

ALEA SISMIQUE

Pr. CHOURAK M.

Séismes

Effet direct

Effondrement; destruction, Incendies

Effet Induit: constitue une source majeure de dégâts

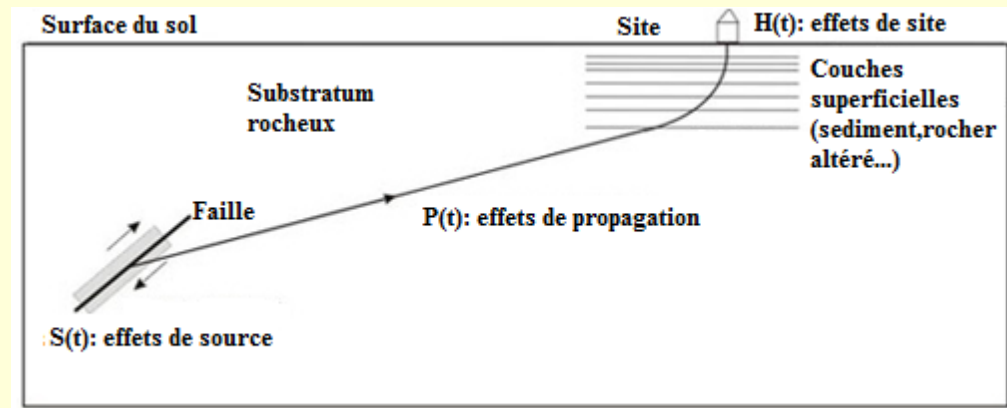
Manifestations des réactions du milieu sur son environnement

- Certaines conditions géologiques et topographiques locales conduisent à une modification des caractéristiques spectrales, spatiales et temporelles du signal sismique.

L'exemple le plus connu est celui du séisme de Michoacan, qui a eu lieu au Mexique en 1985.

Le mouvement du sol $U(t)$ est défini:

$$U(t) = S(t) * P(t) * H(t)$$

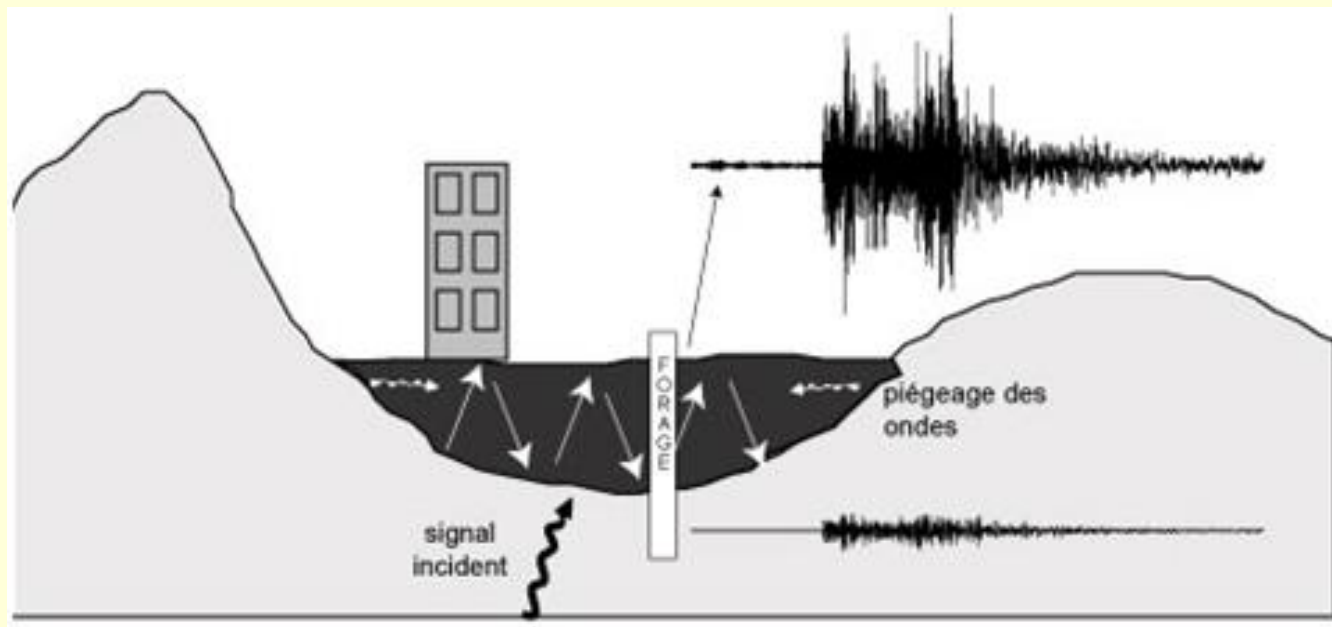


Effet du Site

Définition:

Effet de site les modifications du mouvement sismique en surface dues aux conditions **Géologiques**, **Géotechniques** et **Topographiques** locales d'un site donné par rapport au mouvement observé sur un site 'voisin' correspondant à des conditions de référence (affleurement rocheux au voisinage du site étudié).

La détermination du **facteur d'amplification du mouvement du sol** est importante pour l'évaluation du risque sismique et pour la **définition des normes parasismiques de construction**.

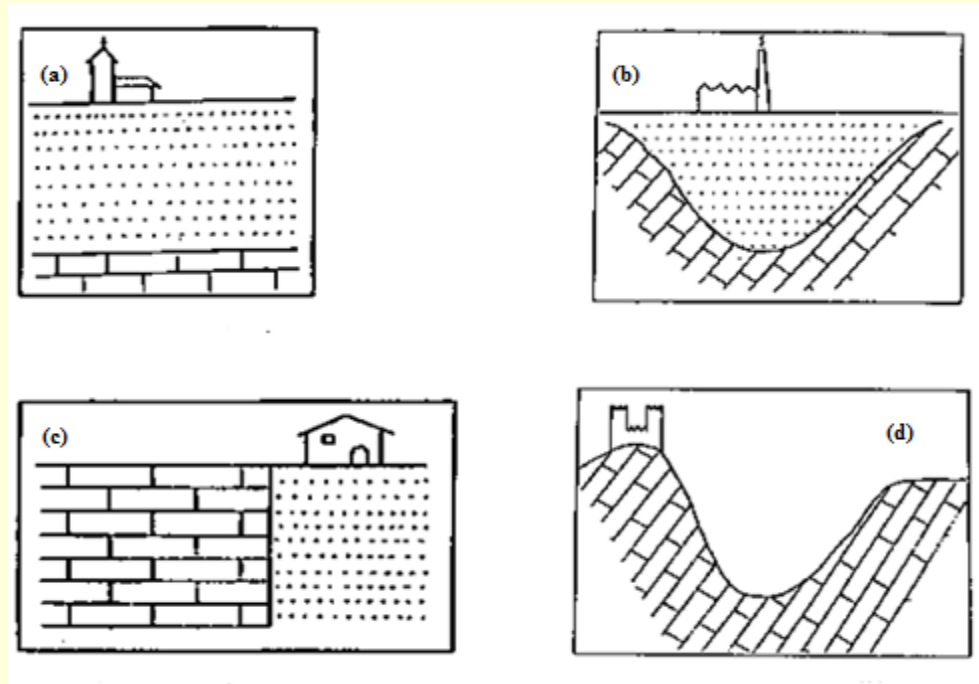


vue schématique du Phénomène des effets de site. Les enregistrements du mouvement du sol au rocher et à la surface montrent les effets induits (allongement temporel et amplification du mouvement du sol) par le piégeage des ondes sismiques dans un bassin sédimentaire lors d'une sollicitation sismique (BONNEFOY-CLAUDET, 2004).

Types de l'Effet de Site

II- Lithologique = remplissage sédimentaire

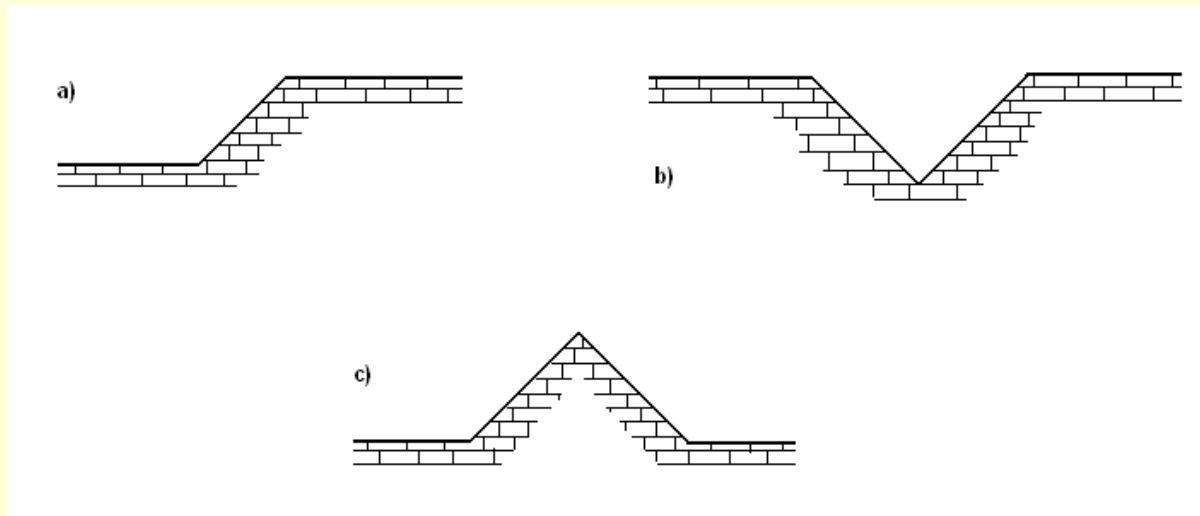
I- Topographique: colline; vallée; pente



Les effets de sites (d'après Nguyen, 2005)

I- Effet Topographique

3 configurations: Pente, Vallée et Colline



Les configurations des effets de site topographiques : (a) pente ; (b) vallée ; (c) colline. (Nguyen, 2005).

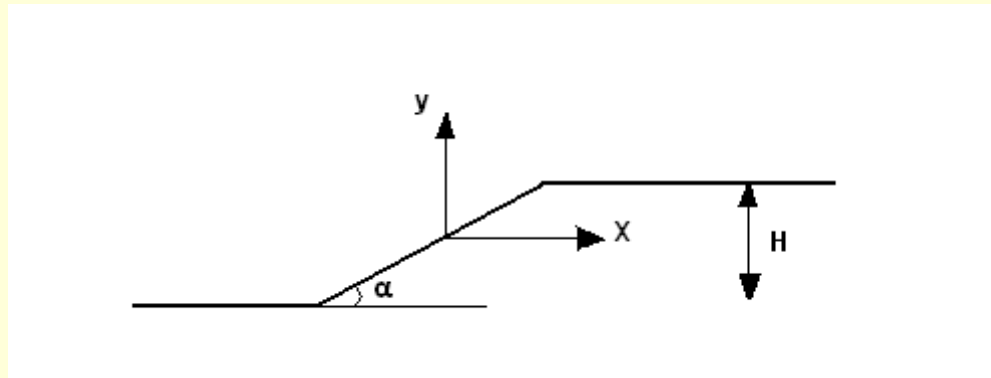
- Effet de la topographie a un impact sur l'**amplitude** et le **contenu fréquentiel** du signal sismique enregistré dans les crêtes (Bouchon, M. 1973 ; Ohtsuki & Karumi 1983; Bard, 1987, Çelebi, M, 1987 ; Géli et al ., 1988 ; Charkaoui, 1991).

1- Effet topographique de Pentes

Est attribués à l'interférence entre le relief et les ondes, ou parfois à l'interférence qui se produit entre les ondes directes venant du séisme, et celles qui se focalisent dans le relief.

L'effet de site d'une pente dépend de deux paramètres principaux : l'**angle d'inclinaison** de la pente et la **fréquence adimensionnelle η** ;

La dimension d'une pente est caractérisée par sa hauteur **H** et l'angle d'inclinaison **α** :



Géométrie et dimensions de la pente (Nguyen, 2005).

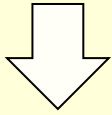
La fréquence adimensionnelle **η** :

$$\eta = H f / V_s = H / \lambda$$

2- Effet topographique de Vallée

Fréquence adimensionnelle
 $\eta = 2 L f / V_s = 2 L / \lambda$

Si fréquence est élevée



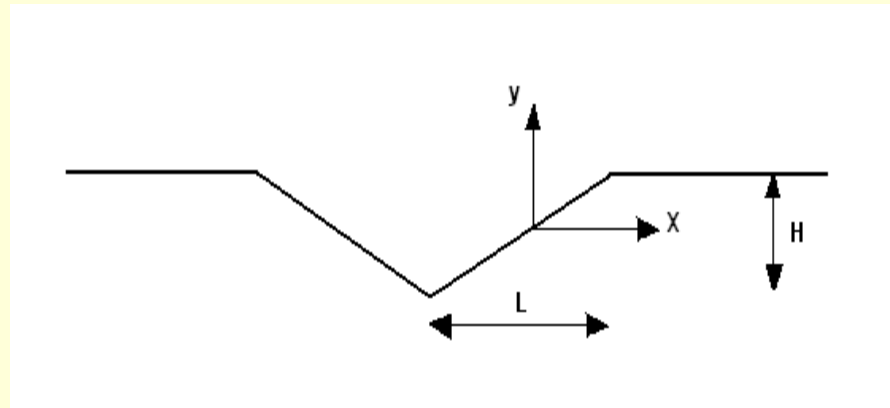
Mouvement à la base de la vallée est plus amplifié.

Inclinaison

plus la pente est raide, plus l'effet de l'amplification au sommet et l'atténuation en bas de la pente sont accentués

la forme de la vallée

La forme de la vallée peut modifier significativement sa réponse sismique



Géométrie et la dimension de la vallée (Nguyen, 2005)

3- Effet topographique de la Colline

est estimé comme les mêmes exemples que pour le cas des vallées. Où la dimension d'une colline est déterminée par sa hauteur **H** et sa demi-largeur **L**.

Fréquence adimensionnelle

$$\eta = 2 L f / V_s = 2 L / \lambda$$

Le sommet est tjr Amplifié

Inclinaison

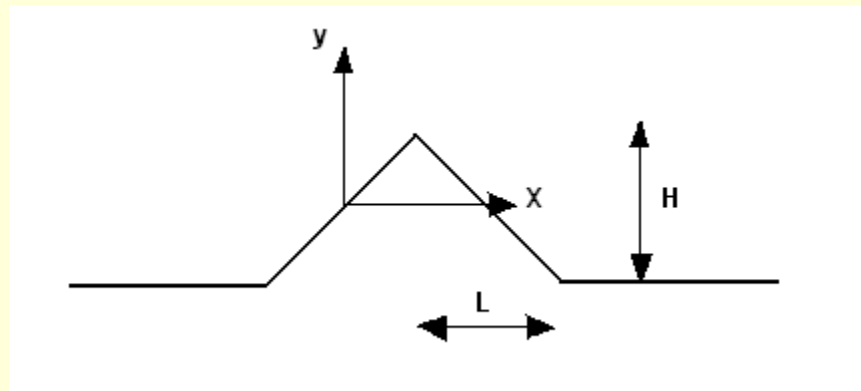
$$F = 2\pi / \phi$$

F : facteur d'amplification ;

Φ : représente l'angle de la pente au niveau de cette crête en degré.

la forme de la vallée

La forme de la vallée peut modifier significativement sa réponse sismique



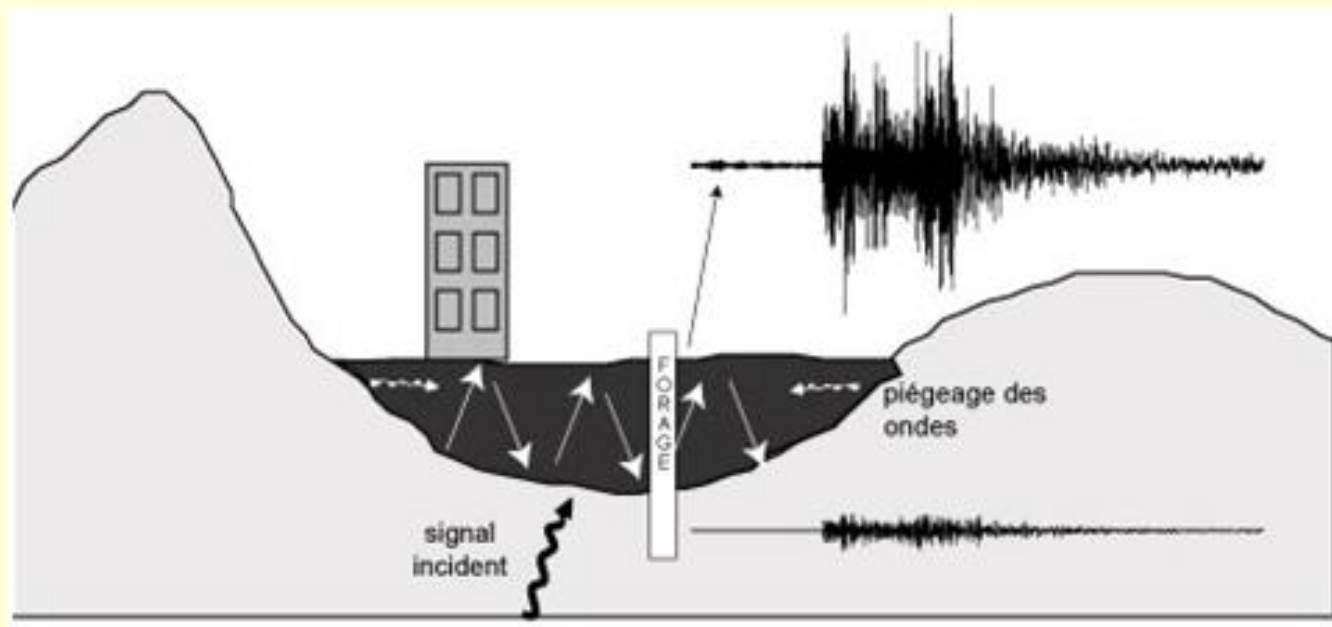
Géométrie et la dimension de la colline (Nguyen, 2005)

Effet du Site

Définition:

Effet de site les modifications du mouvement sismique en surface dues aux conditions **Géologiques**, **Géotechniques** et **Topographiques** locales d'un site donné par rapport au mouvement observé sur un site 'voisin' correspondant à des conditions de référence (affleurement rocheux au voisinage du site étudié).

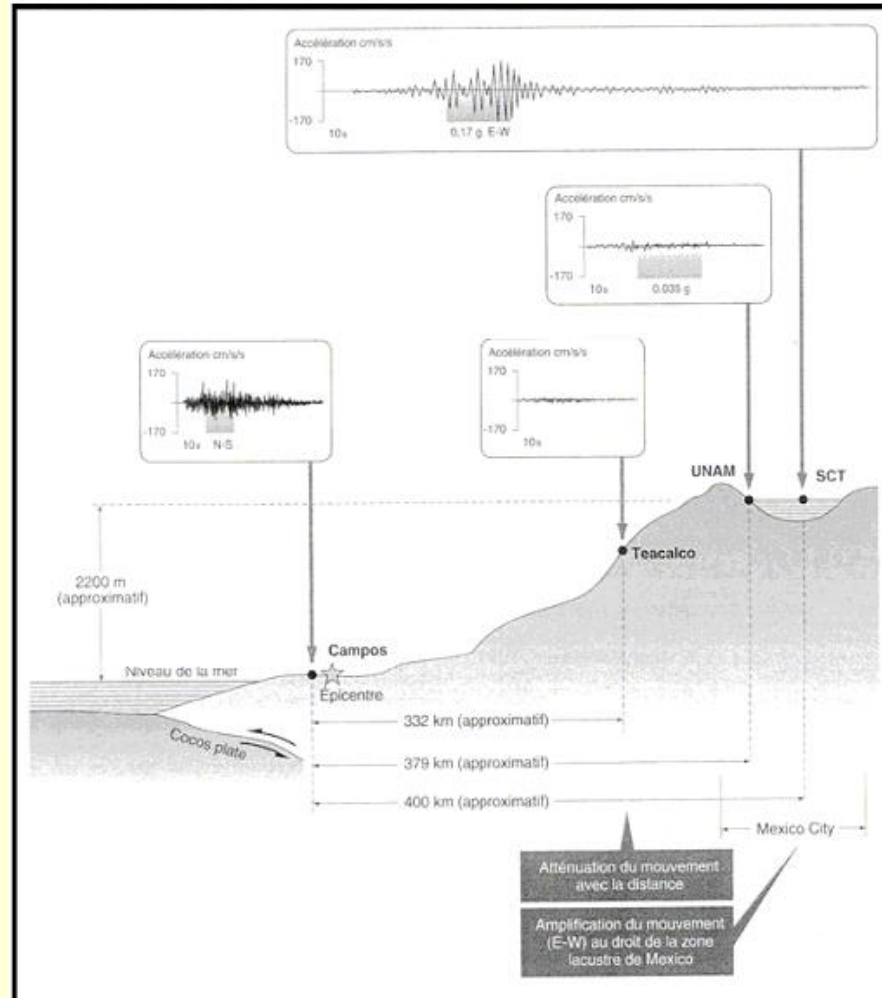
La détermination du **facteur d'amplification du mouvement du sol** est importante pour l'évaluation du risque sismique et pour la **définition des normes parasismiques de construction**.



vue schématique du Phénomène des effets de site. Les enregistrements du mouvement du sol au rocher et à la surface montrent les effets induits (allongement temporel et amplification du mouvement du sol) par le piégeage des ondes sismiques dans un bassin sédimentaire lors d'une sollicitation sismique (BONNEFOY-CLAUDET, 2004).

II- Effet lithologique

C'est les modifications du mouvement sismique en surface dues aux conditions géotechniques et géologiques locales d'un site donné par rapport au mouvement observé sur affleurement rocheux.



Le phénomène d'effet de site du séisme de Michoacan (Mexique) en 1985 (Aiham SAAD, 2006)



Evaluation de l'Effet du Site Lithologique

1- Observations et/ou mesures in-situ

2- Modélisations théoriques ou numériques (1D), (2D) ou (3D).

Cartes macrosismiques (Intensité), et les cartes de microzonage sismique (Période prédominante/facteur d'Amplification)

Représentations plus ou moins simplifiées de quelques paramètres disponibles du site

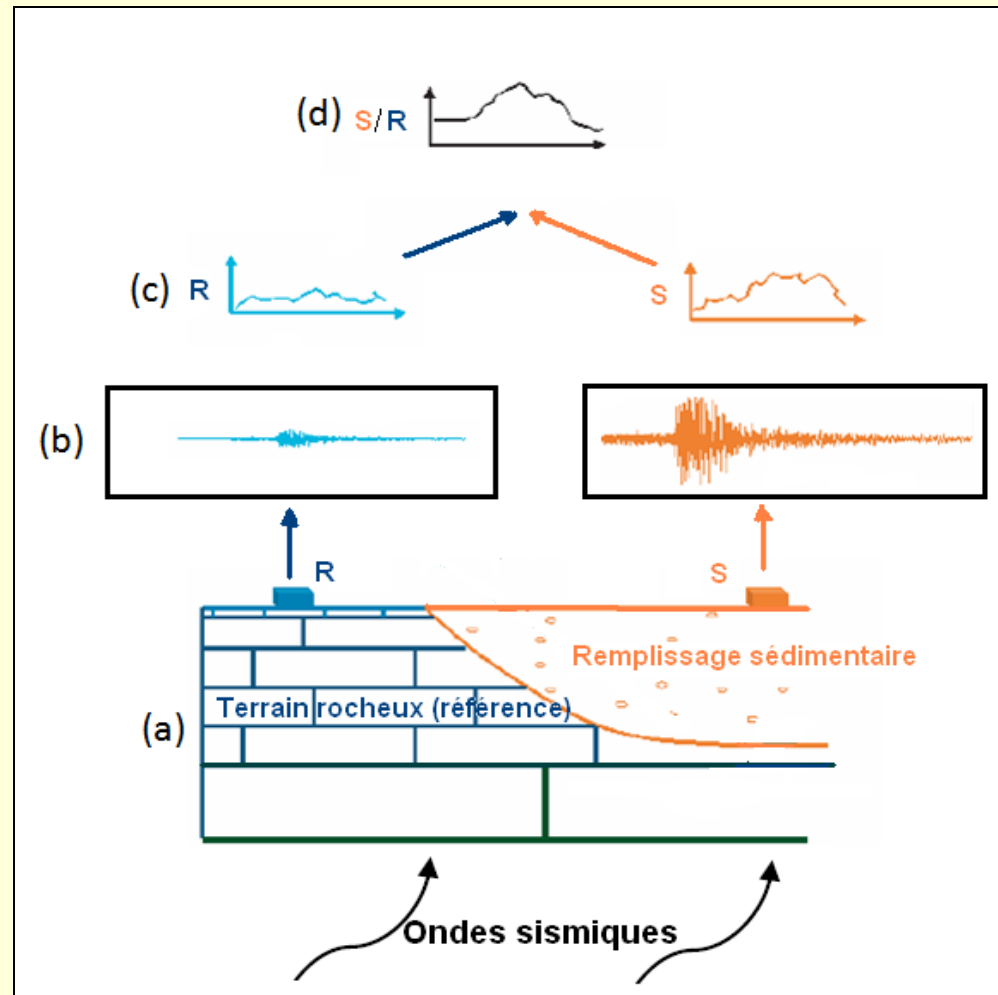
Cartes Isofréquences

Modèles théoriques

Observations et/ou mesures in-situ

1- Méthode des rapports spectraux classiques

C'est une méthode dite site/référence de Borchardt (1970), il se base sur le choix d'un site de référence.



Observations et/ou mesures in-situ

2- Méthodes basées sur les enregistrements du bruit de fond sismique

A- Méthode SPAC (Spatial Autocorrelation)

Bruit sismique ambiant

Fonction de Green

Résultat

Vitesse de groupe/vitesse de phase

B- Méthode des rapports spectraux H/V

Bruit sismique de fond

Rapport H/V

Résultat

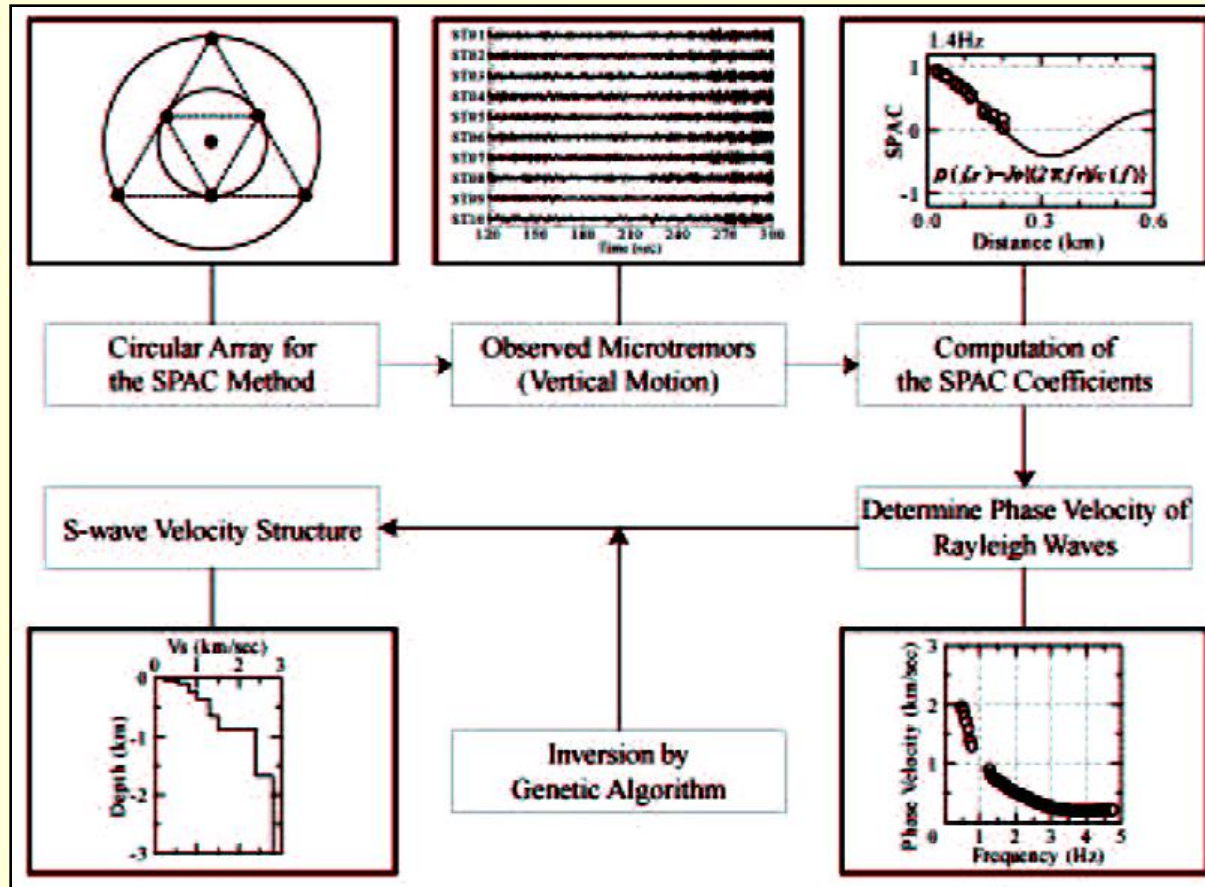
Période Prédominante

Domaine d'application	Acoustique Ultra-sonore (laboratoire)	Acoustique sous marine	Sismique Sub-surface	Sismologie Grandes-échelles
Echelles	cm	1-10 km	100 m	≥ 10 km
Games fréquentielle d'intérêt	Mhz-kHz	10000-100 Hz	100-100 Hz	1-0.01 Hz
Type d'onde	Acoustiques/élastiques (volume)	Acoustique (volume)	Élastiques (surface)	Élastiques (surface)
e.g	Derode et al. 2003	Raux and Kuperman 2004	Gouédard et al. 2011	Shapiro and Campillo 2004; Nishida et al. 2009
Propagation	Différents régimes possibles	Diffraction faible	Diffraction variable	Diffraction faible

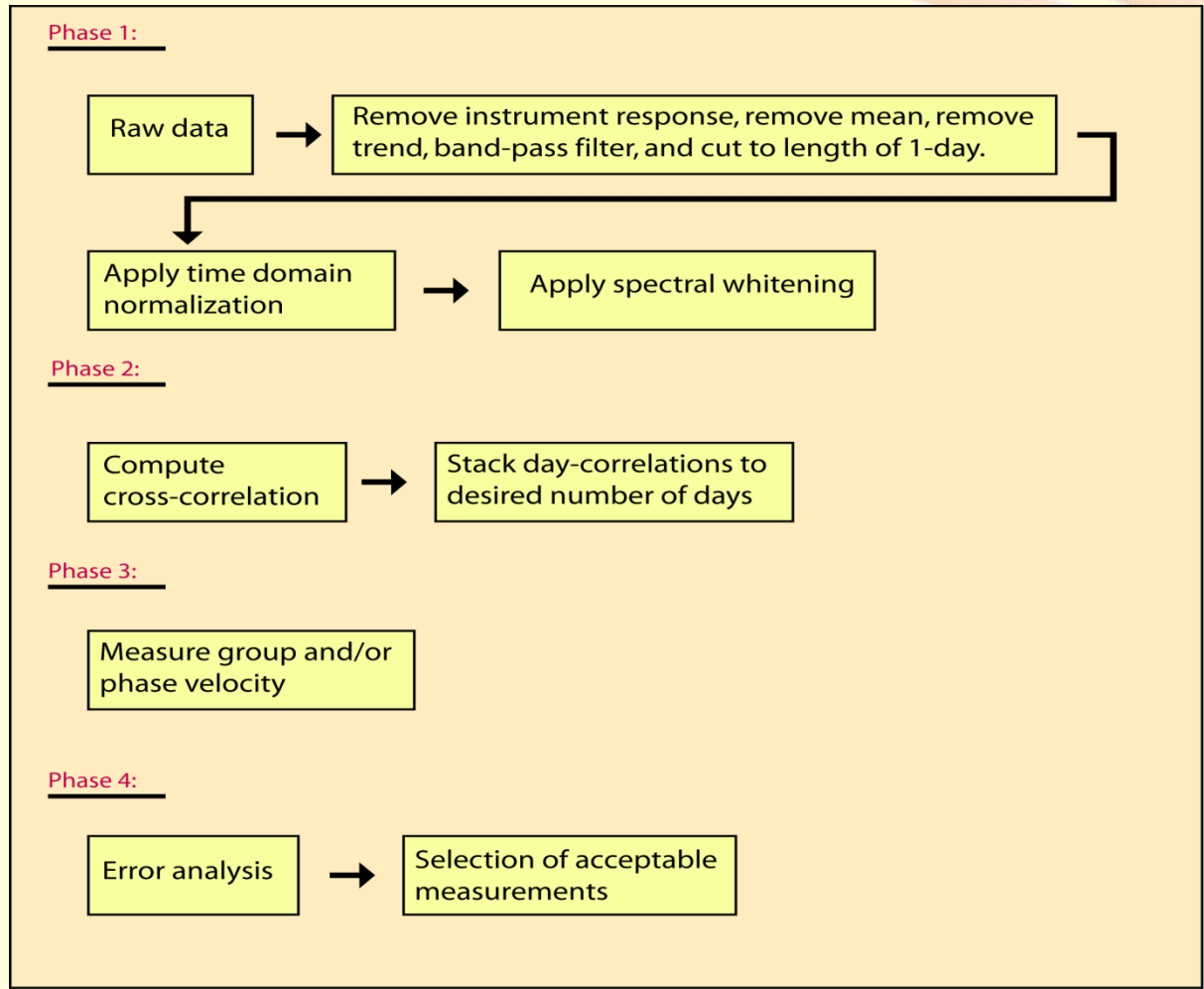
Tableau récapitulatif des grands domaines d'application de la technique des corrélations de bruit en acoustique et géophysique. Pour chaque domaine sont indiqués les échelles, les gammes fréquentielles, les types d'ondes ainsi que le régime de propagation associés. Quelques exemples de publications sont également donnés.

2- Méthodes basées sur les enregistrements du bruit de fond sismique

A/ Méthode SPAC (Spatial Autocorrelation)

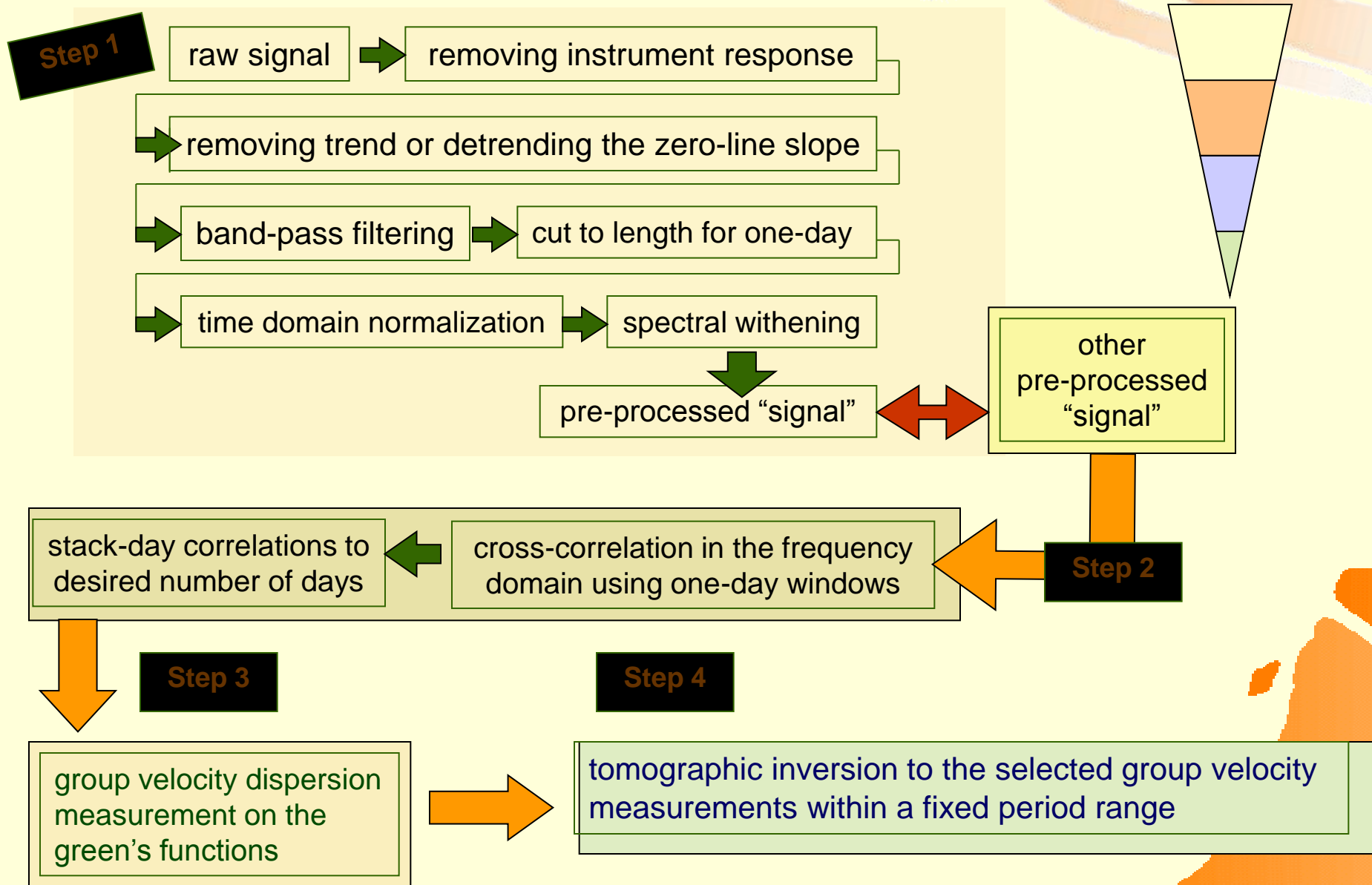


Principe de base de la méthode SPAC

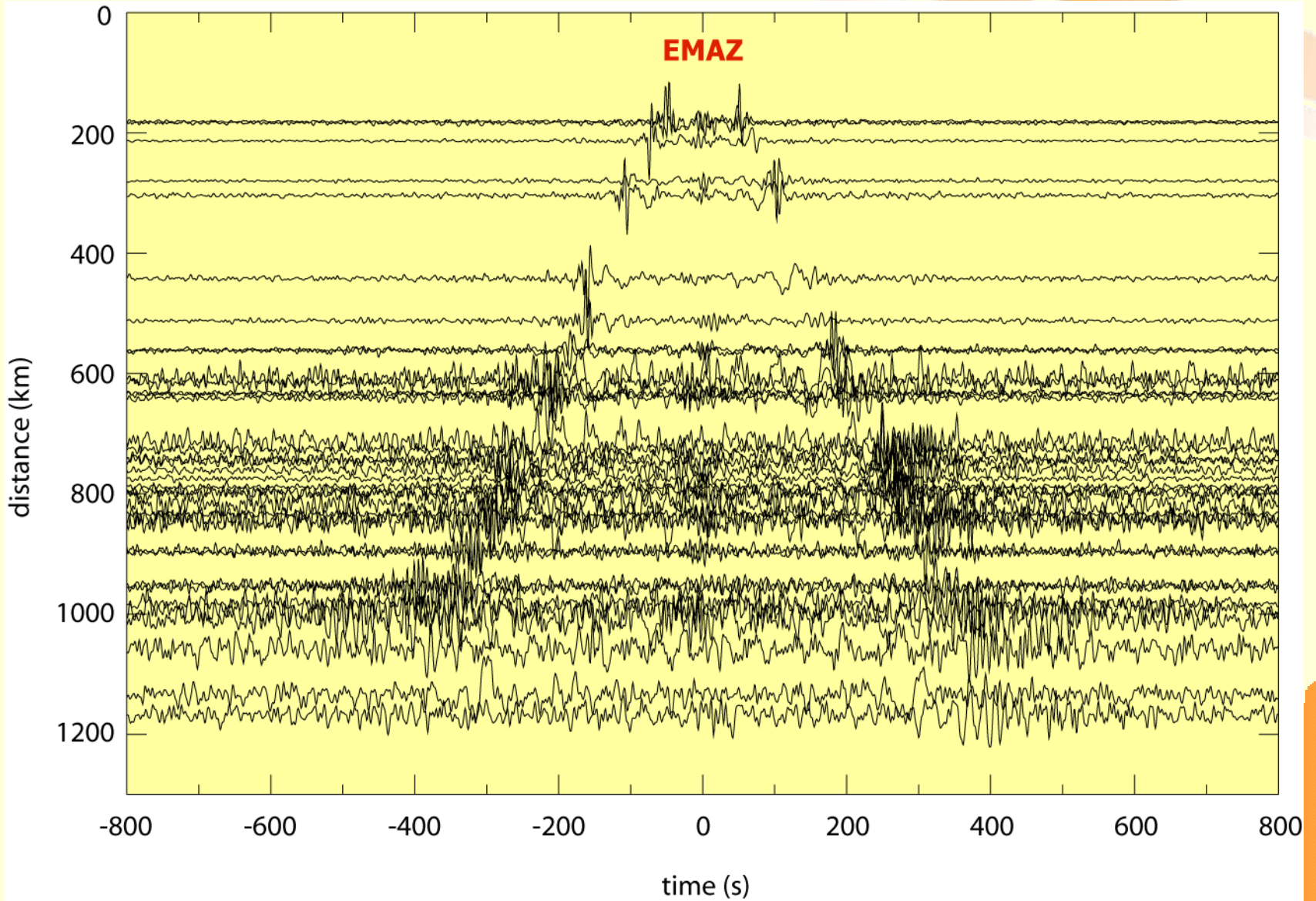


Data processing to obtain Green's functions

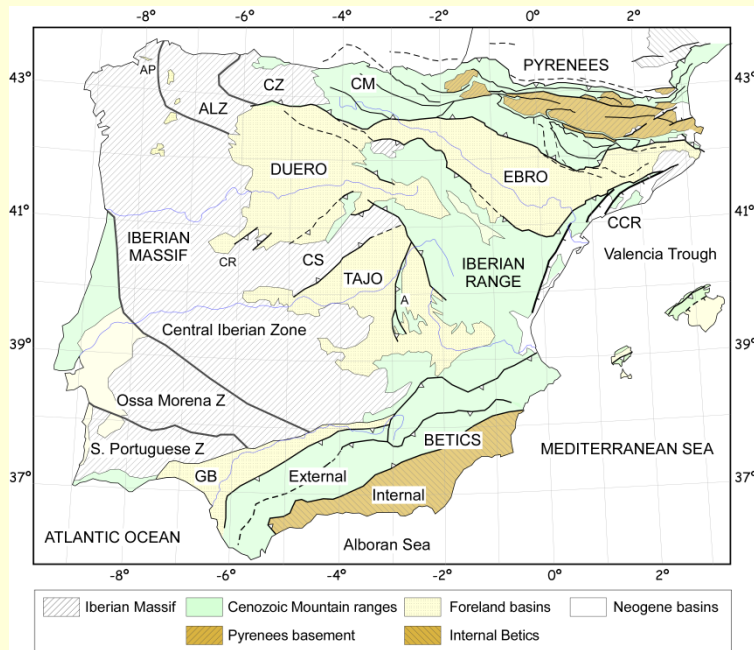
Data processing of ambient noise data to obtain Green's functions and dispersion measurements



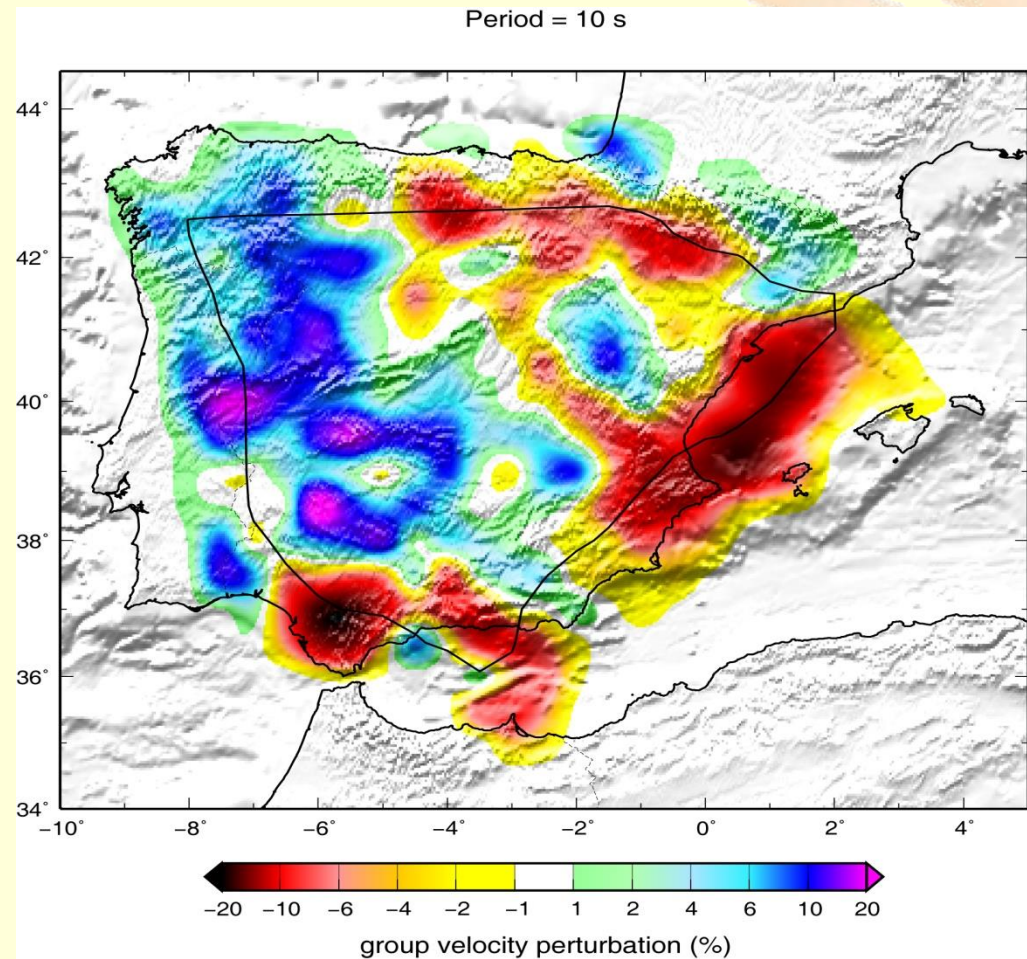
Cross-correlation “record section”



10 s Rayleigh-wave group velocity map



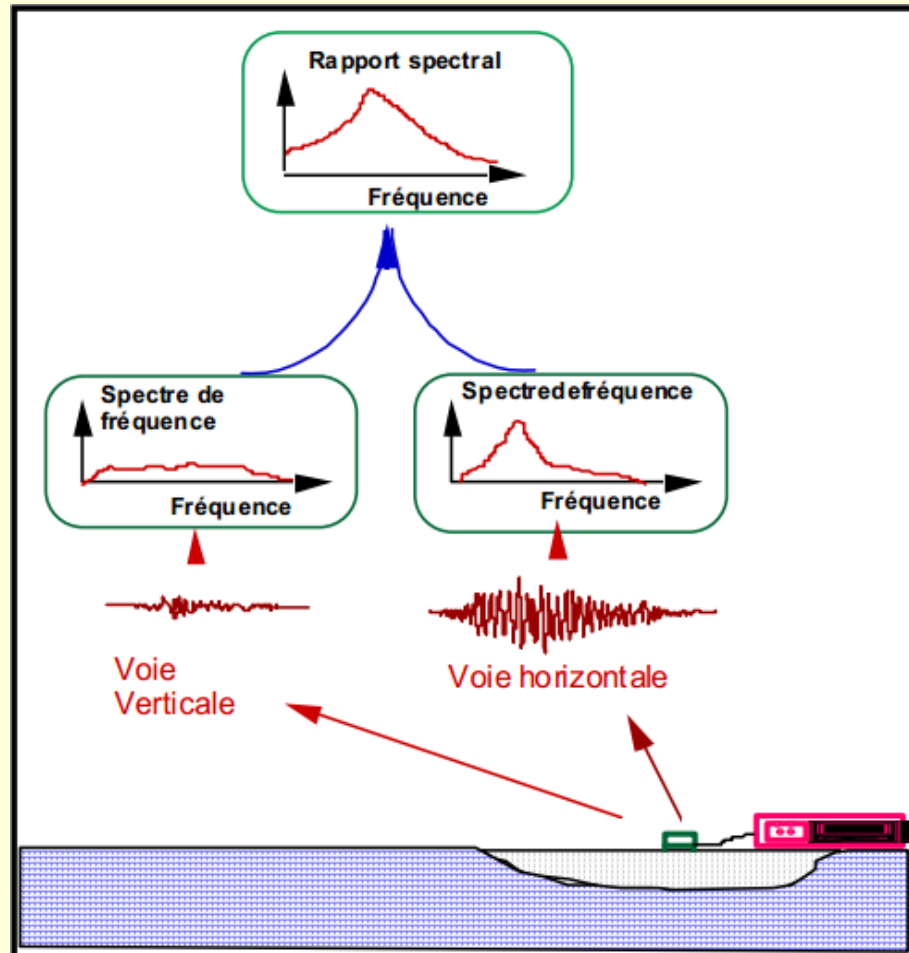
Vergés and Fernàndez (2006)



2- Méthodes basées sur les enregistrements du bruit de fond sismique

B- Méthode des rapports spectraux H/V

Les méthodes basées sur le bruit de fond sismique, et notamment la méthode H/V, utilisent les propriétés du bruit urbain pour estimer les caractéristiques physiques des sols à un coût défiant toute concurrence. Elles sont utilisées dans les zones fortement urbanisées, là où le risque sismique peut être élevé.



Description de la méthode Nakamura

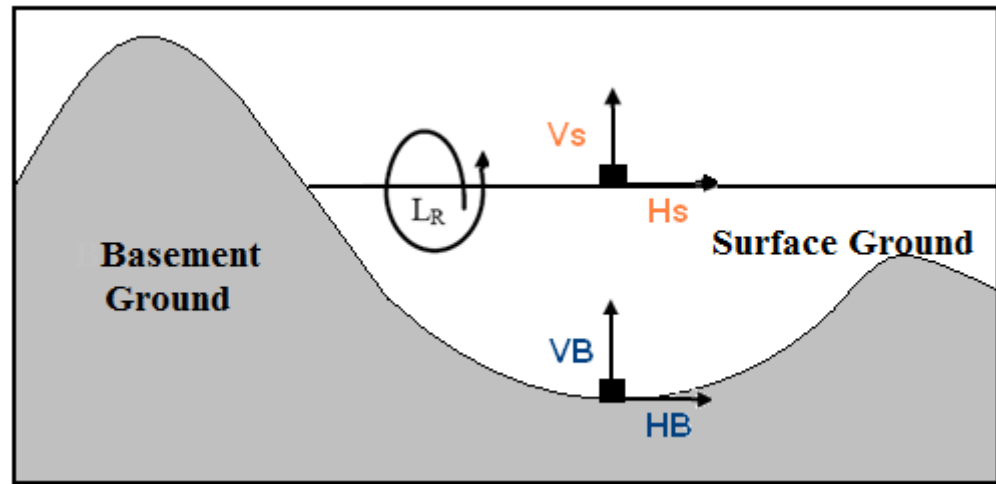


Illustration du simple modèle retenu pour l'interprétation du rapport H/V , défini par Nakamura (1989) (Nakamura, 1989; modifié).

- Selon Nakamura (1989), il est possible d'estimer l'effet de ~~Au~~ Au aux ondes de Rayleigh par :

$$A_s = \frac{V_s}{V_b}$$

V_s : Spectre vertical à la surface ;

V_b : Spectre vertical au substratum.

De même, Nakamura définit l'effet S_E lié au site de la manière suivante

$$S_E = \frac{H_S}{H_b}$$

Pour supprimer l'effet des ondes de Rayleigh, Nakamura propose une fonction de transfert modifiée.

$$\begin{aligned} T_F = \frac{S_E}{A_s} &\Leftrightarrow T_F = \frac{H_S \times V_b}{V_S \times H_b} \\ &\Rightarrow T_F = \frac{H_S}{V_S} \times \frac{V_b}{H_b} \end{aligned}$$

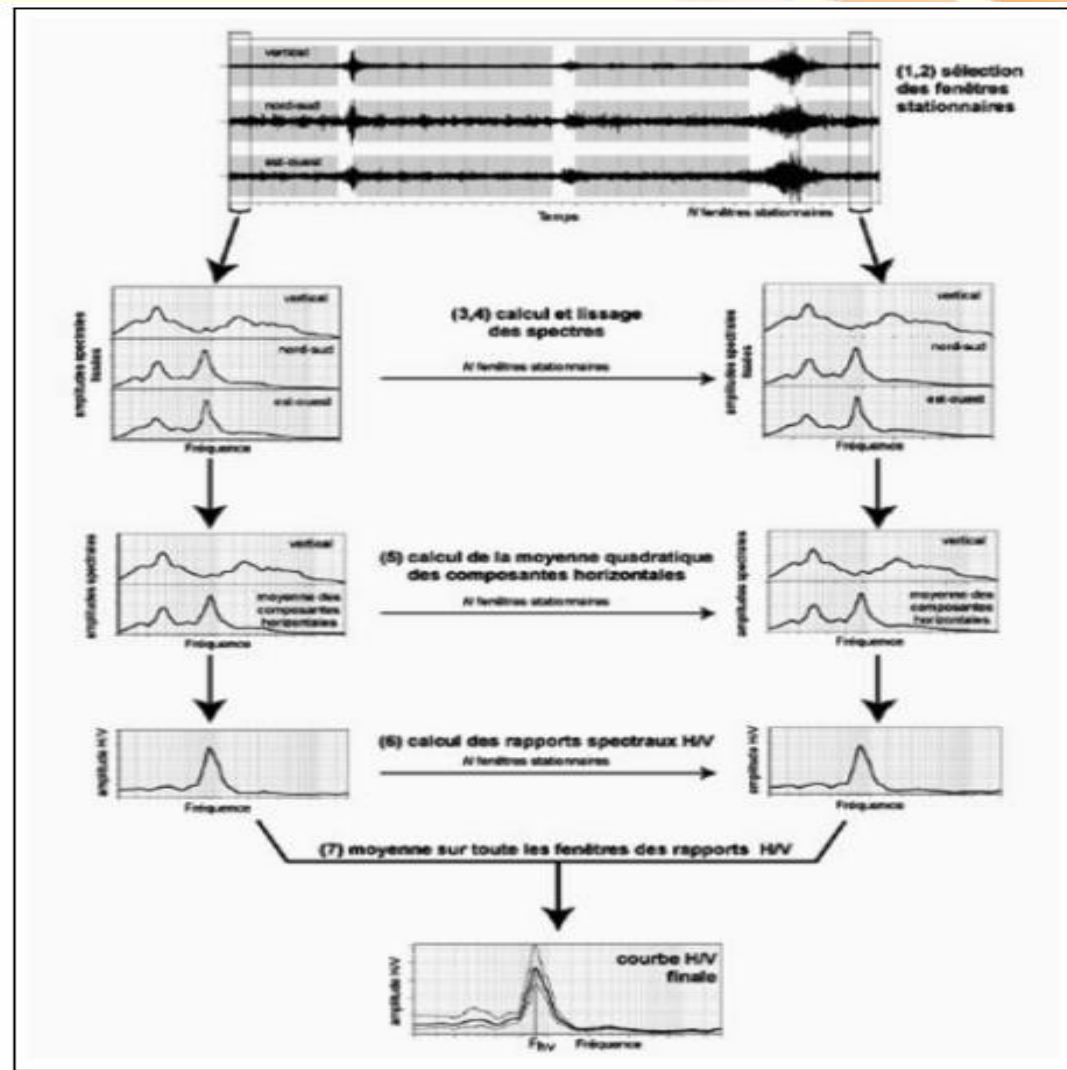
De même,

$$T_F = \frac{H_S}{V_S}$$

$$\frac{V_b}{H_b}$$

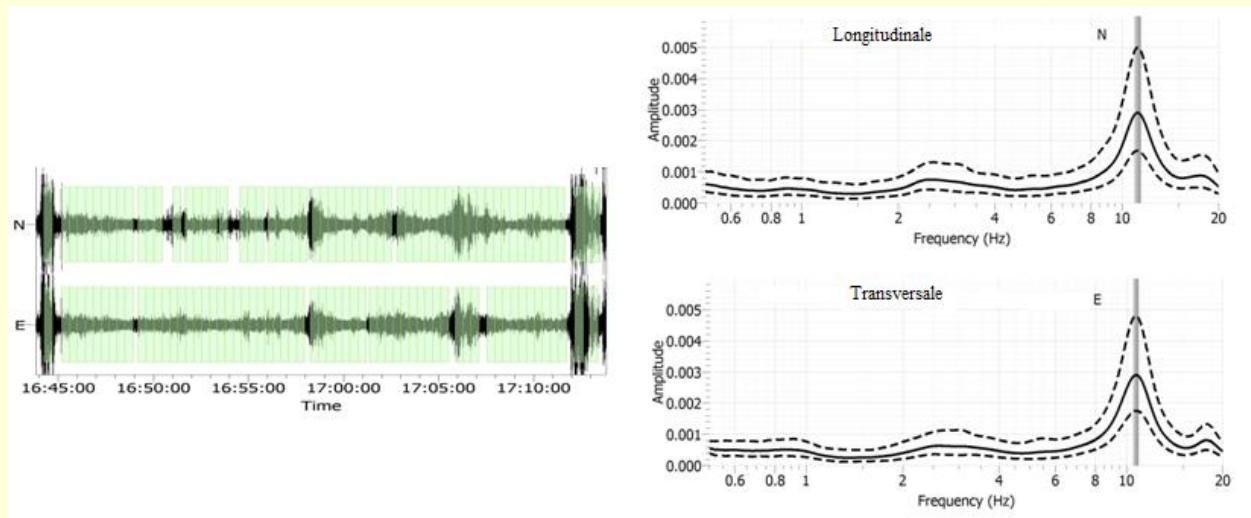
Car le rapport est considéré comme égal à 1

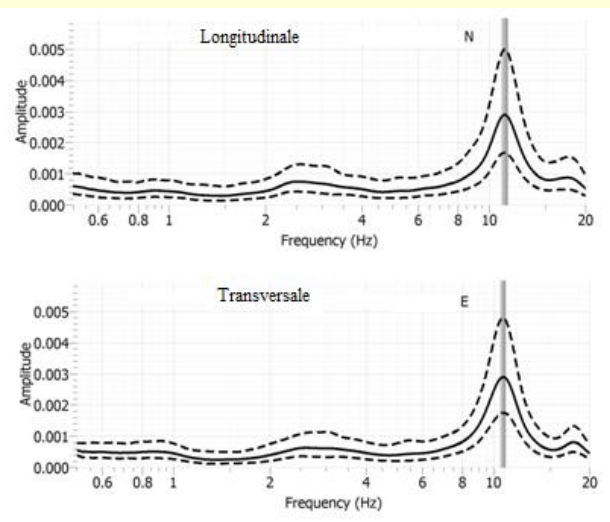
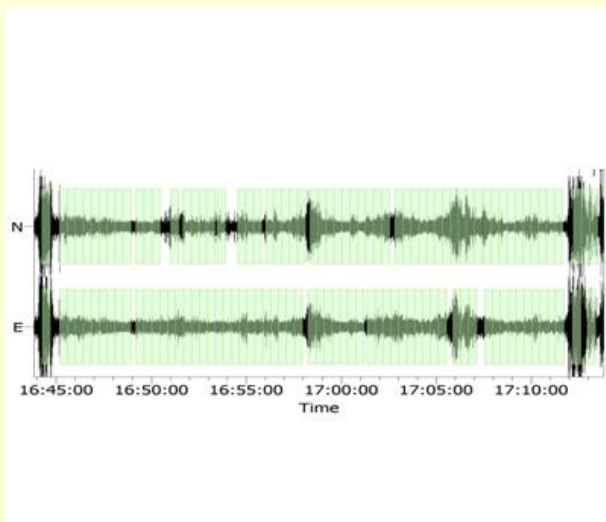
En conclusion, les effets de site $S_E = \frac{H_S}{V_S}$

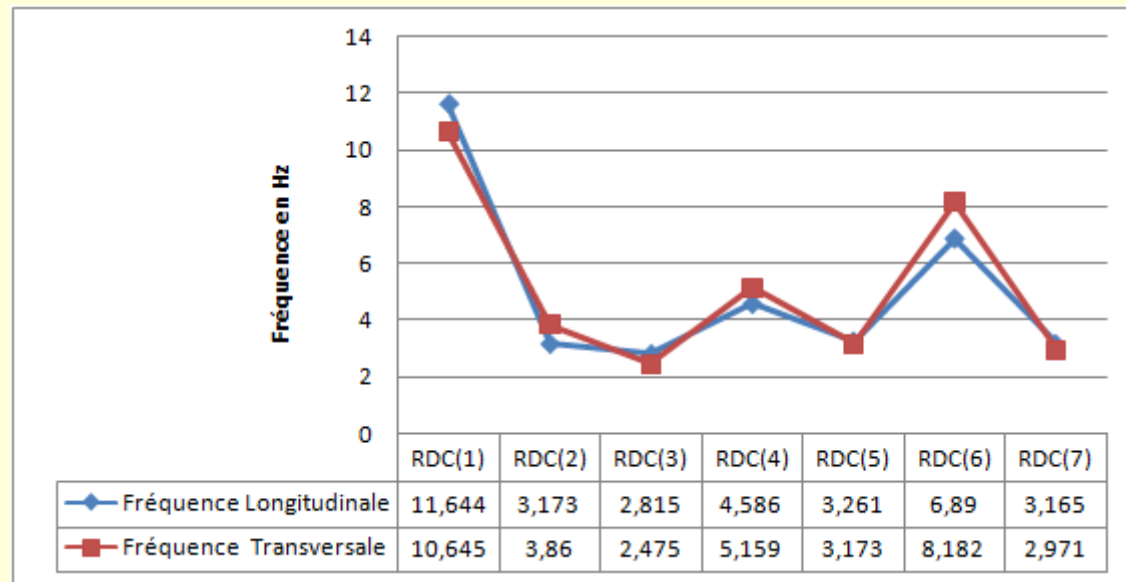


Les différentes étapes de traitement des données pour la méthode de Nakamura

Fréquences propres des bâtiments







Exemples de résultats de mesure H/V des bâtiments