

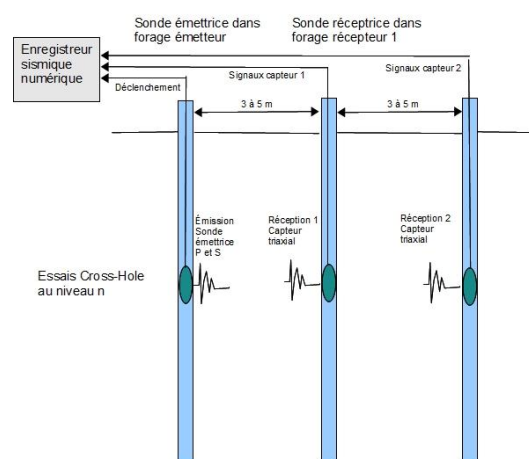
## DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES GÉODYNAMQUES DU SOUS-SOL

L'essai Cross-Hole consiste à mesurer les temps de propagation des ondes sismiques de compression (ondes P) et de cisaillement (ondes S) entre plusieurs forages afin de déterminer, en fonction de la profondeur, leurs vitesses sismiques et les paramètres géodynamiques que sont le module d'Young, E, le module de cisaillement G et le coefficient de Poisson  $\nu$ .

L'essai Down-Hole 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. La source de surface est spécialement adaptée pour générer des ondes de cisaillement en plus des ondes de compression. L'interprétation et la restitution des résultats sont 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.

Les essais sont en général réalisés avec un pas variable suivant les objectifs de l'étude mais typiquement de 1, 2 ou 3 m. On réalise la mesure entre une sonde sismique émettrice placée dans un forage « émetteur » et une ou plusieurs sondes réceptrices placées à la même profondeur dans les forages « récepteurs ». L'essai se fait idéalement avec trois forages en ligne afin de mesurer les vitesses des ondes de compression et de cisaillement par différence entre les deux forages récepteurs, en s'affranchissant de la source qui peut générer des erreurs de mesure des temps. De plus, si une anisotropie est suspectée sur le site, il peut être envisagé de compléter le dispositif de trois forages avec deux forages disposés perpendiculairement et en ligne avec le forage émetteur. Dans beaucoup de situations, l'essai se pratique entre deux forages. Dans ce cas, il faut particulièrement soigner la mesure du temps « zéro » qui est l'instant d'émission de l'onde dans le forage « émetteur ».

PRINCIPE DE L'ESSAI CROSS-HOLE



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 est elle non polarisée. L'onde S est ainsi mieux identifiée dans le train d'ondes. 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.

Les 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 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. C'est l'inverse dans le cas de l'essai Down-Hole. Les sondes réceptrices sont reliées à l'enregistreur sismique par un câble de mesure.

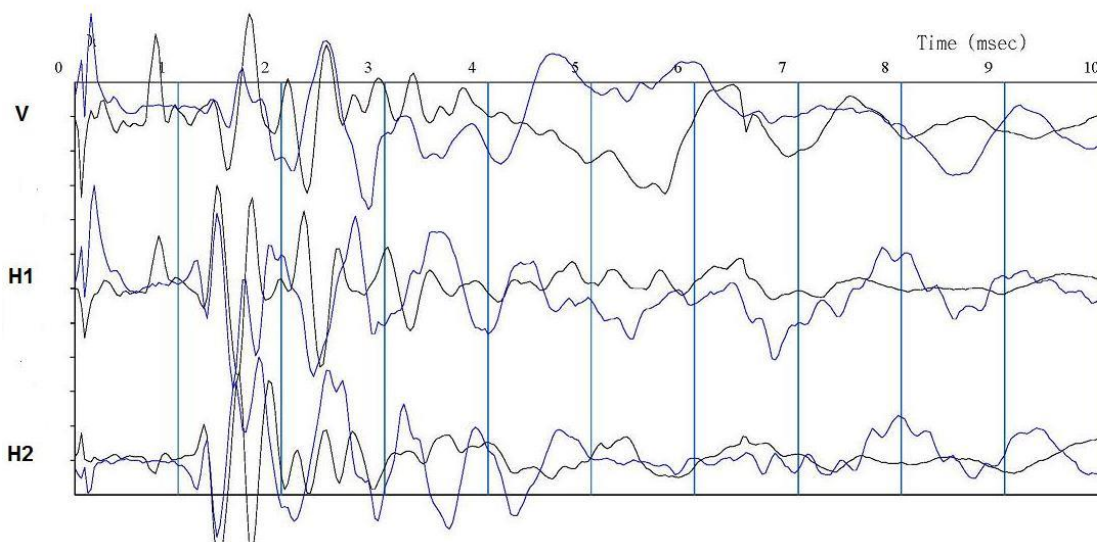
Les mesures sont effectuées à différents niveaux de profondeur, typiquement tous les mètres ou tous les deux ou trois mètres, afin d'obtenir une coupe des vitesses des ondes P et S en fonction de la profondeur. La figure ci-dessous fournit un exemple d'un enregistrement à une profondeur donnée. Les paramètres géodynamiques sont ensuite calculés en utilisant les relations suivantes:

Module d'Young, exprimé en MPa	:	$E = 2 \rho V_s^2 (1 + \nu)$
Module de cisaillement, exprimé en MPa	:	$G = \rho V_s^2$
Coefficient de Poisson, nombre sans unité	:	$\nu = (V_p^2 - 2V_s^2) / 2 (V_p^2 + V_s^2)$

$V_p$  et  $V_s$  sont respectivement les vitesses des ondes de compression et de cisaillement et sont exprimées en mètre par seconde (m/s). Le calcul de E et de G nécessite de connaître ou de faire une hypothèse sur la masse volumique  $\rho$  des terrains traversés.

Hormis dans le cas où le forage est effectué en terrain rocheux et ne présente aucun risque d'éboulement ou de coincement de la sonde, la réalisation des essais Cross-hole et Down-Hole nécessite la mise en place d'un tubage PVC de protection afin d'éviter tout éboulement sur la sonde et son coincement. Le tubage, de diamètre intérieur 80 mm, et d'épaisseur 4 à 5 mm, doit être scellé à la paroi du forage au coulis de ciment sur toute la hauteur. Il doit être bouché en pied et étanche, les tubes devant être à raccords vissés et collés. De la qualité du scellement dépend en partie la qualité des résultats des essais. Les essais doivent être réalisés au plus tôt une semaine après la réalisation des sondages afin que le coulis atteigne une résistance mécanique suffisante. Des mesures de déviation des forages sont réalisées en même temps que les essais Cross-Hole pour connaître précisément la distance entre la source et les capteurs à chaque niveau d'essai.

Les premiers mètres de terrain, généralement déconsolidés, ne permettent pas toujours d'obtenir des signaux de qualité. Il en est de même dans certains terrains hors nappe, comme les alluvions par exemple. Dans ce cas, la détermination des vitesses et des modules dynamiques peut s'avérer impossible ou peu précise.



INNOGEO est membre de AGAP Qualité et s'engage à respecter les recommandations du Code de bonne pratique de la géophysique appliquée et, en particulier, les spécifications de la fiche SISMIQUE CROSS-HOLE 92.1 SIS 25 - INNOGEO est une marque déposée