



Groupe de travail Instrumentation des ouvrages géotechniques

SOMMAIRE DETAILLE GLOBAL

1. Introduction limites document- Dominique ALLAGNAT

Le chapitre 1 doit répondre en particulier aux questions suivantes :

- *Pourquoi ce document ? Établi dans quel contexte ?*
- *Quel en est l'usage ?*
- *Quelles sont les limites ?*
- *Contexte géotechnique et instrumentation*
- *Quels sont les documents « d'appui » ?*

1.1. Présentations générale du document avec : objectifs du groupe de travail de la CST/CFMS et l'organisation des différents chapitres (architecture du document pour le lecteur).

1.2. Définition des limites : non exhaustivité des techniques / technologie mais accent sur le projet d'instrumentation (≠ catalogue). Pour les ouvrages souterrains et barrages on s'appuie largement sur les recommandations existantes (AFTEs et CFBR), évolution rapide de certaines méthodes / technologies.

On fera référence à l'historique de l'instrumentation / observations en cours de construction par exemple...

1.3. Contexte géotechnique et objectifs généraux de l'instrumentation :

On développera ici l'argumentaire en faveur de l'instrumentation des ouvrages géotechniques en précisant bien les objectifs du projet d'instrumentation

- Temporel = avant, pendant et après travaux
- Ouvrages géotechniques complexes = incertitudes / comportement
- Objectifs pour l'ingénierie de la construction

1.4. Synthèse de bibliographie

Une liste bibliographique sera donnée en annexe.

Il s'agit ici de faire une synthèse de l'analyse bibliographique avec un classement par exemples : normes, documents généraux de référence, documents particuliers, articles de référence ...

2. Recommandations générales / projet d'instrumentation - Dominique ALLAGNAT

L'objectif principal de ce chapitre est de définir le contenu d'un projet d'instrumentation d'ouvrage géotechnique et les questions essentielles à se poser.

- Quelles sont les problématiques rencontrées ? (par ex : compressibilité du sol de fondation = résistance du sol, amplitude des tassements, durée de consolidation, tassements résiduels, fluage, .), les points sensibles, les risques...
- Pour chaque problématique quels sont les objectifs de l'instrumentation ? Quels sont les paramètres à suivre ? Les plages de variation, les seuils ?
- Quels sont les avertissements / REX ? Les points de vigilance ?
- Quels sont les documents à produire a minima pour le projet d'instrumentation ? Avec les différentes phases (AVP, PRO, EXE...Récolement) ?
- Quelle est l'organisation (dans la globalité de l'action d'instrumentation) à mettre en œuvre = depuis l'installation, la réalisation des mesures, la qualification et l'interprétation en termes de géotechnique ?
- Arbre de décisions ?
- Maintenance prédictive et curative...

3. Généralités sur l'instrumentation et les mesures - Laurent BRIANCON

Dans ce chapitre, on précisera les notions importantes de métrologie. Il s'agit de bien préciser les termes utilisés et leur définition.

3.1. Principaux paramètres mesurés

3.1.1. Mécaniques

3.1.2. Géométriques

3.1.3. Hydrauliques

3.1.4. Environnementaux

3.2. Le capteur

3.2.1. Technologie de mesure

Electrique, électromagnétique, optique...

3.2.2. Signal de sortie

Fréquence, courant, tension, optique...

3.2.3. Transformation en mesure physique

3.3. La mesure physique

3.3.1. Caractéristiques métrologiques

3.3.2. Erreur et correction (au niveau du capteur lui-même, la correction de la mesure du capteur dans son environnement est dans le chapitre 5)

4. Choix des capteurs et mesures intégrantes - Fabien SZYMKIEWICZ

4.1. Environnement de l'instrumentation

a) Objectifs de l'instrumentation

b) Durée du suivi

- Prise en compte du fluage
- Durabilité
- Variation de température

c) Contexte géotechnique

- Variation des niveaux d'eau
- Excavations changeant l'exposition au soleil ...

d) Interactions avec le phasage des travaux et nuisances possibles

- Traiter du phasage des travaux pour une installation adaptée des capteurs (durée de service, entretien/suivi/robustesse, ...).
- Vibrations, travaux susceptibles d'endommager l'instrumentation, ou de la masquer.

4.2. Choix des capteurs

a) Paramètres à monitorer

- Traiter le sujet du caractère intrusif ou non du capteur dans le « matériau ».

b) Définition des plages de mesures

c) Précision sur les mesurandes

- En prenant en compte l'environnement i.e « précision dégradée »

d) Densité des mesures ?

- Temporelle
- Spatiale

- e) Mesures directes ou indirectes**
- f) Autonomie**
- g) Accessibilité du site**
- h) Mesures locales ou déportées**

4.3 Choix de la technologie

a) Déplacements

- LVDT, palpeur, pointeur laser, stations totales, imagerie, accéléromètres

Points d'attention particuliers : météo, points « fixes » pour lvdt ou même stations totales, vitesse d'acquisition

b) Tassements

c) Inclinaisons

d) Déformations

- Jauges, CV, FO, accéléromètres

Points d'attention particuliers : durabilité, météo, vitesse d'acquisition

e) Contraintes (y compris mesures indirectes) / pression / succion

Mesures directes ou indirectes

- Capteur pression totale, jauges, CV, FO (y compris pression eau pour niveau eau et pression interstitielle)

f) Efforts

Mesures directes ou indirectes

g) Teneur en eau

h) Accélération

5. Gestion des mesures, analyse et interprétation - Christophe CHEVALIER

5.1. Acquisition et Gestion des mesures

Dans ce chapitre, il paraît nécessaire de distinguer :

- Les mesures statiques ou dynamiques ;
- Les unités mobiles de mesures ou les systèmes d'acquisition installés à demeure (en relation avec la qualité des mesures attendues) ;
- La volumétrie des données (big data..., etc...).

Question de la redondance + robustesse.

Intégration des capteurs ?

Alimentation (autonome ou pas ?) capteurs / centrale acquisition-traitement

Périodicité/fréquence de l'acquisition

Durée Instrumentation

Stockage interne / (télé) transmission

Mesures au niveau du capteur > échantillonnage-traitement > mesure de sortie

Gestion des données et Surveillance

5.2. Prétraitement

Analyse de la fiabilité (pré-traitement)

« Précision » de la mesure + contrôle de la mesure « qualification » de la mesure (renvoyer la « théorie » de la mesure au chapitre 2)

Correction de mesure (mesures aberrante) ?

Correction faisant suite à une intervention / maintenance sur site...

Correction par rapport aux paramètres environnementaux (température, humidité...) ? ...)

Mesure unique VS réseau de capteurs

Analyse spatiale / analyse temporelle / analyse multicritère ?

5.3. Méthodes d'analyse

Quels critères pour choisir ?

Quantité/type/complémentarité de données ...

Modèle « déterministe » ?

Question de la « convergence » des données + Fiabilité de la/des mesure(s) (indicateurs)

5.3.1. Analyses statistiques / Probabilistes

5.3.2. Analyse inverse

5.3.3. Méthodes observationnelles / analyse en continu et adaptation

5.3.4 Réseau de Neurones / Intelligence artificielle

5.3.5 Gestion alarmes / seuils, mesures

(différentielles, absolues, calibration ...)

6. Recommandation par type d'ouvrage -Arnaud LAFOURCADE

Important de conserver une introduction à ce chapitre qui reprecise certaines généralités et qui explique la « grille de lecture ».

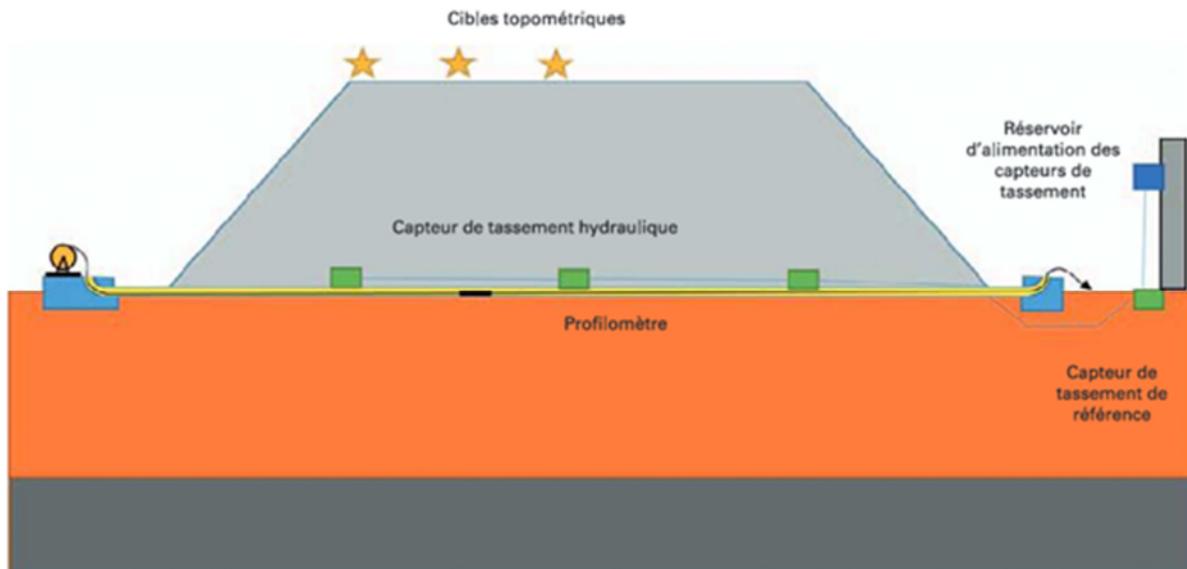
- Définition du besoin d'instrumentation
 - Surface à instrumenter (en relation avec la ZIG)
 - Information recherchée /notion de maîtrise des risques
 - Densité d'instrumentation
 - Temporalité du suivi (durée/fréquence)

6.1. Impact sur les mitoyens

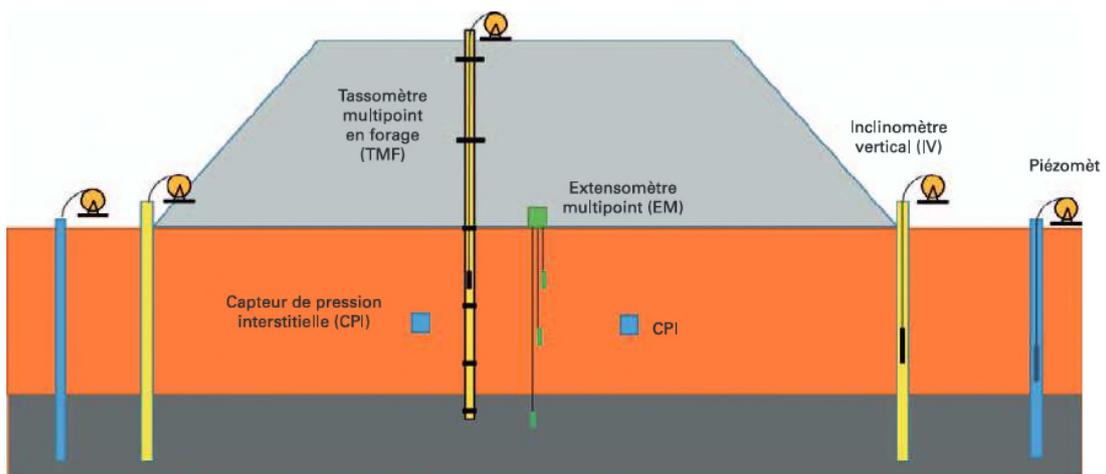
- Pz
- CPI
- Inclinomètres, clinomètres
- Repères topographiques
- Mesures vibratoires
- Fibre optique
- Mesures distantes (Lidar, photogramétrie)

6.2. Remblais (remblais seuls)

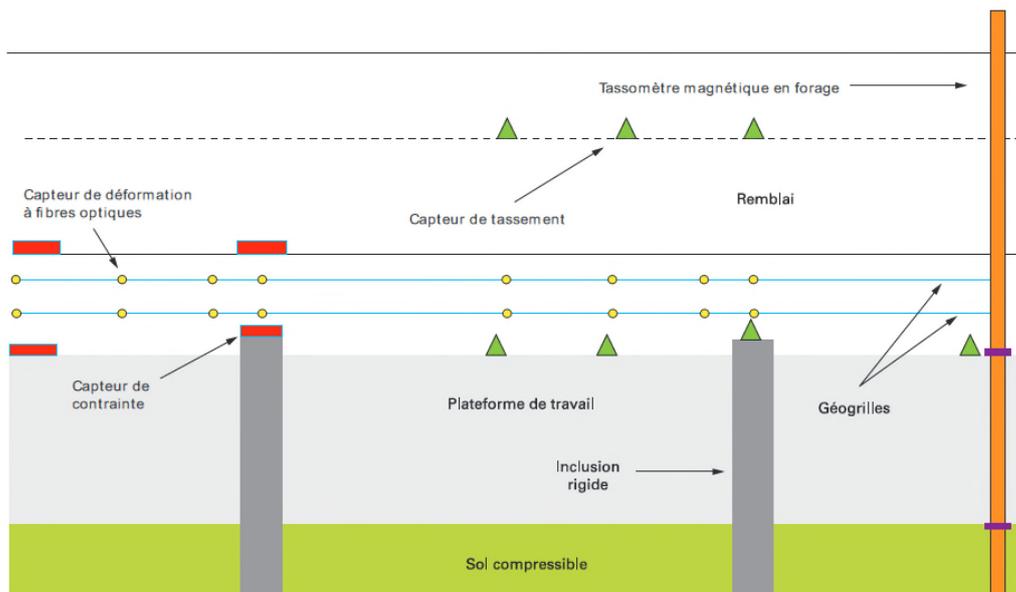
- Sols déformables
 - Piges topographiques / Repère de référence
- Sols compressibles
 - Pz
 - CPI
 - CPT
 - Piges topographiques / Repère de référence
 - Tassomètres multipoint
 - Tassomètres de profondeur
 - Tassomètres de surface (à boule)
 - Profilomètres
 - Fibre optique (déformation)
 - Inclinomètre en forage
 - Sondages complémentaires au cours de la montée de remblai (CPT, Scissomètre)



*Exemple d'instrumentation d'un remblai sur sol compressible (installation sous remblai)
(extrait doc. Technique de l'ingénieur)*



*Exemple d'instrumentation d'un remblai sur sol compressible (profil vertical)
(extrait doc. Technique de l'ingénieur)*



Exemple d'instrumentation d'un remblai sur sol compressible renforcé par inclusions rigides
(extrait doc. Technique de l'ingénieur)

6.3. Rabattement de nappe

- Suivi du rabattement
 - CPI
 - Pz
 - Suivi topographique
- Suivi des débits
- Suivi de la ré-infiltration
- Impact sur les mitoyens

6.4. Déblais (déblais seuls)

- Impact sur les écoulements hydrauliques (cf. rabattement de nappe)
- Impact sur les mitoyens
- Stabilité des talus

6.5. Ecrans de soutènement

- Impact sur les mitoyens
- Éléments de soutènement
 - Mesures de contraintes / d'efforts
 - Déplacements (tête, ventre, pied) / cibles topographies

6.6. Fondations

- Grands radiers
 - Impact sur les mitoyens
- Fondations profondes
 - Contraintes/déformations matériaux
 - Déformation fondation (inclinométrie, fibre optique)
- Fondations battues
 - Impact sur les mitoyens

6.7. Talus naturels (sols meubles / sols rocheux)

- Suivi des déformations
 - Inclinomètres, clinomètres, distancemètres
 - Extensomètres
 - Repères topographiques
 - Fibre optique (déformations)
- Suivi des niveaux nappe / charge hydraulique
 - Pz / CPI
 - Suivi pluviométrique
 - Suivi d'éléments extérieurs (température, vibrations, sismique)

6.8. Digue (cf. remblais)

- + Recommandations CFBR
- Détection des fuites par FO

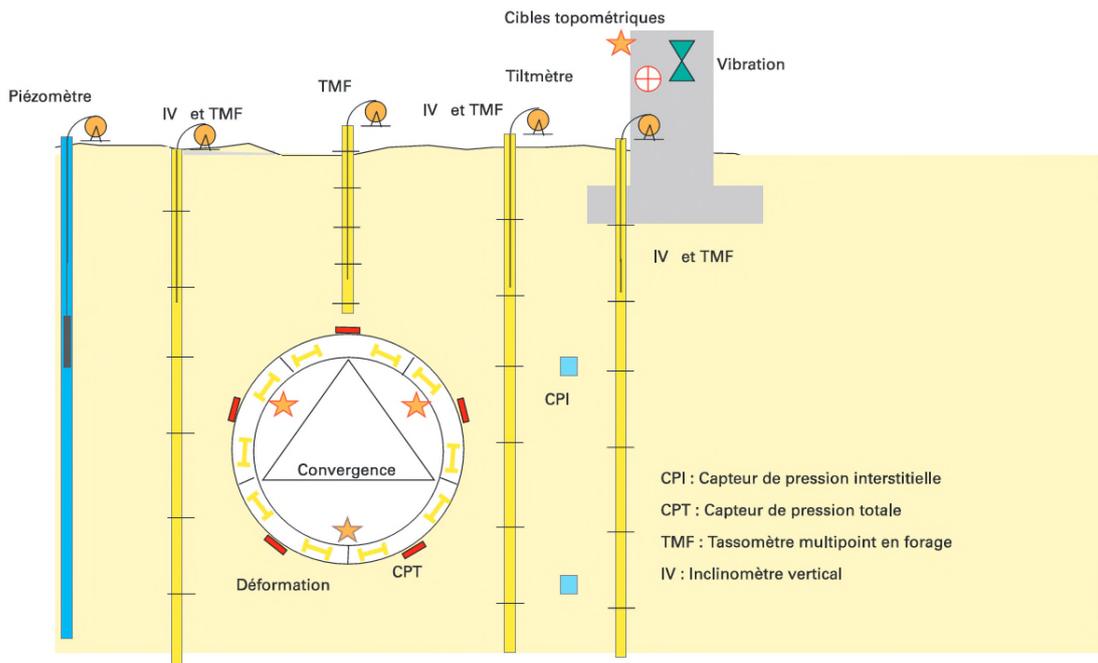
6.9. Tunnels

- Recommandations AFTES + ?
- Repères topographiques
- CPT, CPI
- extensomètre

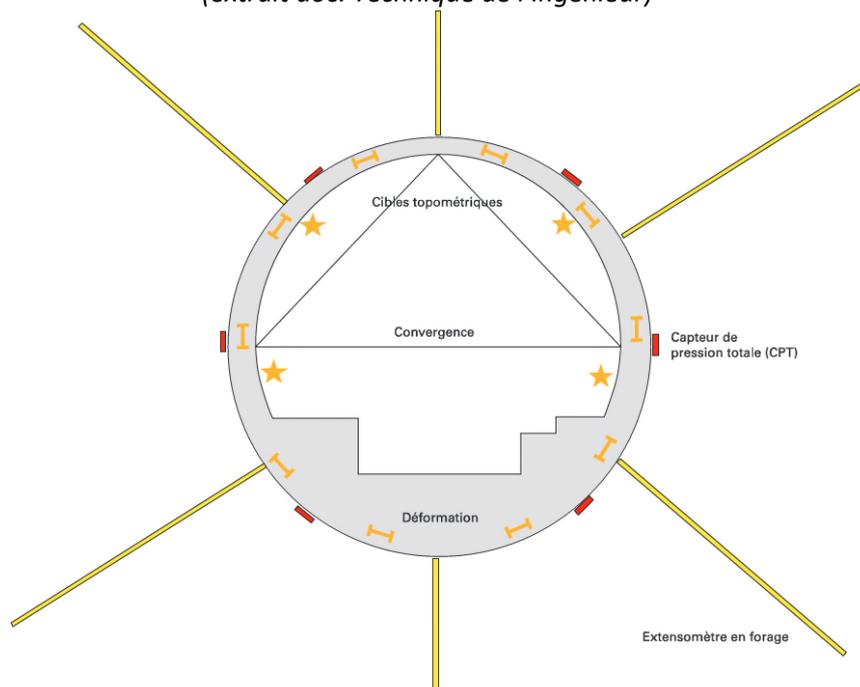
6.10. Techniques sans tranchée (microtunnels, forages dirigés, ...)

6.11. Remblais/plates-formes avec risque cavité

6.12. Autres ouvrages



*Exemple d'instrumentation d'un ouvrage souterrain en zone urbaine
(extrait doc. Technique de l'ingénieur)*



*Exemple d'instrumentation d'un ouvrage souterrain profond
(extrait doc. Technique de l'ingénieur)*

Annexes

1. Bibliographie
2. Exemple d'instrumentation d'ouvrages géotechniques (fiches 1 A4 R/V par exemple)
 - Projet/problématique
 - Schéma de l'instrumentation (vue en plan et/ou coupes types)
 - Descriptif de l'instrumentation (matériels)
 - Exemples de résultats (courbes)
 - REX et synthèse
 - Quelques photographies
 - Coût de l'instrumentation (en %/ coût de la construction)