

# ANALYSE MULTIDIMENSIONNELLE ET MULTI-ECHELLE : UNE AIDE A LA DESCRIPTION DE PARAMETRES GEOPHYSIQUES

**Minh Quy NGUYEN et Jérôme MARS**

Centre des Phénomènes Aléatoires et Géophysiques  
Ecole Supérieure des Ingénieurs Electriciens de Grenoble  
Rue de la Houille blanche, BP 46  
38402 Saint Martin d'Hères

## RESUME

La connaissance des paramètres géophysiques ou attributs joue un rôle important pour l'interprétation des données sismiques. Traditionnellement ces attributs sont définis à partir de la trace complexe définie à l'aide de la Transformée de Hilbert (TH) à une dimension. Nous décrivons une approche consistant à prendre explicitement en compte le caractère temps et distance des réseaux de capteurs par l'intermédiaire d'une TH2D. Une nouvelle gamme d'attributs est ainsi générée. Nous proposons aussi une méthode basée sur une analyse multi-échelle des données permettant d'accéder à une meilleure localisation temps-fréquence des variations fréquentielles. Une application sur des exemples synthétiques et réels montre l'intérêt et l'efficacité de ces méthodes.

## ABSTRACT

In the first part of this paper, we present 2-D seismic attributes with applications on synthetic and real data. By introducing the spatial dimension in the classical Hilbert Transform, the calculations of the attributes prove to be very helpful in seismic interpretation. A new set of 2-D seismic attributes is generated and tested on real and synthetic data. Second part is devoted to a multiscale analysis. In order to characterize the variations of some important attributes in frequency domain, we develop a method based on complex wavelet coefficients. Using this technique, we have a better localization of these variations in the time domain and in the frequency domain.

## 1. INTRODUCTION

Le calcul des attributs permettant une description des réservoirs en géophysique s'est jusqu'à maintenant souvent effectué par l'intermédiaire de la Transformée de Hilbert à une dimension [3;4]. Ces attributs permettent de mettre en évidence des caractéristiques lithologiques tels que les changements latéraux de faciès, les biseaux sédimentaires avec accumulation d'hydrocarbures qui sont difficilement observables sur les images sismiques classiques. En 1996, Barnes décrit théoriquement quelques attributs à deux dimensions en introduisant la dimension spatiale dans le calcul des attributs [1]. Le signal analytique à deux dimensions sera obtenu par une Transformée de Hilbert à deux dimensions (TH2D) et permettra d'obtenir, en plus des attributs classiques à une dimension, une nouvelle gamme de descripteurs à deux dimensions tels que l'amplitude 2D et la phase 2D, la fréquence instantanée 2D, les pendages 2D de la phase et de l'amplitude instantanées, les vitesses de groupe et de phase instantanées. La caractérisation des variations fréquentielles de certains attributs essentiels à la description des réservoirs sera obtenue par l'utilisation d'une analyse multi-échelle des données sismiques. Utilisant les coefficients d'ondelettes complexes, cette analyse nous permet d'accéder à une meilleure localisation fréquentielle et temporelle de ces variations fréquentielles.

## 2. UNE NOUVELLE GAMME D'ATTRIBUTS

### 2.1 UTILISATION DE LA TH2D

Avec l'extension des campagnes sismiques à deux et trois dimensions, il est nécessaire et impératif, dans le calcul des

attributs, de prendre en compte la variable spatiale pour générer une nouvelle classe d'attributs à deux dimensions. Aussi, le signal analytique ou complexe associé à un signal  $S(x,t)$  dépendant de la variable temporelle  $t$  et de la variable spatiale  $x$  sera défini par :

$$Z(x,t) = S(x,t) + iH_S(x,t) \quad (2.1)$$

où  $H_S(x,t)$  est l'opérateur Transformée de Hilbert à deux dimensions, défini dans le domaine  $(k,w)$  par :

$$H(k,w) = \begin{cases} -i & w > 0 \\ +i & w < 0 \\ -i & k > 0 \quad w = 0 \\ +i & k < 0 \quad w = 0 \\ 0 & k = 0 \quad w = 0 \end{cases} \quad (2.2)$$

En supposant les signaux centrés temporellement, il est possible de ramener les calculs de la Transformée de Hilbert à deux dimensions au cas monodimensionnel. En effet, si l'on suppose que le signal est décomposable de la façon suivante :

$$\hat{S}(x,t) = S_0(x) + S_1(x,t) \quad (2.3)$$

où  $S_0(x)$  est la moyenne temporelle du signal  $S(x,t)$  et  $S_1(x,t)$ , le signal de départ sans la composante continue, alors la section quadratique du signal est définie par :

$$H_S(x,t) = H_{S0}(x) + H_{S1}(x,t) \quad (2.4)$$

avec  $H_{S0}(x) = -h_X(x) * S_0(x)$

et  $H_{S1}(x,t) = h_t(t) * S_1(x,t)$ ,

où  $h_t(x)$  et  $h_X(t)$  sont respectivement les opérateurs Transformée de Hilbert à une dimension en temps et en espace. Cette méthode permettra donc de remplacer l'opérateur Transformée de Hilbert à deux dimensions par celui à une dimension.

2.2 LES ATTRIBUTS A DEUX DIMENSIONS

La nouvelle gamme d'attributs sera générée à partir du signal analytique  $Z(x,t)$  défini par :

$$Z(x,t) = A(x,t) \exp(i\theta(x,t)) \quad (2.5)$$

$A(x,t)$  est l'amplitude instantanée-2D engendrée par :

$$|Z(x,t)| = \sqrt{S^2(x,t) + H_s^2(x,t)}. \quad (2.6)$$

Cet attribut indique souvent la présence de changements lithologiques importants tels que des changements de faciès dans les couches sédimentaires et permet de suivre grossièrement en distance les discontinuités d'un réflecteur.

L'attribut  $\theta(x,t)$  appelée phase instantanée-2D est égale à :

$$\text{Arctan} \left( \frac{H_s(x,t)}{S(x,t)} \right). \quad (2.7)$$

Il permet de suivre spatialement les événements faibles en amplitude et de caractériser les discontinuités telles que les failles. A partir de ces deux attributs majeurs, on peut déterminer tout un ensemble d'attributs à deux dimensions tels que la fréquence instantanée spatiale et temporelle, la largeur de bande spatiale et temporelle pour ne citer que les principaux.

La fréquence instantanée 2D est définie généralement par :

$$\vec{f} = \frac{1}{2\pi} \vec{\nabla} \theta(x,t) = \frac{V}{4\pi} \frac{\partial \theta}{\partial x} \vec{x} + \frac{1}{2\pi} \frac{\partial \theta}{\partial t} \vec{t} \quad (2.8)$$

On peut simplifier cette expression par :  $\vec{f} = f_x \vec{x} + f_t \vec{t}$  où  $f_x$  est la fréquence instantanée spatiale et  $f_t$  la fréquence instantanée temporelle. A partir de cette formule, on peut donc définir un nouvel attribut appelé l'inclinaison instantanée de la phase  $\gamma_p$  représentée à la figure 1.

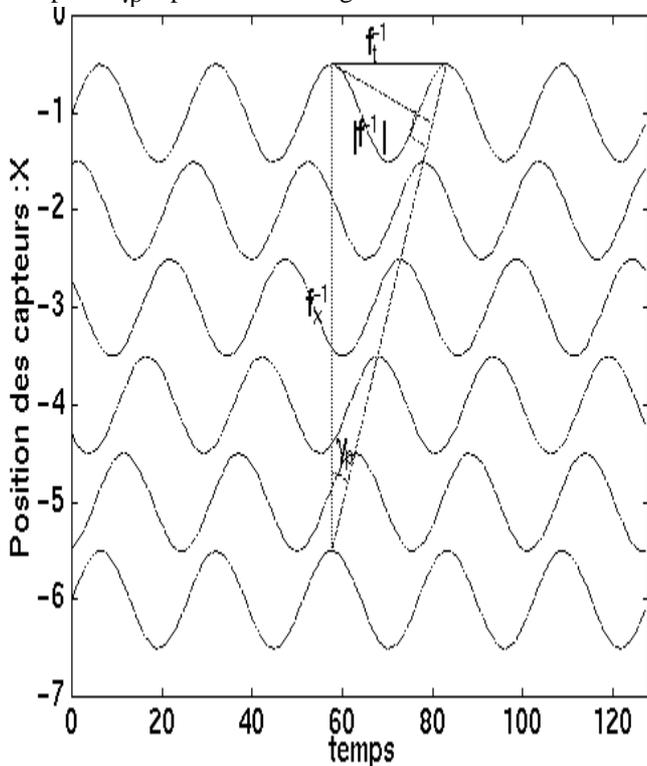


Figure 1 : Représentation synthétique

La largeur de bande 2D: Cet attribut permettra d'améliorer la dominante principale d'un réflecteur et de lisser les irrégularités dues aux bruits. Il est défini par :

$$\vec{s} = \frac{V}{4\pi} \frac{\partial \log(A)}{\partial x} \vec{x} + \frac{1}{2\pi} \frac{\partial \log(A)}{\partial t} \vec{t} \quad (2.9)$$

Il s'exprime aussi de la façon suivante :  $\vec{s} = s_x \vec{x} + s_t \vec{t}$  où  $s_x$  est la largeur de bande instantanée spatiale et  $s_t$  la largeur de bande instantanée temporelle. On peut définir un nouvel attribut appelé l'inclinaison instantanée de l'amplitude  $\gamma_a = \text{Arctan} \frac{s_x}{s_t}$ .

3. L'ANALYSE MULTI-ECHELLE

Grâce à l'utilisation d'une méthode multi-échelle utilisant une ondelette de Morlet, nous pouvons étudier les attributs possédant des variations avec la fréquence et ce à plusieurs échelles. La Transformée en Ondelette Continue décompose un signal  $f(t)$  en une combinaison linéaire d'ondelettes de base  $\psi(t)$  dilatée d'une échelle  $a$  et décalée d'une position  $b$  [2]. Les coefficients d'ondelettes sont donnés par :

$$\hat{f}(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (3.1)$$

$$\text{où } \psi(t) = (\pi t_0^2)^{-1/4} \exp\left[\frac{-1}{2} \left(\frac{t}{t_0}\right)^2 + 2i\pi\nu_0 t\right] \quad (3.2)$$

En toute rigueur, une telle ondelette n'est pas admissible. La solution retenue consiste à imposer une valeur faible en module pour  $\hat{\psi}(0)$ , tout en tolérant qu'un petit nombre d'oscillations pour  $\psi(t)$ . On choisit donc  $5 < 2 \cdot \nu_0 t_0 < 6$ . Le signal  $f(t)$  peut être reconstruit à partir de la transformée d'ondelette inverse pour une échelle fixée. Cela nous amène à :

$$\hat{f}_c(a,t) = \frac{2}{c_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(a,b) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) db \quad (3.3)$$

Si l'ondelette est complexe et  $\hat{f}_c(t)$  complexe, leurs amplitude et phase peuvent être utilisées comme indicateurs d'attributs.

4. APPLICATIONS

Nous illustrons l'efficacité du calcul des attributs à deux dimensions par l'application à des données synthétiques et réelles. Pour des raisons de place, nous ne présenterons que les données réelles. Celles-ci proviennent d'une campagne sismique ayant pour objectif d'étudier les ondes de surfaces dominantes et dispersives pour connaître les variations de la hauteur de la nappe phréatique aux alentours de la Côte St André (Isère). La figure 2 représente les données récoltées. L'intertrace  $\bullet x$  est de deux mètres, le pas d'échantillonnage est de 2 ms. Les attributs-2D présentés sont, la fréquence instantanée (figure 3), la courbe de vitesse de phase (figure 4) et la courbe de vitesse de groupe (figure 5). D'autres attributs tels que la phase instantanée, la largeur de bande instantanée, le facteur de qualité peut être également calculés. La largeur de bande instantanée et le facteur de qualité reflètent l'idée d'absorption est s'utilise comme un outil de corrélation. Le

facteur de qualité La figure 3 (fréq. inst.) nous montre que le signal sismique possède des battements de fréquences significatives pour une onde de surface de type Rayleigh. Les vitesses de phase (Figure 4) et vitesses de groupe (Figure 5) issues des données sont différentes. La vitesse de phase moyenne sur l'ensemble des capteurs est d'environ 1200 m/s alors que la vitesse de groupe est plus basse (700 à 900 m/s). L'analyse multi-échelle du capteur 3 et 30 (figure 6 et 7) montre le caractère dispersif de l'onde (distorsion de l'ondelette), et permet de pointer avec précision son temps d'arrivée. Les figures 8 et 9 sont les amplitudes des coefficients d'ondelettes prises à deux échelles différentes sur l'ensemble du dispositif (50 et 95). L'analyse de ces différentes sections, nous permettra de définir des filtres appropriés dans le domaine des ondelettes. On retrouve le caractère dispersif de l'onde où les basses fréquences (Figure 8) se propagent plus rapidement que les hautes fréquences (Figure 9). Ce filtrage dans le domaine des ondelettes est un outil intéressant pour la caractérisation des ondes

## 5. CONCLUSIONS



Figure 2 : Données initiales réelles après prétraitement.  
L'axe horizontal correspond à l'axe temporel de 0 à 512 ms  
L'axe vertical correspond à l'axe spatial de 11 à 100 mètres.  
Le point (0,0) se trouve en haut et à gauche. Les données sont représentées en normalisation trace à trace.

Nous montrons sur des données synthétiques et réelles que l'introduction explicite de la dimension spatiale dans le calcul des attributs par l'intermédiaire de la TH2D nous permet d'accéder à une nouvelle gamme d'attributs facilement exploitable. De plus, l'utilisation d'une analyse multi-échelle basée sur la Transformée en Ondelette nous permet de caractériser de façon précise la localisation temporelle et fréquentielle des événements intéressants.

## 6. REFERENCES

- [1] Barnes, A. E., 1996, Theory of 2D complex seismic trace analysis, *Geophysics*, 61, 264-272.
- [2] Goupillaud, P. Grossman, P. and Morlet, J., 1984, Cycle-octave and related transforms in seismic signal analysis, *Geoexploration*, 23, 1984/85, 85-102.
- [3] Taner, M. T., Koehler F., and Sheriff R. E., 1979, Complex Trace analysis, *Geophysics*, 44, 1041-1063.
- [4] Yang C.H. and Hsiuan T. H., 1990, Identification of seismic Anomalies using seismic attributes and reconstructed images, *Proc. of Society of Exploration Geophysicists, San Francisco*, 226-228.

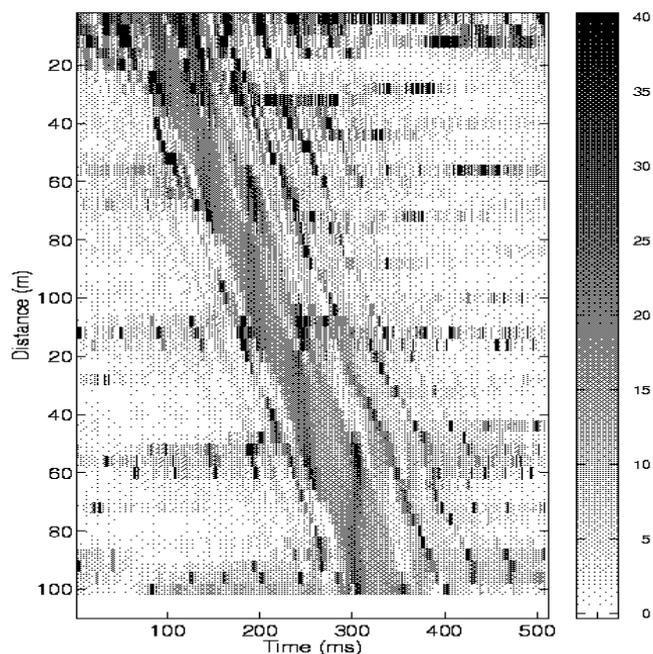


Figure 3 : Fréquence instantanée.

L'axe horizontal correspond à l'axe temporel de 0 à 512 ms  
L'axe vertical correspond à l'axe spatial de 11 à 100 mètres.  
L'échelle de gris correspond aux valeurs fréquentielles trouvées  
comprise entre 0 et 40 Hz

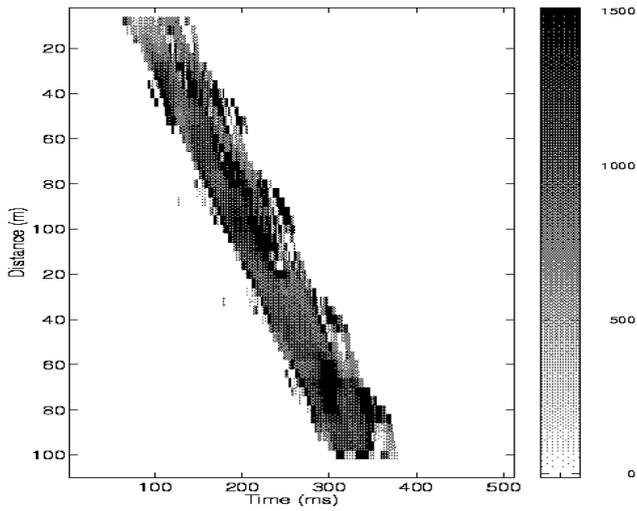


Figure 4 : Vitesse de Phase (Onde de Rayleigh)

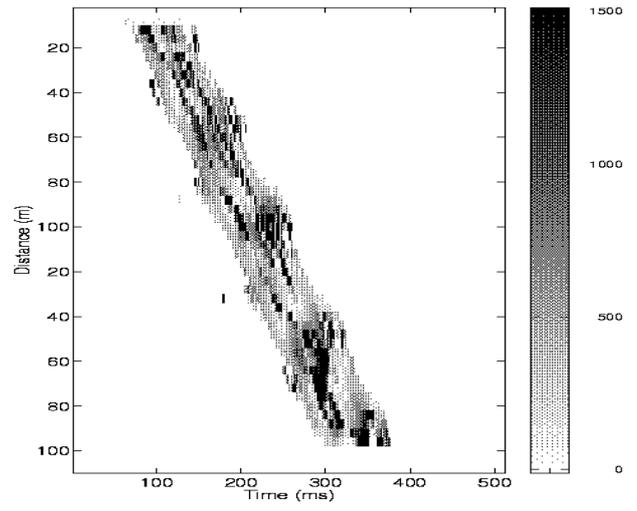


Figure 5 : Vitesse de Groupe (Onde de Rayleigh)

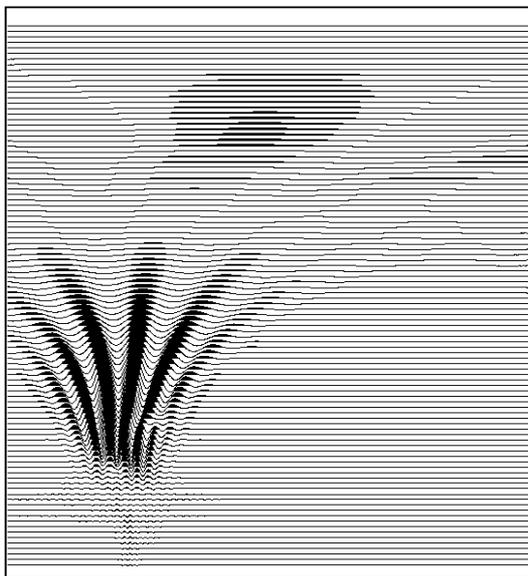


Figure 6 : Analyse multi-échelle de la trace 3.  
L'axe vertical est celui des échelles (fréquences).  
L'axe horizontal est celui des temps.

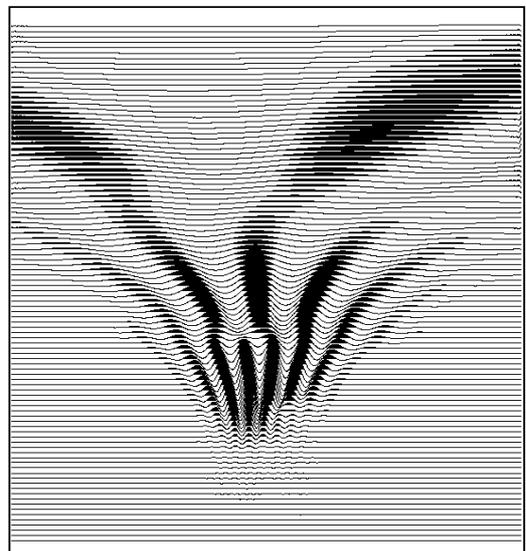


Figure 7 : Analyse multi-échelle de la trace 30.  
L'axe vertical est celui des échelles (fréquences).  
L'axe horizontal est celui des temps.

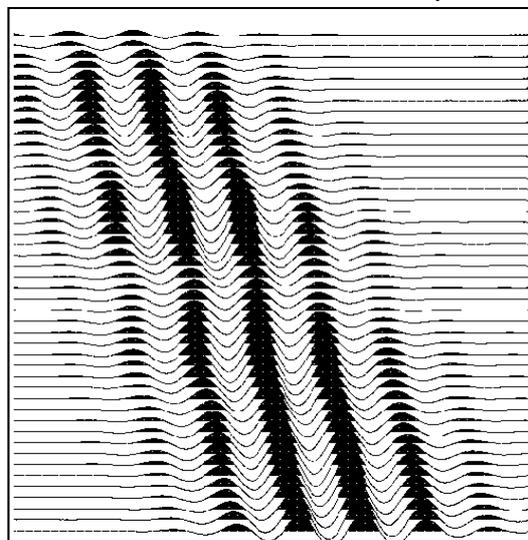


Figure 8 : Représentation de l'analyse multi-échelle à échelle constante (50) pour toutes les traces du dispositif.

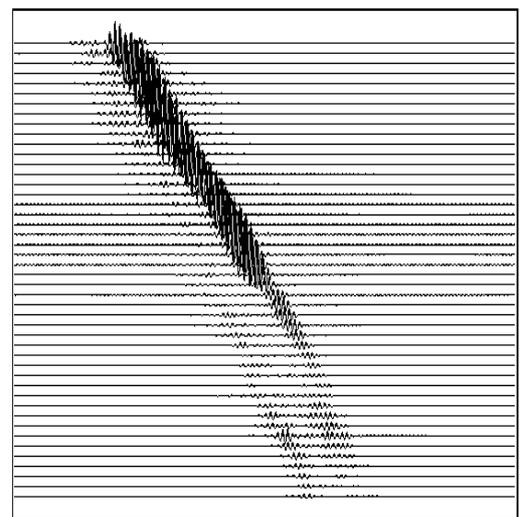


Figure 9 : Représentation de l'analyse multi-échelle à échelle constante (95) pour toutes les traces du dispositif.