

## PRINCIPE TECHNIQUE DE L'ESSAI CROSS HOLE

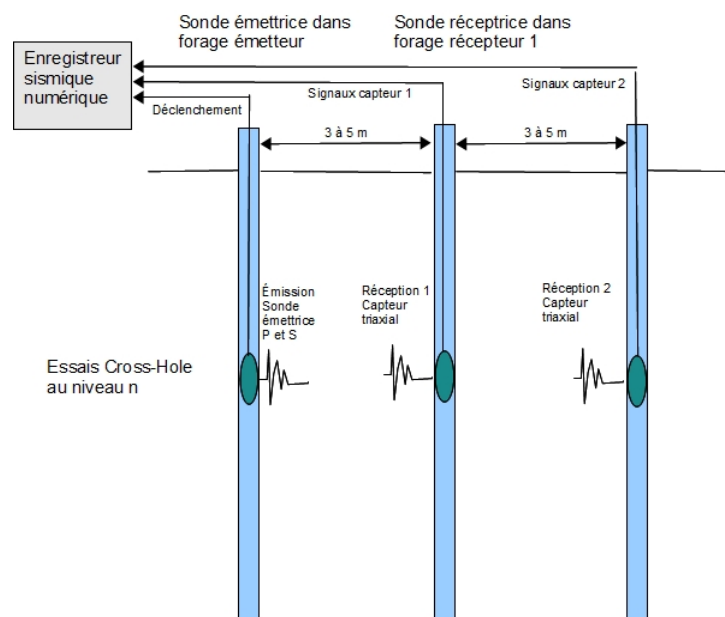
Synthèse méthode	
<b>Principe technique</b>	Détermination du temps de trajet des ondes de compression et de cisaillement entre plusieurs forages
<b>Objectifs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Caractérisation de la classe de sol dans le cadre du risque de liquéfaction des sols selon l'Eurocode 8 ;</li> <li>» Détermination des paramètres dynamiques des terrains</li> </ul>
<b>Limitation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Forages non verticaux ;</li> <li>» Tubage PVC mal scellé ;</li> <li>» Bruit vibratoire fort ;</li> </ul>

### Principe théorique

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  $\nu$ .

### Réalisation sur site

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 ».



Cross Hole | Schéma de principe de l'essai en triplet de forage

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.

La source sismique, disposée dans le forage « émetteur » peut être de deux types :

- » Source mécanique de type Ballard : elle 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 ;
- » Source piézo électrique de type Sparker : un générateur génère un courant électrique qui via un étinceleur va produire une onde mécanique dans le sol. Le type d'onde généré (compression ou cisaillement) est lié à la sonde mise en œuvre.  
Pour les ondes de cisaillement, la source comporte un dispositif de plaquage pneumatique.

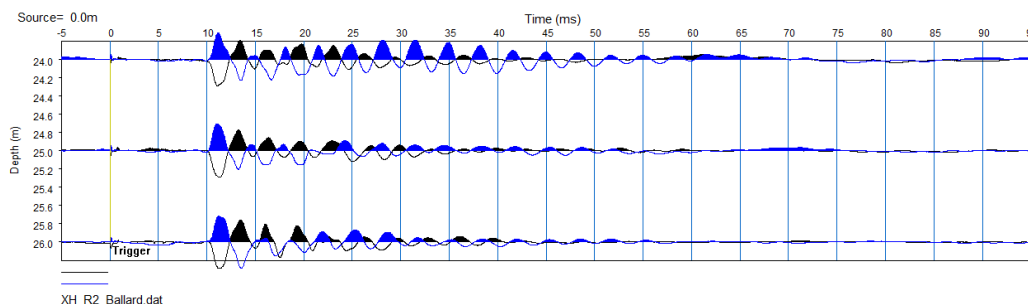
Les sondes sont munies d'un capteur de déclenchement qui est relié à l'enregistreur et permet la synchronisation du choc et du déclenchement de l'enregistrement.

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

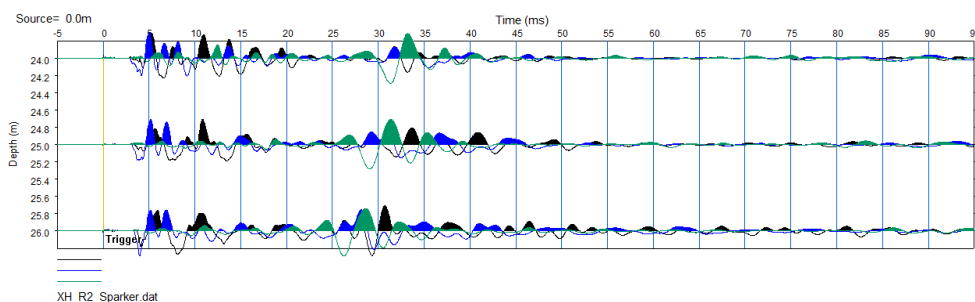
Les mesures sont effectuées à différents niveaux de profondeur, typiquement tous les mètres ou tous les deux ou trois mètres, afin d'obtenir une coupe des vitesses des ondes P et S en fonction de la profondeur.

Les figures ci-dessous fournissent un exemple d'un enregistrement à une profondeur donnée.

Acquisition des ondes S (Source Ballard)



Acquisition des ondes P (Source Sparker)



Cross Hole | Exemples de films sismiques

### Traitement et interprétation

Les paramètres géodynamiques sont ensuite calculés en utilisant les relations suivantes :

- Coefficient de Poisson :  $\nu = \frac{(Vp^2 - 2Vs^2)}{2 \times (Vp^2 - Vs^2)}$
- Module de Young :  $E = 2 \times \rho \times Vs^2 \times (1 + \nu)$
- Module de cisaillement :  $G = \rho \times Vs^2$

*Il est à noter que ces calculs nécessitent de connaître ou de faire une hypothèse sur la masse volumique des terrains concernés.*

Vp et Vs 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 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 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.

La réalisation des essais Cross Hole est conforme à la procédure INNOGEO – AQU-PR-901-2014-003-01A qui prend en compte la fiche AGAP Qualité 92.1 SIS 25 (SISMIQUE « CROSS HOLE ») ainsi que la norme américaine ASTM D 4428/D 5528 M (Standard Test Methods for Crosshole Seismic Testing).