

Les essais **Cross-hole** et **Down-hole** permettent de mesurer les temps de propagation des ondes sismiques de compression (ondes P) et de cisaillement (ondes S) entre plusieurs forages à différents niveaux du sous-sol, ou de la surface à un forage, afin de déterminer des **modules dynamiques** entrant en compte dans le dimensionnement des structures.

Ces paramètres que l'on obtient sont nécessaires pour la **prévention des risques sismiques** :

- la **Vitesse des ondes de compression (V_p)**,
- la **Vitesse des ondes de cisaillement (V_s)**,
- le **Coefficient de Poisson (ν)**,
- le **Module de compression (E)**,
- le **Module de cisaillement (G)**.

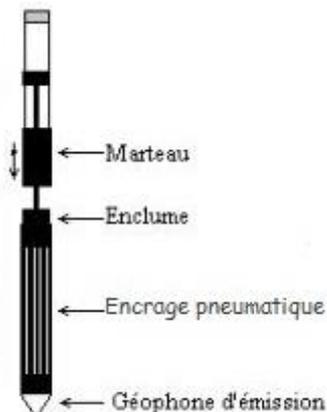
Essai Cross-hole

Les mesures sont effectuées entre une sonde émettrice placée dans un forage tubé et cimenté et une ou plusieurs sondes réceptrices placées à la même profondeur dans deux autres forages (espacés de 3 à 5m).

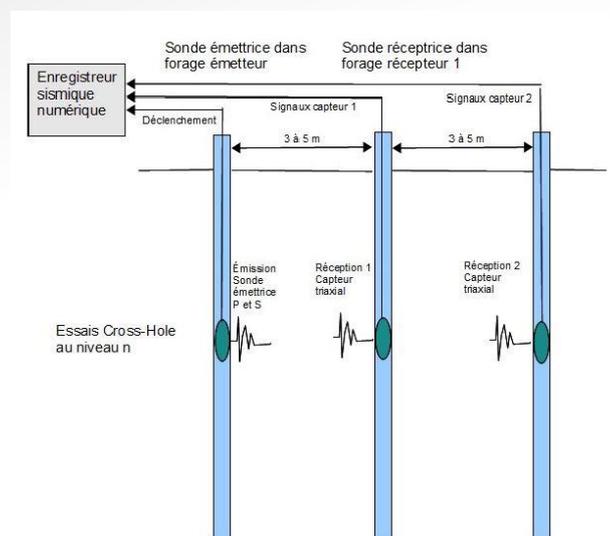
L'essai se fait idéalement avec trois forages en ligne afin de s'affranchir des imprécisions de la synchronisation entre l'instant d'émission de l'onde et l'instant de déclenchement de l'enregistrement (temps zéro).

Il est souhaitable également que l'un des forages soit un sondage carotté, les deux autres pouvant être réalisés en destructif. Cela permet d'obtenir une stratigraphie du terrain utile à l'interprétation des résultats de l'essai.

Avant d'effectuer les essais, il est nécessaire de réaliser des mesures de déviation des forages pour connaître précisément la distance entre la source et les capteurs à chaque niveau d'essai. On procède avec une sonde de déviation type DevProb.



Dans le cadre de l'application de la **nouvelle réglementation parasismique**, en phase avec les prérogatives **Eurocode 8**, initialement prévues au 31 octobre et repoussées au **1^{er} janvier 2014**, ces essais permettent également d'estimer la moyenne des vitesses de cisaillement dans les 30 premiers mètres (**V_{s30}**), ce qui donne la **classification des terrains** selon l'Eurocode 8.

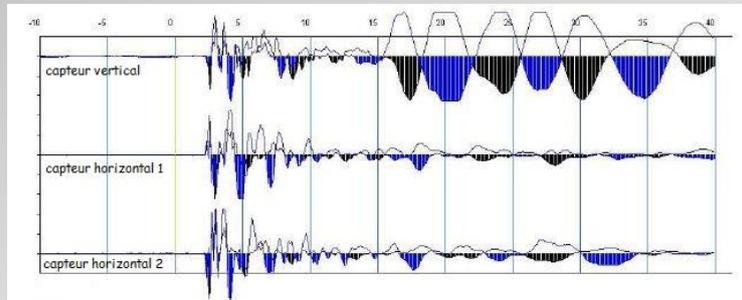


La source sismique, disposée dans le forage « émetteur » comporte une masse sismique mobile et un dispositif de plaquage pneumatique. En frappant alternativement vers le haut et vers le bas, la source produit alternativement une onde S polarisée vers le haut puis vers le bas, en même temps que l'onde P, qui elle, est non polarisée.

La masse et la sonde sont munies d'un capteur de déclenchement qui est relié à l'enregistreur et permet la synchronisation du choc et du déclenchement de l'enregistrement.

Ces ondes sismiques sont mesurées dans les forages « récepteurs » à l'aide d'une sonde sismique réceptrice également plaquée à la paroi du forage par un système d'ancrage.

Les sondes réceptrices comportent un ensemble de trois capteurs orientés à 90° les uns des autres (un vertical et deux horizontaux disposés à 90° l'un de l'autre). Cette disposition de capteurs permet, lors de l'essai Cross-hole, une bonne identification des trains d'ondes S, qui sollicitent principalement le capteur vertical, et des trains d'ondes P qui sollicitent principalement les capteurs horizontaux.



Les mesures sont effectuées à différentes profondeurs, typiquement tous les mètres afin d'obtenir une coupe des vitesses des ondes P et S en fonction de la profondeur.

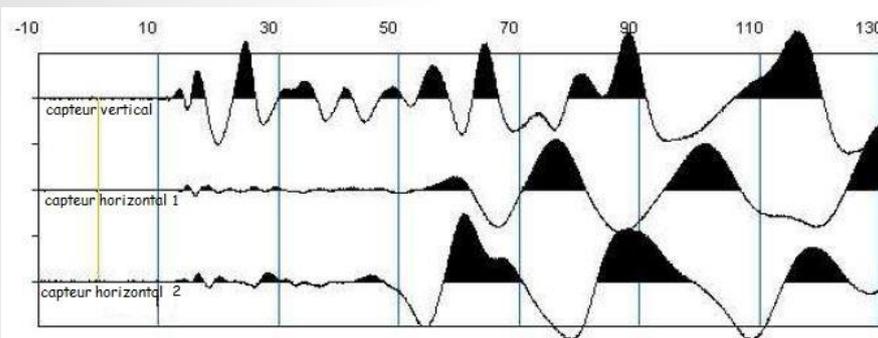
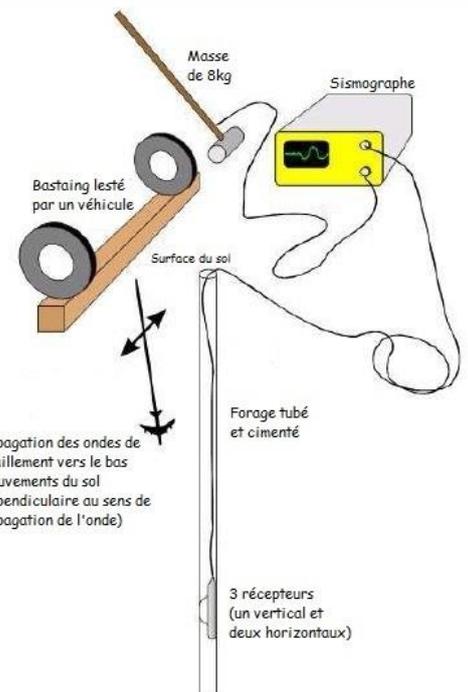
L'essai Cross-hole permet une profondeur d'investigation importante (dépend de la profondeur du forage), et une bonne différenciation des couches.

Essai Down-hole

Cet essai est une variante de l'essai Cross-hole dans laquelle l'onde sismique est générée en surface, à proximité immédiate du forage dans lequel sont mesurées les arrivées d'ondes de compression et de cisaillement (forage « récepteur » identique à l'essai en Cross-hole).

Pour générer les ondes P, on crée un ébranlement à la surface du sol. Les ondes S sont provoquées en frappant des coups de masse sur les extrémités droite ou gauche d'un bastaing.

Les points d'émission sont donc fixes tandis que la sonde réceptrice est remontée entre chaque tir.



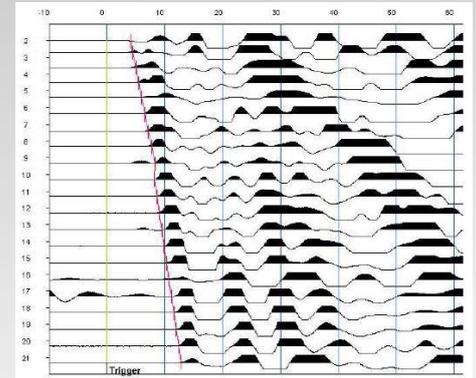
La sonde réceptrice comporte un ensemble de trois capteurs orientés à 90° les uns des autres (un vertical et deux horizontaux disposés à 90° l'un de l'autre). A l'inverse de l'essai Cross-hole, cette disposition de capteurs permet, lors de l'essai Down-hole, une identification des trains d'ondes P, qui sollicitent principalement le capteur vertical, et des trains d'ondes S qui sollicitent principalement les capteurs horizontaux.

L'interprétation et la restitution des résultats sont assez similaires à celles des essais Cross-hole. En cas d'anisotropie marquée, les paramètres ainsi déterminés peuvent être notablement différents des paramètres déterminés par les essais Cross-hole.

Principales étapes de l'interprétation

En premier lieu, on assemble les tirs par composantes, par tirs directs ou inverses pour avoir des graphiques de temps d'arrivée des ondes en fonction de la profondeur dans le forage.

En posant le principe que les ondes S sont polarisées et que les ondes P ne le sont pas, on peut améliorer l'aspect visuel des enregistrements pour faciliter la reconnaissance des ondes en additionnant les enregistrements inversés.



A l'issue du pointage, pour l'essai Cross-hole, le calcul des vitesses est direct ($V = \text{distance} / \text{temps d'arrivée}$), sauf dans le cas des trajets réfractés.

Pour l'essai Down-hole, il est nécessaire de faire une interprétation graphique (graphique profondeur / temps d'arrivée) pour obtenir la valeur des vitesses (V_p et V_s) dans chaque couche, donné par les pentes des droites.

A l'issue de cette interprétation, nous obtenons l'évolution des vitesses et des modules en fonction de la profondeur, ainsi que la moyenne des vitesses de cisaillement dans les 30 premiers mètres (V_{s30}).

Les modules sont en effet directement calculés à partir des vitesses des ondes P et S :

- Le coefficient de Poisson permet de caractériser la déformation de la matière perpendiculairement à la direction de l'effort appliqué. C'est un nombre sans unité compris entre 0.2 et 0.5 dans notre domaine d'application.

$$\nu = \frac{(V_p^2 - 2V_s^2)}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$

- Le module de Young ou module d'élasticité longitudinale est la constante qui relie la contrainte de traction et la déformation pour un matériau élastique isotrope; autrement dit, c'est la contrainte mécanique qui allongerait de 100% la longueur initiale d'un matériau si c'était réellement possible. Il est exprimé en Mpa.

$$E = 2 \rho V_s^2 (1 + \nu) \quad \text{avec } \rho \text{ la masse volumique}$$

- Le module de cisaillement, ou second coefficient de Lamé, est une grandeur physique qui intervient dans la caractérisation des déformations causées par les efforts de cisaillement. Il a la dimension d'une contrainte et est généralement exprimé en MPa.

$$G = \rho V_s^2 \quad \text{avec } \rho \text{ la masse volumique}$$