendante des conditions météorologiques. Une liaison visuelle entre les différentes stations n'est pas nécessaire.

Autres méthodes

Laser-scanning

## 8 Déformations le long de lignes horizontales ou verticales

### 8.1 NIVELLEMENT

Le nivellement est une méthode simple pour la mesure des hauteurs. La différence d'altitude entre points voisins est déterminée par des visées horizontales (au moyen d'un niveau) sur une mire verticale. La différence d'altitude est égale à la différence des lectures avant - arrière sur la mire. Les instruments pour la réalisation de tels nivellements optiques sont :

- Le niveau à bulle
- Le niveau à compensateur analogique
- Le niveau à compensateur digital

La précision des différences d'altitude déterminées par nivellement dépend de la précision de la nivelle ou du compensateur de l'instrument, ainsi que de la mire. Elle peut être de quelques centièmes de mm pour la différence d'altitude entre points voisins. Les mires en bois ou en aluminium portent un ruban d'invar avec une graduation précise.

#### 2. Appréciation

Pour la détermination de différences d'altitude, c'est une méthode éprouvée simple et bien adaptée. Pour obtenir une précision élevée (supérieure à  $\pm 1$  mm entre points voisins), il faut éliminer les erreurs systématiques des appareils de mesure (en particulier le niveau à compensateur) et des mires.

L'emploi de niveaux digitaux facilite la mesure des différences de hauteur. Le traitement des mesures est simple et facilement interprétable.



Figure 2.05-1: Niveau digital



Figure 2.05-2: Mire de nivellement de 3 m

### 8.2 MESURE SIMPLE D'ANGLES ET DE DISTANCES ELECTRO-OPTIQUE

La mesure simple d'angles se situe entre l'alignement optique et la triangulation. En général, la mesure d'angles permet de déterminer des dépèchements horizontaux dans une seule direction. En lieu et place d'une ligne horizontale comprise entre les points de référence et de contrôle d'un alignement optique, la mesure simple d'angles s'appuie sur des éléments de la triangulation. Les points de référence sont matérialisés par 1 - 2 stations de mesure implantées à l'aval à proximité des appuis latéraux.

La mesure périodique de l'angle  $\alpha$  en visant des points de contrôle appropriés situés sur et à proximité du barrage permet de déterminer à partir d'une variation de l'angle  $\Delta\alpha$ , le déplacement du point de contrôle dans la direction principale amont- aval. On suppose que la situation des points de référence A

et B est stable, mais elle sera périodiquement contrôlée. On admet aussi que la distance entre les points de référence et de contrôle est fixe. Le choix du niveau des points de référence et de contrôle est libre.

Pour la mesure, il faut disposer d'un théodolite convenablement placé sur un pilier ou un trépied, lequel est muni d'un dispositif de centrage d'une précision appropriée. A titre de contrôle, on peut aussi mesurer un angle  $\alpha$  depuis la station B. Dans ce cas, on doit obtenir plus ou moins les mêmes déplacements dans le sens amont - aval que ceux déterminés à partir du point A.

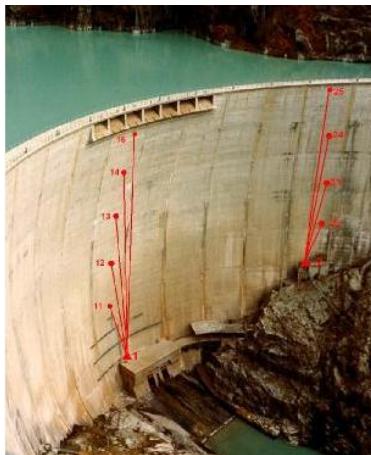
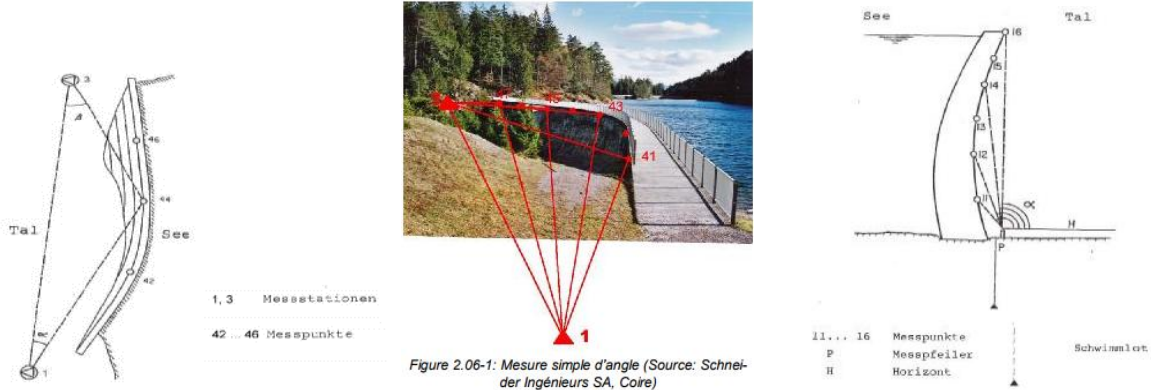
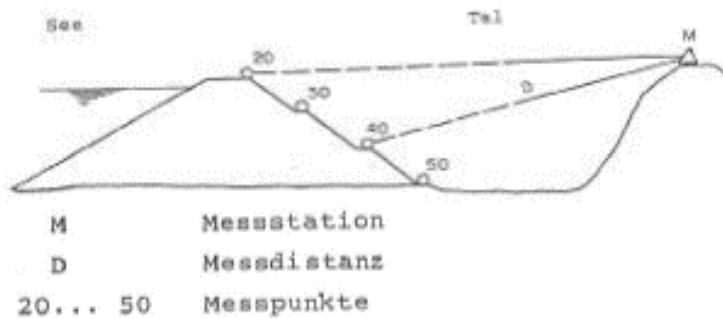


Figure 2.06-3: Mesure d'angles verticaux pour un barrage-voûte



### 83 La mesure simple de distance

Consiste à mesurer la distance entre une station située à l'aval et un point de mesure sur le barrage.

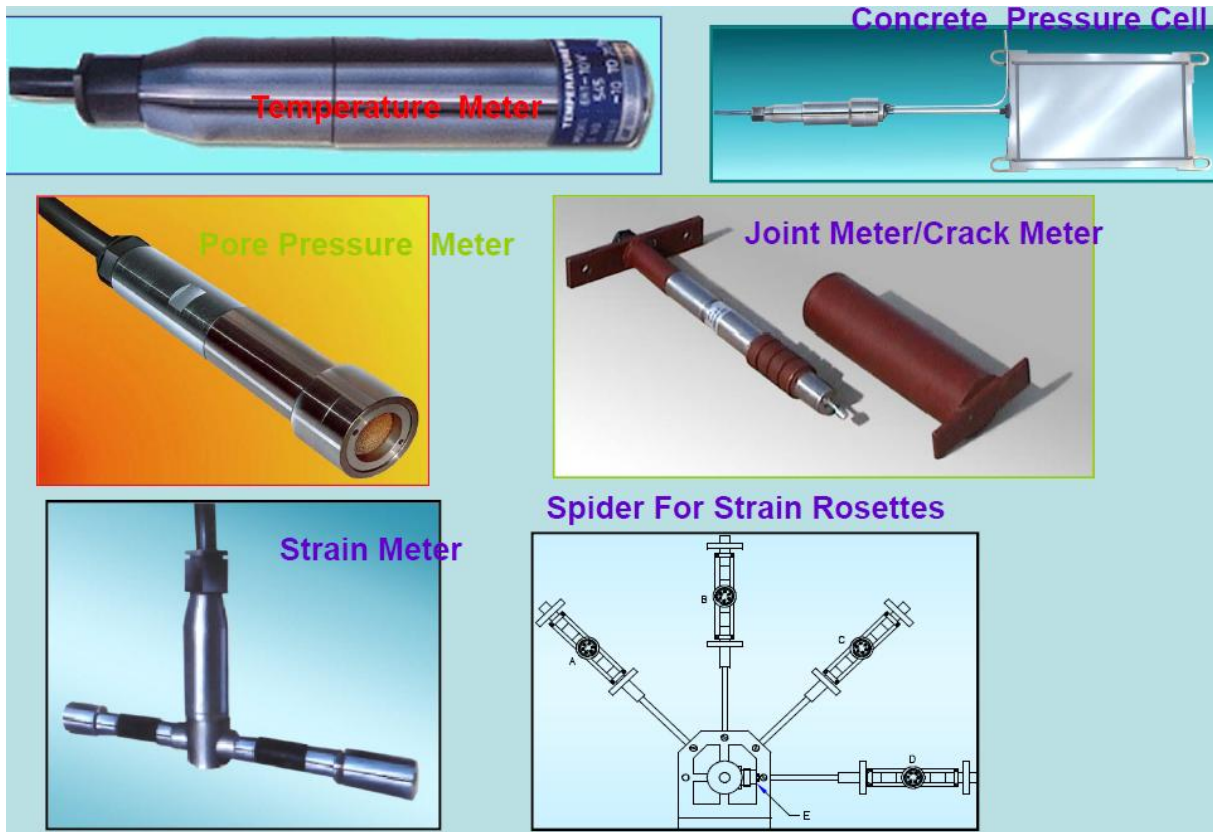
La variation de distance horizontale AD entre 2 mesures correspond au déplacement des points de contrôle dans la direction de mesure.

La mesure exige l'emploi d'un tachéomètre électro-optique et l'accès aux points de mesure pour y placer un réflecteur. La précision du tachéomètre définit la précision du déplacement.

## **NORMAL & INVERTED PLUMBLINES**



**Sonde inclinométrique**



## Débit des eaux d'infiltration et de drainage

### MESURE VOLUMETRIQUE AVEC RECIPIENT TARE ET CHRONOMETRE

L'eau qui coule dans une rigole ou qui sort d'un forage, d'un joint ou d'une fissure, est collectée dans un récipient taré et le temps de remplissage nécessaire est mesuré. Il existe aussi des récipients gradués, dans lesquels l'eau est récoltée durant un temps donné. Sur la base du volume, l'échelle donne directement le débit.



Photo 3. Exutoire d'un drain permettant des mesures par empotement depuis le fossé de pied (barrage de Douma, Burkina Faso).



Figure 3.01-1 Exécution d'une mesure volumétrique chronométrée avec un récipient



Figure 3.01-2 Mesure volumétrique d'un débit important au moyen d'un tuyau pivotable

## 9 Débit des eaux d'infiltration et de drainage

### 9.1 DEVERSOIR, CANAL DE MESURE

Le débit est mesuré dans un canal, soit à l'aide d'un déversoir calibré de forme triangulaire ou trapézoïdale, soit à l'aide d'une venturi calibré. Dans les deux cas. On relève le niveau d'eau à l'amont de la zone d'influence directe du déversoir ou du Venturi. La mesure peut se faire à l'aide d'une échelle limnimétrique. D'une aiguille de mesure. D'une sonde à ultrasons, d'une sonde pneumatique ou de pression.



Figure 3.02-01: Déversoir avec aiguille de mesure



Figure 3.02-2: Déversoir avec sonde à ultrasons



Figure 3.02-4: Station de mesure automatique pour débits importants

## 9.2 MESURE DU FLUX DANS LES TUBES (conduite)

Il existe les systèmes suivants :

- a) Dispositifs Venturi
- b) Système électromagnétique ou à ultrasons, sans éléments actifs en contact avec l'eau

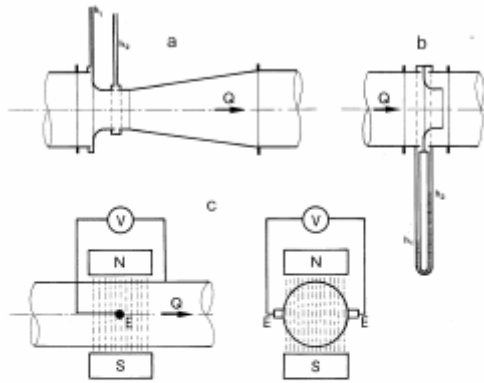


Figure 3.03-1: Principe de mesure

- A) Venturi
- B) Mesure du flux par des buses
- C) Mesure électromagnétique de l'écoulement
- N, S Pôles des champs magnétiques
- E Electrode
- V Voltmètre. La tension se modifie proportionnellement à la vitesse de l'écoulement



## Pression de l'eau dans les barrages en béton

### 9.3 PIEZOMETRES : SYSTEMES OUVERTS (en aval du barrage)

Le niveau de l'eau dans le forage est relevé à l'aide d'un sifflet ou d'un indicateur lumineux.

On distingue trois systèmes pour cet équipement de mesure :

- a) Forage ouvert
- b) Tube piézométrique
- c) Tubes piézométriques avec filtres



Figure 3.05-2: Mesure du niveau d'eau dans un tube piézométrique au moyen d'un câble avec témoin lumineux

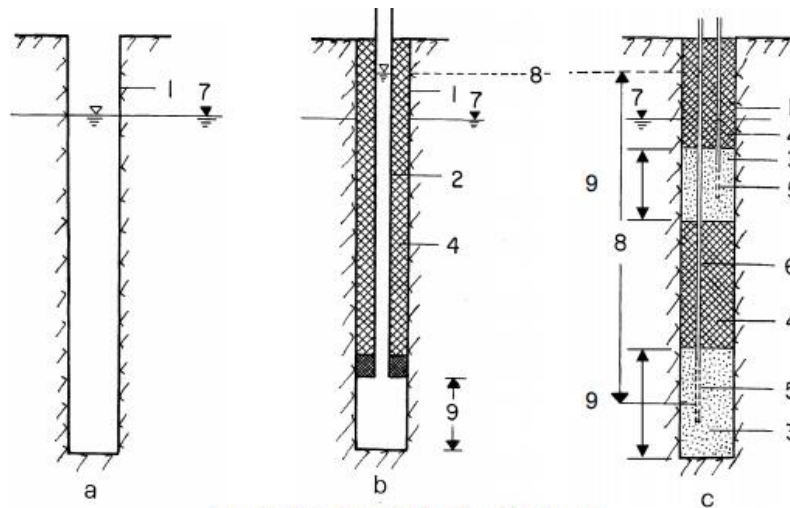


Figure 3.05-1: Trois types de tubes piézométriques ouverts

- |                            |                                     |
|----------------------------|-------------------------------------|
| 1 Forage                   | 6 Tube diamètre intérieur 8 – 12 mm |
| 2 Tube diamètre 50 - 75 mm | 7 Niveau de la nappe phréatique     |
| 3 Sable de quartz          | 8 Hauteur des sous-pressions        |
| 4 Coulis d'injection       | 9 Tronçon de mesure                 |
| 5 Filtre                   |                                     |



#### 9.4 PIEZOMETRES : SYSTEMES FERMES

Dans les équipements de mesure conçus selon le principe du forage fermé, la mesure de la sous pression s'effectue à l'aide d'un manomètre relié au point de mesure situé dans la fondation rocheuse ou au contact béton/rocher par un tube de prise.

Le principe de mesure décrit est appliqué dans les cas où la sous-pression présumée dépasse le niveau de la tête du forage.

Normalement, on distingue les systèmes suivants :

- a) Simple tube avec tronçon de mesure en rocher
- b) Tube avec cloche au contact béton/rocher
- c) Tube avec filtre (avec plusieurs points de mesures dans un forage)
- d) Tube avec cellule de mesure rinçable





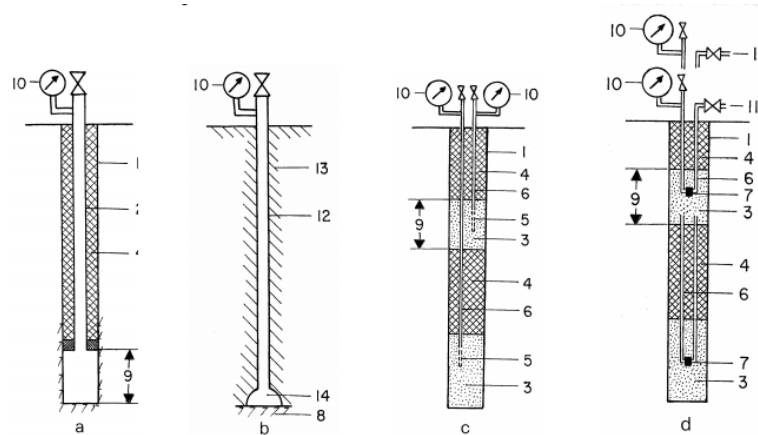


Figure 3.06-1: Quatre types différents de piézomètres

- |   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. Forage   | 8. Fondation rocheuse |
| 2. Tube (diamètre 50 - 75 mm)                                 | 9. Tronçon de mesure  |
| 3. Sable de quartz  | 10. Manomètre         |
| 4. Coulis d'injection   | 11. Robinet de purge  |
| 5. Filtre poreux  |                       |
| 6. Tube en matière synthétique (diamètre intérieur 8 - 12 mm) |                       |
| 7. Cellule de mesure  |                       |

Les forages nécessaires à l'installation des équipements de mesure peuvent être disposés verticalement ou inclinés.

Le type a) permet la mesure de la pression sur la hauteur du forage. Quant au type b), la mesure se limite au contact béton/rocher. Pour les types c) et d), les tronçons entre les zones de mesures sont étanchés par un coulis d'injection. Plusieurs cellules de mesure enrobées par un sable filtrant peuvent être installées dans un même forage.

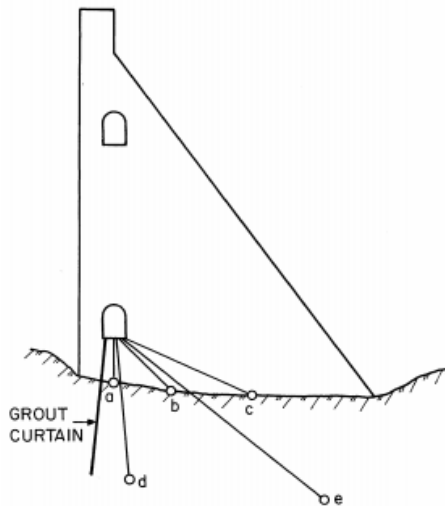


Figure 3.06-2: Disposition typique de prises de pression

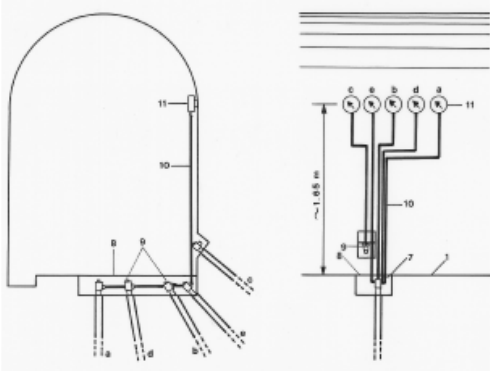


Figure 3.06-3: Raccordement des tubes de prise aux manomètres

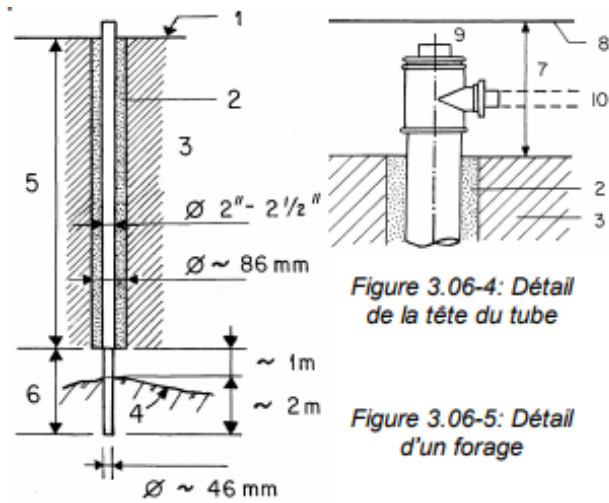


Figure 3.06-4: Détail de la tête du tube

Figure 3.06-5: Détail d'un forage

1. Radier ou paroi d'une niche
2. Coulis d'injection
3. Béton de masse
4. Contact béton-rocher
5. Longueur de forage tubé
6. Forage non tubé
7. Rigole
8. Couverture métallique
9. Pièce à T (par exemple 2" / 1/2") comme fermeture du tube et raccord avec un tube à pression
10. Tuyau flexible ou tube métallique
11. Manomètres

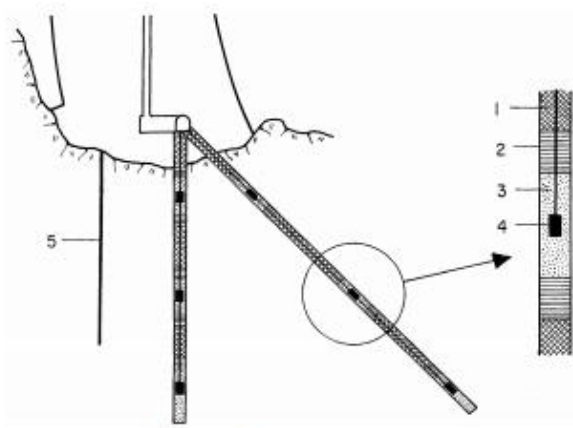


Figure 3.06-6: Disposition typique de prises de pression des types c) et d) dans le massif rocheux sous un barrage en béton

- |                      |                     |
|----------------------|---------------------|
| 1 Coulis d'injection | 4 Piézomètre        |
| 2 Boules d'argile    | 5 Voile d'injection |
| 3 Sable de quartz    |                     |



Figure 3.06-7: Mesure du niveau d'eau au moyen d'une sonde à témoin lumineux ou sonore. Pour des niveaux d'eau supérieurs à la tête du forage, ce dernier est fermé et la sous-pression est mesurée au moyen d'un manomètre



Figure 3.06-8: Mesure de la sous-pression au moyen d'un système fermés avec des points de mesure répartis d'amont vers l'aval. La valeur de la pression du 3<sup>e</sup> manomètre depuis la droite est transmise à distance



Figure 3.06-9: Système fermé avec capteurs électriques de pression avec transmission à distance placés en tête de forage pour éviter des pertes de pression

## Pression de l'eau dans les matériaux meubles

### PIEZOMETRES : SYSTEMES OUVERTS

Le niveau de l'eau dans un barrage en remblai et dans une fondation est relevé à l'aide d'un indicateur lumineux ou d'un sifflet (rarement). Les forages nécessaires pour la mise en place du dispositif de mesure sont exécutés depuis la surface ou depuis une galerie les forages peuvent être verticaux ou (rarement) inclinés.

Pression de l'eau les matériaux meubles

Pour connaître la sous-pression ou les pressions interstitielles en des points donnés d'un barrage en remblai, les piézomètres suivants sont utilisés :

- a) Forage ouvert
- b) Tube piézométrique
- c) Piézomètre avec filtre

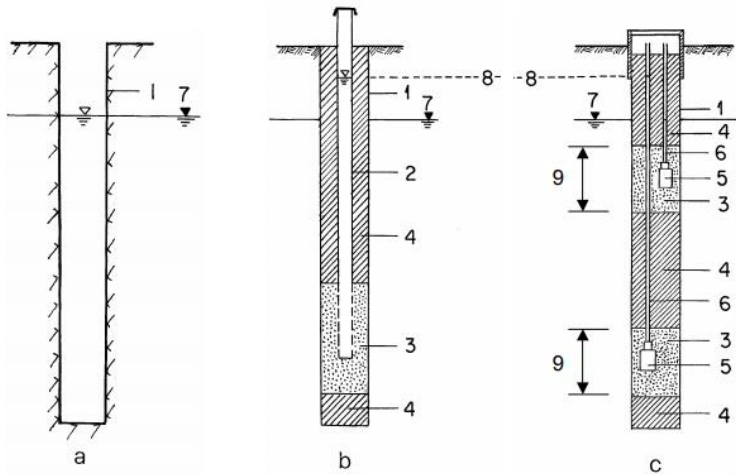


Figure 3.08-1: Trois types différents de tubes piézométriques

- |  |  |
|--|--|
| 1 Forage                                   | 6 Tube en matière synthétique (diamètre intérieur 8 à 12 mm) |
| 2 Tube perforé (diamètre 50 – 70mm)        | 7 Nappe phréatique   |
| 3 Sable                                    | 8 Niveau d'eau   |
| 4 Coulis d'injection (remplissage étanche) | 9 Tronçon de mesure  |
| 5 Filtre poreux                            |  |

## PIEZOMETRES : SYSTEMES FERMES

Dans les équipements conçus selon le principe du forage fermé, la mesure de la pression d'eau s'effectue à l'aide d'un manomètre qui est relié par un tube de prise au point de mesure situé dans le barrage en remblai ou dans la fondation. Le principe de mesure est appliqué dans le cas où la pression présumée dépasserait le niveau de la tête du forage.

On distingue les différents systèmes suivants :

- a) Simple tube
- b) Tube piézométrique
- c) Piézomètre avec filtre (type Casa grande)

## PIEZOMETRES : CELLULES DE PRESSION HYDRAULIQUE)

Ces cellules de pression (piézomètres) mesurent les pressions de la nappe et les pressions interstitielles dans un barrage en remblai et sa fondation. La pose a lieu au cours de la mise en place du remblai, dès que la digue a atteint le niveau prévu. Dans la fondation, les cellules piézométriques sont installées dans des forages. La liaison des piézomètres avec la station où les mesures sont généralement centralisées, est assurée par des tuyaux flexibles ou des câbles électriques.

On distingue principalement 3 types de cellules piézométriques :

Piézomètres pneumatiques (cellule à membrane fonctionnant comme soupape) : La pression à l'intérieur de la cellule de mesure est élevée au moyen d'un gaz (par exemple de l'azote) ou, plus rarement, d'huile, jusqu'à ce qu'elle égale la pression extérieure à mesurer. La soupape s'ouvre

(PNEUMATIQUE, ELECTRIQUE ET

Alors provoquant l'égalisation de la pression dans les conduites d'alimentation et de retour reliant la cellule à la station de mesure. La pression ainsi établie est indiquée au poste de lecture. Piézomètres électriques : La pression interstitielle agit sur une membrane fixée dans la cellule. La déformation qui en résulte est transmise à la station de mesure au moyen d'un câble électrique, en utilisant le principe de la corde vibrante ou celui de la résistance électrique.

Piézomètres hydrauliques : La cellule consiste en un élément poreux (filtre) relié à la station de mesure par deux tuyaux flexibles remplis d'eau désaérée. La pression interstitielle est mesurée soit directement au moyen d'un manomètre, soit indirectement par un capteur de pression avec indicateur électrique.

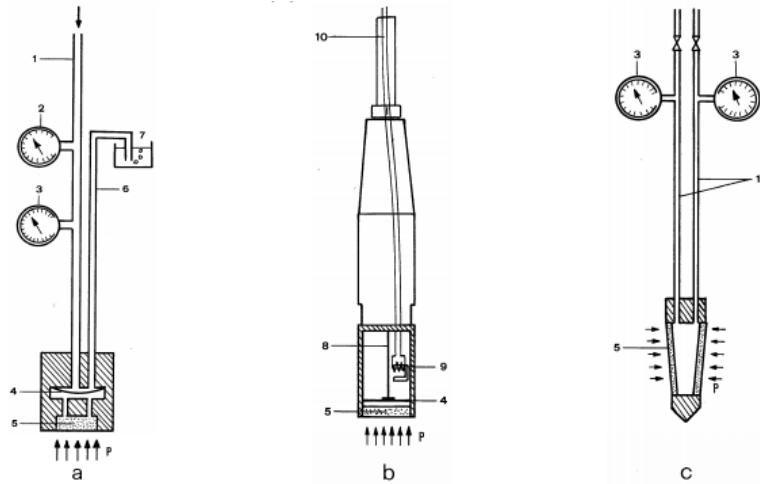
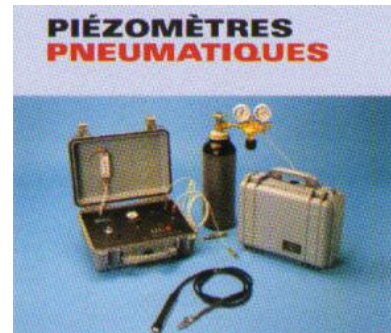
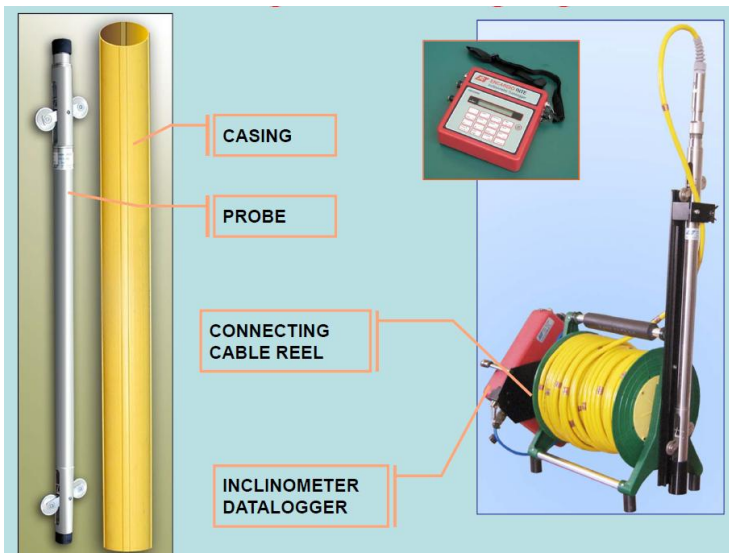


Figure 3.10-1: Deux types différents de cellules piézométriques

- |  |   |
|--|---|
| a) piézomètre pneumatique                      | 5 Filtre poreux                         |
| b) piézomètre électrique (avec corde vibrante) | 6 Conduite de retour                    |
| c) piézomètre hydraulique                      | 7 Témoin de circulation de gaz          |
| 1 Conduite sous-pression                       | 8 Corde vibrante                        |
| 2 Régulateur du volume de gaz                  | 9 Bobine électrique                     |
| 3 Manomètre                                    | 10 Câble de transmission                |
| 4 Membrane                                     | 11 Conduite contenant de l'eau désaérée |





### SEISMOGRAPH



GPS

