

Demi-journée scientifique et technique
« Recommandations relatives à l'instrumentation des ouvrages géotechniques »

CHAPITRE 1 & 2 PÉRIMÈTRE DES RECOMMANDATIONS ET PROJET D'INSTRUMENTATION

Dominique ALLAGNAT

11 SEPTEMBRE 2025

Sommaire de la présentation

- Le contexte
- Les objectifs du guide
- Limites et contenu
- Projet d'instrumentation, les problématiques géotechniques
- Projet, les contraintes particulières
- Projet, la maintenance et la documentation
- Synthèse

Contexte

Historique

Instrumentation / auscultation des ouvrages géotechniques

Parallèle avec les sciences médicales (Laennec, 1781 - 1826) créateur diagnostic médical par auscultation grâce au stéthoscope

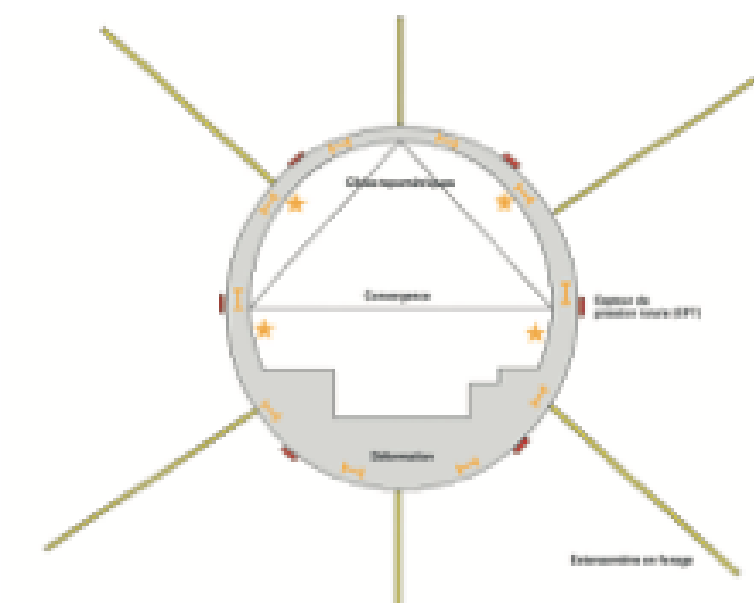
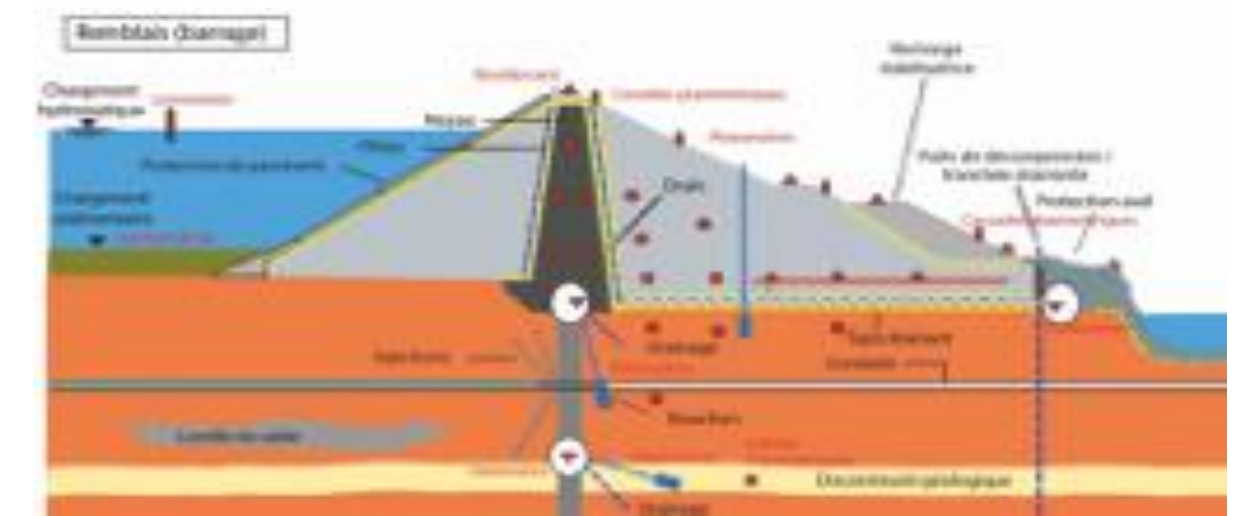
André Coyne (Stockholm, 1933) a introduit les témoins sonores dans les barrages

Barrages (sécurité civile)

Ouvrages souterrains (sécurité des travaux)

Remblais sur sols compressibles / mous (sécurité/rupture)

Plus récemment, l'évolution des technologies (capteurs, acquisition, analyse...) => extension de l'instrumentation aux ouvrages plus courants



Demandes au sein de la CST (Groupe Jeunes) et la Profession

Demande au sein de la CST de recommandations générales sur l'instrumentation en géotechnique (*« Comment s'y prendre pour mettre en œuvre une instrumentation ? »*), même s'il existe déjà:

- Recommandations AFTES pour les ouvrages souterrains
- Documentation relative aux barrages
- Documentation et REX pour les remblais sur sol compressibles / mous...

Au sein de la profession, retours parfois négatifs de certains MOA/MOE/ENT:

« Ça ne marche jamais correctement ! »

« On est noyé sous les Mo/Go de mesures et on ne sait pas quoi en faire ! »

« Un seuil est dépassé => les capteurs ne marchent pas ! Ou que dois-je faire ? »

« Quelles décisions prendre ? » Etc...

Ces recommandations ont aussi pour objectif d'améliorer sensiblement la perception de l'instrumentation

Objectifs du guide

Un groupe de travail élargi pour des Recommandations générales

Groupe de travail (2020 – 2025) composé de 16 membres = partage de compétences d'expertises et de REX

MOA, MOE, Recherche Universitaire, BE spécialisés en ingénierie géotechnique, Bureaux de contrôle, Entreprises spécialisées en instrumentation, Entreprise de construction...

Recommandations synthétiques, traitant tous les types d'ouvrages géotechniques et non un « catalogue » de capteurs ou de solutions technologiques pour l'instrumentation.

Importance du PROJET d'instrumentation en s'appuyant sur la problématique géotechnique concernée par l'ouvrage à construire (véritable projet d'ingénierie géotechnique)

Les limites

L'instrumentation « au service » de l'ingénierie spécialisée pour :

- Valider le comportement de l' OG et son environnement / études
- Adapter si nécessaire les ouvrages géotechniques (complexes)
- Piloter la construction en garantissant sa sécurité
- Surveiller le comportement LT des ouvrages sensibles
- Permettre une meilleure compréhension du comportement des ouvrages et ainsi améliorer leur conception future

Ces recommandations s'appuient sur les normes recommandations existantes (ex AFTES)

Le sujet d'instrumentations spécifiques / projets de R&D n'est pas traité.

Contenu du guide

8 chapitres, 135 pages

- ➡ 1 Introduction et limites des recommandations
- ➡ 2 Recommandations générales - Projet d'instrumentation
- ➡ 3 Généralités sur l'instrumentation et les mesures
- ➡ 4 Choix des capteurs et mesures intégrantes
- ➡ 5 Gestion des mesures, analyse et interprétation
- ➡ 6 Recommandations par type d'ouvrages
- ➡ 7 et 8 Bibliographie et Annexes (13 exemples type d'instrumentation avec pour chacun: le contexte, la problématique, des schémas et résultats types et le REX)

Le Projet d'Instrumentation

Une réflexion d'ingénierie

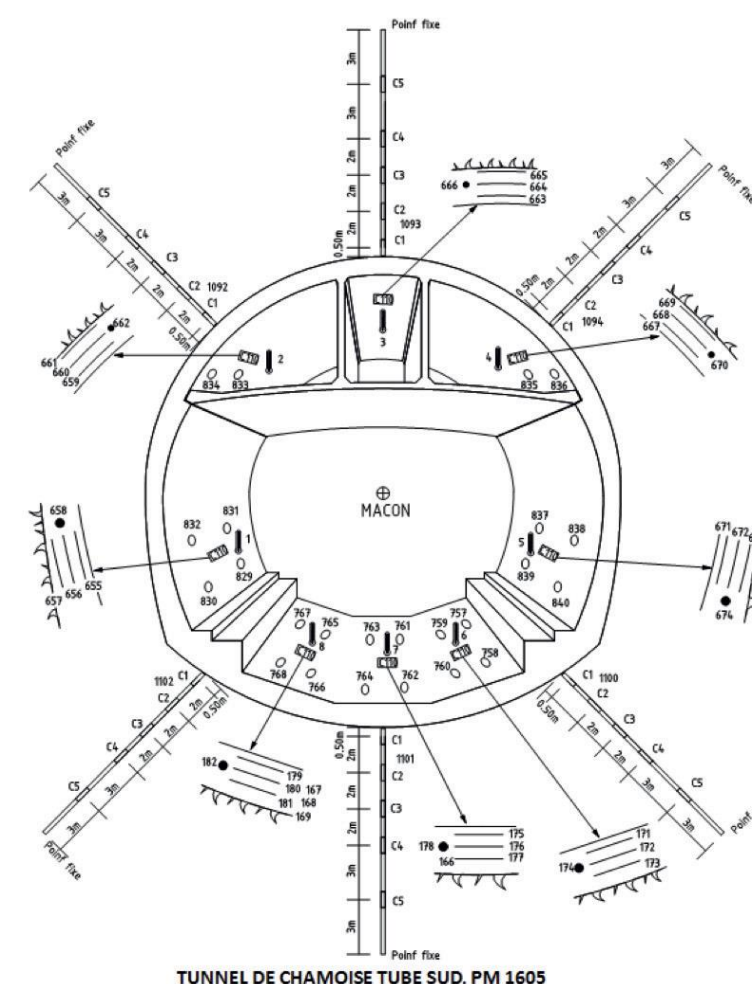
Quelques questions essentielles dès le début de projet

- **Problématiques géotechniques ?** Incertitudes ? Points sensibles? Risques ?
- Objectifs précis de l'instrumentation? Paramètres à suivre ? Plages de variation ? Seuils ?
- Organisation à mettre en œuvre ? Depuis conception, installation, mesures, interprétation, jusqu'à l'arbre de décisions.
- Contraintes pour assurer la maintenance prédictive et curative ?
- Précautions spécifiques / REX d'ouvrages similaires ? Points de vigilance ?
- Etudes et documents à produire pour le Projet d'Instrumentation? Pour chaque phase du projet.

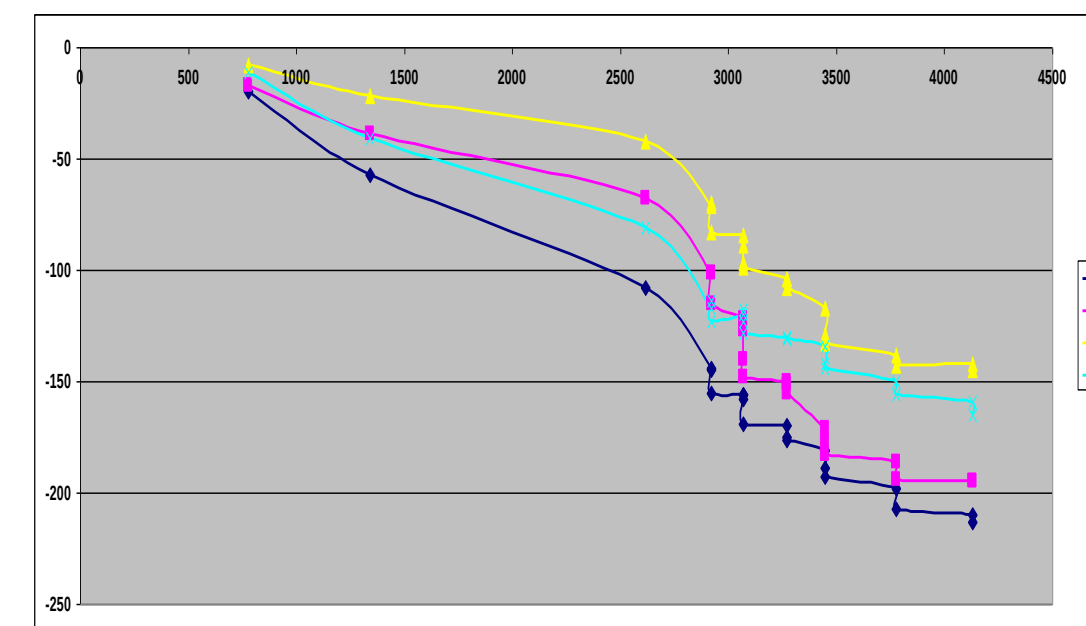
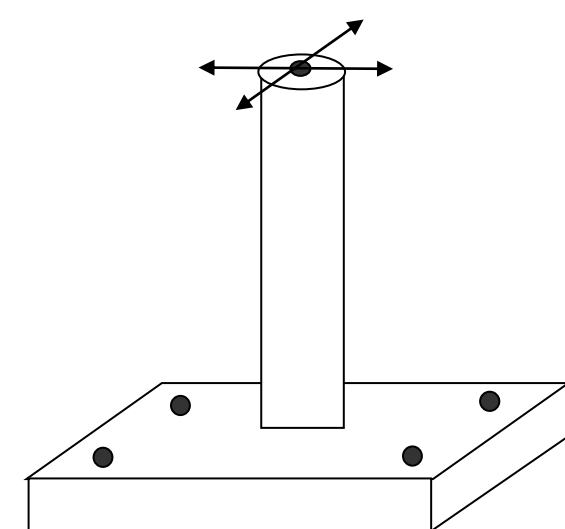
Le Projet d'Instrumentation

Deux exemples de complexité

A chaque problématique son projet d'instrumentation



Tunnel profond Forte couverture, marnes => comportement différé => instrumentation pour le LT avec 180 capteurs sur cette section



Semelle superficielle => fondation hétérogène => seulement 4 repères de nivellement sur semelle et cible topo en tête de pile et évaluation de la charge avec les volumes de bétonnages successifs lors de la construction.

Le Projet d'Instrumentation

les problématiques les plus courantes

Les problématiques géotechniques et leur implication sur le Projet d'instrumentation

- Grands ouvrages en terre en remblai (y compris digues et barrages en terre)
- Talus de déblais profonds (sols meuble et rocheux)
- Améliorations et renforcements de sols (toutes les techniques conduisant à une amélioration des sols de fondation)
- Ecrans de soutènement (structure de soutènement et avoisinants)
- Pentes naturelles et falaises (glissements et chutes de blocs)
- Ouvrages souterrains (ouvrages profonds et ouvrages en site urbain)
- Fondations superficielles (fondations classiques et radiers)
- Fondations profondes (fondations classiques et IR)
- Ouvrages existants (gestion patrimoine)

Il ne s'agit pas de détailler l'instrumentation recommandée (qui est l'objet du chapitre 6), mais d'inviter le lecteur / concepteur à une réflexion technique approfondie avant l'élaboration du projet d'instrumentation.

Le Projet d'instrumentation

Les contraintes particulières

Contraintes particulières pour le projet d'instrumentation

Contraintes issues du REX du Groupe de Travail

- Facteur temps (vitesse du phénomène géotechnique à observer)
- Incertitudes (ensemble de la chaîne, souvent difficiles à évaluer a priori)
- Redondance du système (temporelle, spatiale, technologique pour fiabiliser le système d'instrumentation)
- Mesures des contraintes à l'interface sol-structure (souvent difficiles à mettre en œuvre)
- Mesures des pressions interstitielles (attention particulière / représentativité, par ex. saturation...)
- Influence de l'environnement sur l'ouvrage géotechnique (température, pressions, perturbations des travaux, phasage...)
- Arbre de décisions et responsabilités associées (rôle du responsable de la réalisation des mesures)

Le Projet d'instrumentation

La Maintenance

La maintenance = un point important du projet

La maintenance est souvent oubliée lors de l'établissement du projet d'instrumentation. Or elle est essentielle en termes d'organisation et de budget et doit être anticipée. Les OG = un environnement sévère pour le matériel.

Premier questionnaire = la durée de vie attendue & fiabilité

- soit pour la durée des travaux ou poursuite de l'instrumentation sur plusieurs années, voire décennies
- quel niveau de fiabilité attendue ? => choix des matériels, procédures d'étalonnage, redondance du système...

Maintenance

- REX = sensibilisation parfois délicate, y compris pour les systèmes de mesures automatiques
- MAINTENANCE PREDICTIVE (contrôles périodiques, contrôle du signal si une procédure d'étalonnage n'est pas possible etc.)
- MAINTENANCE CURATIVE (remplacement lorsque c'est possible ou conception d'instrumentation différente...)

Le Projet d'instrumentation

La Documentation

Etudes et documentations évolutives / Phases du Projet

Au même titre que le projet géotechnique ou le projet général, selon **trois phases principales**:

- Conception initiale
- Conception détaillée
- Exécution

Documentation la plus complète possible

Rapports d'études

Plans +/- détaillés

Spécifications techniques

Procédures (installation, contrôles, mesures, analyse et interprétation)

Planning

Plan de maintenance

Budgets

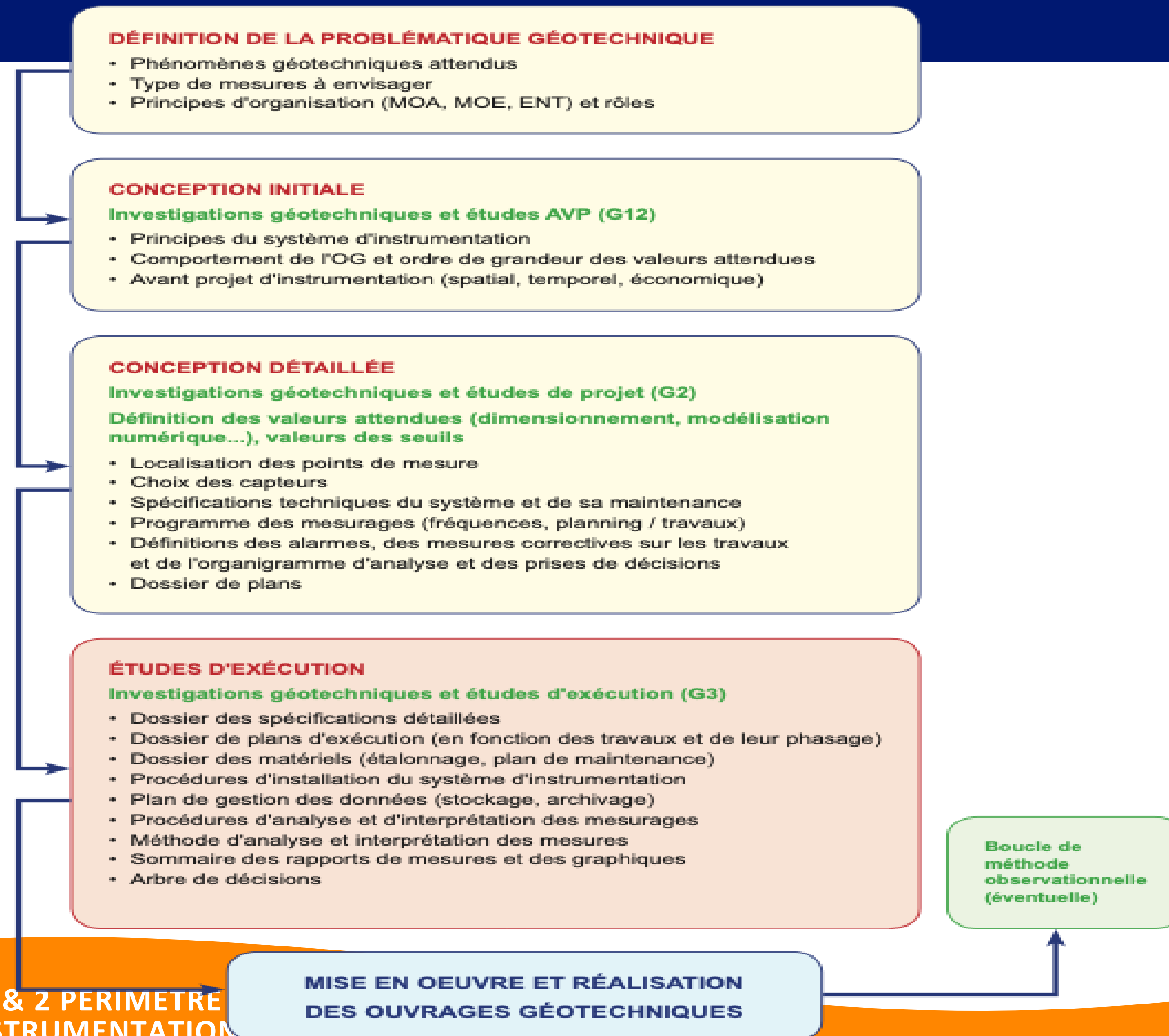
Le Projet d'Instrumentation Synthèse

La réussite du PROJET d'instrumentation passe par

- Réflexion d'ingénierie approfondie sur la **problématique géotechnique**: objectifs, paramètres clés, points sensibles, risques
- **Procédures et plans** en accord avec les différentes phases d'étude
- Mise en œuvre par des **personnels qualifiés et expérimentés**
- **Un protocole précis d'enregistrement** des valeurs mesurées
- Définition préalable d'un **arbre de décisions / seuils fixés à l'avance**
- **Analyse des mesures** / environnement de travaux et conscience des limites / expérimentations en laboratoire
- **Interprétation / comportement attendu** de l'ouvrage avec outils simples, rapides et robustes
- **Expertises**

Le Projet d'Instrumentation

Synthèse - Logigramme



Périmètre des recommandations et projet d'instrumentation

Merci pour votre attention