

Chapitre III - Pertinence, ampleur, et phasage de la reconnaissance géotechnique, Etudes documentaires ; Méthodes de prospection géophysique, forages et diagraphies

III.1. Introduction

Les moyens de reconnaissance sont divisés en deux catégories principales : (i) les **méthodes d'observation du terrain soit en place, soit à l'aide d'échantillons**, peuvent être considérées comme le prolongement en profondeur de la géologie de surface (ii) et les **méthodes de mesure in situ** qui sont basées sur la mesure des propriétés physique qui peuvent être mécanique, électrique, hydraulique etc. d'un terrain.

A la première catégorie appartiennent les tranchées, puits, galeries et sondages de reconnaissance (**qui est l'objectif principal de ce présent chapitre**). A la seconde, les essais géophysiques, mécaniques et hydrauliques. Par rapport aux essais de laboratoire, les essais in situ présentent un certain nombre d'avantage à savoir :

- Coût moins élevé ;
- Remaniement du terrain généralement moindre.

Cependant ne peuvent se substituer entièrement aux essais de laboratoire qui restent irremplaçables pour le calcul précis des fondations ou des ouvrages souterrains.

III.2. Techniques de prélèvement des sols et des roches

III.2.1. Tranchées et Puits

Ces deux techniques permettent la réalisation d'une reconnaissance à **faible profondeur** et peuvent se faire par des engins de travaux publics (ex : pelle mécanique). Leurs objectifs sont multiples dont il s'agit de :

- Rechercher le substratum imperméable sous une couverture peu épaisse ;
- Déterminer l'épaisseur d'altération de ce substratum ;
- Faire un prélèvement d'échantillons remaniés et intacts pour identification et essais mécaniques.

Les deux **techniques employées** dépendent des **conditions d'accès**, des **disponibilités locales en matériels ou en personnels** et des **prix de revient** (prix de réalisation des essais) qui sont très variables selon les pays. Les **avantages** de ce type de reconnaissance sont nombreux à savoir :

- Elles conviennent à tous les cas et peuvent être réalisées ;
- Si la mécanisation est possible, la rapidité d'exécution est grande et le prix de revient est faible ;
- La souplesse d'emploi est considérable ;
- Le creusement de ces ouvrages et leurs tenues dans le temps fournit des informations précieuses pour les travaux ultérieurs.

Cependant, les inconvénients de ces deux techniques de reconnaissance sont liés notamment :

- A la cohésion insuffisante du terrain qui peut imposer un soutènement (augmentation du délai d'exécution et du coût) ;
- Aux terrains durs (rocheux) ce qui imposent un coût d'excavation important ;
- A la présence d'une nappe phréatique à faible profondeur.

Malgré ces défauts, le domaine d'application reste vaste particulièrement les cas où les couches superficielles se trouvent impliquées, tels que :

- Etudes de fondations ;
- Recherche de matériaux meubles ;
- Etude des sites de barrages, etc.

III.2.2. Galeries

Il s'agit d'une technique beaucoup plus coûteuse qui n'est généralement mise en œuvre que pour des reconnaissances à gros budget (appuis de barrage, travaux souterrains). Les buts restent sensiblement les mêmes que dans le cas précédent, mais l'accent est mis sur la reconnaissance du « **bed-rock** » (nature, fracturation et altération) et sur la possibilité de réaliser des essais in-situ. Les avantages de cette technique de reconnaissance sont nombreux à savoir :

- Disponibilité permanente des observations ;
- Possibilité de réaliser une très vaste gamme d'essai ;
- En percement manuel, très grande souplesse d'emploi; le tracé notamment peut être conduit de manière à s'adapter aux détails structuraux du sous sol ;
- Possibilité de réemploi dans des ouvrages définitifs, soit directement (galerie de visite ou d'injection), soit après élargissement (reprise d'une galerie de reconnaissance en galerie de dérivation provisoire sur un site de barrage).

Cependant, l'inconvénient principal est le **prix de revient**, conditionné par le mode d'exécution, manuel ou mécanique. Dans ce dernier cas, la hauteur minimale de la galerie sera de l'ordre de 2.20 m.

III.2.3. Sondages mécaniques carottés

La gamme des moyens de **sondage mécanique** est très étendue, qu'il s'agisse de la **puissance des appareils**, du **mode de perforation**, des **diamètres employés** et des **profondeurs atteintes**. Si les sondes pétrolières permettent le forage à plusieurs milliers de mètres de profondeur, les performances des machines utilisées en génie civil sont plus modestes, puisque la quasi-totalité des reconnaissances géotechniques n'intéressent qu'à des profondeurs comprise entre 0 et 100 m; les investigations de 100 à 300 m sont donc rares; enfin ce n'est qu'exceptionnellement que des projets nécessitent des forages profonds.

Il importe donc que le géologue connaisse, au moins sommairement, les possibilités et les performances de divers types de matériel, ainsi que leurs contraintes de mise en œuvre et leurs prix de revient, afin de faire un choix correct pour résoudre au mieux ses problèmes. Il se doit également d'exploiter le plus complètement possible les résultats obtenus en raison de leur coût élevé. D'une façon générale, les sondages mécaniques ont un double but à savoir :

- **Un but géologique** : car le sondage permet de compléter la reconnaissance géologique du sous sol, qui sera exprimée par une coupe géologique détaillée. Pour cette raison, le prélèvement des échantillons se fait le plus souvent en continu afin de disposer d'une coupe sans lacune.
- **Un but Géotechnique** : car le sondage est un moyen d'accès au sous sol pour le prélèvement d'échantillons intacts destinés au laboratoire.

Selon les cas, la priorité peut être accordée à l'un ou l'autre des aspects précédents, et le mode de forage sera destructif ou non destructif avec prélèvement d'échantillons (beaucoup plus cher). Par ailleurs les modes de forage, l'échantillonnage et les types d'essais différents selon que l'on se trouve en terrain meuble peu cohérent ou dans le rocher.

III.3.1. Sondages en terrain meuble

Les principales difficultés proviennent de la tenue des parois du sondage et de la remontée du terrain foré. Dans la plupart des cas, il faut opérer sous la protection d'un tubage continu ou employer une « *boue* » de forage qui, formant un « *cake* » sur la paroi du puit, retient celle-ci. Aucun des procédés de forage utilisés en terrain meuble ne peut vraiment être considéré comme non destructif. Le remaniement de l'échantillon est souvent considérable.

III.3.1.1. Tarières à main

Les modèles les plus courants comportent un outil d'un diamètre de 60 à 200 mm constitué par une trousse coupante dont la forme permet la remontée de 0,5 à 2 litres de sol à chaque manœuvre. La tarière à main est un instrument idéal pour les reconnaissances à faible profondeur (jusqu'à 2 m) pouvant aller jusqu'à quatre cinq mètres si les conditions sont favorables (deux hommes sont alors nécessaires pour la manœuvre. Elle est inopérante sous la nappe, quel que soit le type de terrain.

III.2.3.1.2 Tarières à moteur

Montées sur camion, sont extrêmement efficaces pour la reconnaissance rapide de volumes importants de terrains meubles. Elles sont peu exploitables sous l'eau, et inopérantes dans les formations à blocs.

III.2.3.1.3. Sondage par battage

Cette méthode est la plus courante en terrain meuble, sec ou saturé. Un tubage métallique est enfoncé dans le sol par battage à l'aide d'un mouton, la colonne de sédiment ainsi isolée à l'intérieur du tube est extraite à l'aide d'un outil adapté.

III.2.3.2. Le sondage en terrain rocheux

La reconnaissance géologique et géotechnique n'est pas le seul but assigné aux forages au rocher sur un chantier de génie civil. Ils permettent également :

- La mise en place d'équipement destiné à des mesures (piézomètres, perméabilités, pression interstitielle...);
- Le traitement des terrains (injection, drainage...);
- Le soutènement (ancrage...);
- La mise en place de charges d'explosifs (terrassement en grande masse, exploitation des carrières...).

L'essentiel pour ces dernières applications est de perforer rapidement et économiquement d'où le recours à des méthodes destructives. Celles-ci sont mal adaptées aux besoins de la reconnaissance géologique et géotechnique qui exige une grande qualité de l'échantillonnage.

III.2.3.2.1 Les méthodes destructives

Toutes fragmentent la roche, et les débris doivent être remontés à la surface par un fluide de forage (air comprimé, eau, boue).

III.2.3.2.2 Les méthodes non destructives (forages carottés)

Leur but est de découper en continuité sur toute une colonne de terrain puis de la remonter à la surface du sol pour examen géologique ou essais de laboratoire. Dans la pratique, la carotte est découpée à l'aide d'une couronne abrasive solidaire d'un tube carottier qui permet sa protection et sa remontée.

III.3. Outils ou modes de prélèvement des sols et des roches

III.3.1 Prélèvement en pleine masse à la main

Il s'agit d'un prélèvement, à la main, des blocs de roches ou de sols fins fermes à très raides à partir des excavations. Ces blocs fournissent des échantillons de très bonne qualité (classe 1).

III.3.2 Prélèvement à la boîte

Des boîtes de formes cubiques ou cylindriques peuvent être foncées par pression à fin de prélever des échantillons pour étude en laboratoire.

III.3.3 Prélèvement par carottier poinçonneur à piston stationnaire

C'est un carottier à paroi mince avec un étui intérieur dans lequel coulisse un piston. Ce dernier (piston) est verrouillé en position basse et fermé l'entrée du carottier pendant la phase de mise en place jusqu'au niveau du début du carottage. Le piston est désolidarisé et maintenu fixe, depuis la surface, pendant le fonçage du carottier. Si la profondeur désirée est atteinte, le piston et le tube de prélèvement sont à nouveau solidarisés et le carottier est remonté avec la carotte. L'échantillon entre le piston et l'étui est assurée par le joint du piston.

III.3.4 Prélèvement par carottier rotatifs

Un carottier rotatif est un appareil tubulaire terminé à sa partie inférieure par une couronne. Il est conçu pour prélever un échantillon par découpage en rotation. Un fluide destiné à refroidir l'outil et à évacuer les copeaux (fragments de sols ou de roches) est injecté en permanence par la tête est conduit jusqu'à la couronne.

III.4. Prélèvements et conservations d'échantillons (intacts et remaniés)

III.4.1 Classes de prélèvement

Les classes de prélèvement définissent, à priori, les caractéristiques géotechniques mesurables sur les échantillons. Les principaux éléments déterminant la **qualité d'un prélèvement** sont :

- Le **matériau lui-même**, en fonction de **sa nature** (argiles, limons, sables, sols hétérogènes, roches, etc.), de **son état** (hors d'eau ou sous la nappe, compacité, résistance mécanique, etc.) et de **sa profondeur** ;
- La **technique de prélèvement** et le **choix de l'outil** avec ses caractéristiques ;
- La **compétence** et le **savoir-faire** du personnel.

Les classes sont numérotées de « 1 » à « 5 » en fonction décroissante du nombre de paramètres géotechniques mesurables sur l'échantillon comme indique dans le **Tableau II.1**.

Tableau II.1 – Définition des classes de prélèvement de matériau

Classes	Principaux paramètres obtenus à partir de l'échantillon	
	Caractéristique de nature	Caractéristique d'état
1	$D, W_L, W_p, e_{max}, e_{min}, \rho_s, MO, C_c, C_s, Z^+$	$Z^+, I_D, e, W_{nat}, \rho_d, \tau_f(\phi', C', \phi_{uu}, C_{uu}), E, R_c, RTB, RQD, \sigma'_p, k, C_v$
2	$D, W_L, W_p, e_{max}, e_{min}, \rho_s, MO, Z^+$	$Z^+, I_D, e, W_{nat}, \rho_d, RQD, k$
3	$D, W_L, W_p, e_{max}, e_{min}, \rho_s, MO, Z^0$	Z^0, W_{nat}
4	$D, W_L, W_p, e_{max}, e_{min}, \rho_s, MO, Z^0$	Z^0
5	Prélèvement incomplet, Z^-	

Remarque

- **Paramètres de nature** : Les paramètres de nature sont intrinsèques au sol et traduisent les propriétés physiques de ce sol et de ses phases indépendamment de l'aspect durée. Où : **D** (paramètres de granularité), **W_L** (limite de liquidité), **W_p** (limite de plasticité), **e_{max}** (indice des vides maximal), **e_{min}** (indice des vides minimal), **ρ_s** (masse volumique des grains solides), **MO** (matière organique), **C_c** (indice de compression), **C_s** (indice de gonflement) ;
- **Paramètres d'état** : Les paramètres d'état donnent, à un instant donné, la répartition des phases d'un sol entre elles et l'arrangement des grains de la phase solide. Où : **Z^{*}** (description centimétrique de l'échantillon), **I_p** (indice de compacité), **e** (indice des vides), **W_{nat}** (teneur en eau naturelle), **ρ_d** (masse volumique du sol sec ou de la roche sèche), **τ_f[φ'** (angle de frottement interne effectif), **C'** (cohésion effective), **φ_{uu}** (angle de frottement apparent), **C_{uu}** (cohésion apparente)], **E** (module de déformation), **R_c** (résistance en compression simple), **RTB** (résistance en traction brésilienne), **RQD** (quotient de la désignation de la qualité de la roche), **σ'_p** (contrainte effective verticale de la préconsolidation), **k** (perméabilité), **C_v** (coefficient de consolidation) ;
- **Description de l'échantillon** : **Z⁰** (description décimétrique de l'échantillon), **Z⁻** (description grossière de l'échantillon), **Z⁺** (description centimétrique de l'échantillon).

III.4.2 Choix de la technique de prélèvement

Les étudiants sont invités à consulter les deux tableaux (C.1 et C.2) de la norme XP P 94-202 à savoir :

- Le tableau C.1 fournit, pour une nature de matériaux à prélever les techniques envisageables et les classes à en attendre. Pour chaque type de matériau, les outils proposés correspondent aux méthodes les plus courantes ;
- Le tableau C.2 indique pour les différents outils de prélèvement quels sont les matériaux dont le prélèvement est possible et les classes attendues selon les procédés mis en œuvre.

III.4.3 Etiquetage des prélèvements

L'ingénieur ou le technicien responsable du prélèvement doit noter sur le conteneur de l'échantillon les informations suivantes :

- Le nom de l'organisme de sondage qui a effectué le prélèvement ;
- Le nom du site ou la référence du chantier ;
- La référence du prélèvement (numéro de forage, numéro du prélèvement) ;
- Le mode de prélèvement : type de l'outil et conditions de mise en œuvre ;
- La date du prélèvement ;
- Les profondeurs du point haut et du point bas du prélèvement.

III.4.4 Transport des échantillons

Les conditions suivantes doivent être respectées sur le chantier et pendant le transport au laboratoire :

- Maintien hors gel ;
- Pas de forte chaleur ni d'exposition directe au soleil ;
- Manipulation sans choc avec le minimum de vibration (pour les classes 1 et 2).

III.4.5 Conservation avant essai des échantillons des classes de prélèvement 1 à 3

Les échantillons des classes de prélèvement 1 et 3 doivent être paraffinés et conservés à une température sensiblement constante et hors gel. Lorsqu'une conservation de longue durée (plus de deux mois) est nécessaire, mettre en place un dispositif préservant la teneur en eau (chambre humide, emballage sous vide, etc.).