

LE FILTRAGE NON-LINEAIRE DANS LA SEPARATION DE SOURCE : APPLICATION A LA SUPPRESSION DES REFLEXIONS MULTIPLES DANS LE DOMAINE FREQUENCES-NOMBRE D'ONDES (f - k)

Rachid SELLAM*, Mounir DJEDDI, Messaoud BENIDIR**, Moh-Amokrane
AITOUCHE* et Mabrouk DJEDDI***

RÉSUMÉ

La suppression des réflexions multiples dans le domaine (f, k) par le filtrage conventionnel, donne des résultats satisfaisants pour les offsets lointains. Se basant sur la différence des vitesses apparentes des réflexions primaire et multiple, ses limites apparaissent vite lorsqu'il y a superposition des énergies de ces réflexions. De même, on peut avoir dans le domaine (f, k) le chevauchement de ces énergies ou un repliement du spectre. On a alors une partie de l'énergie du multiple qui est préservée, ou une distorsion de l'énergie de la réflexion primaire. De plus, le filtre $f - k$ conventionnel donne une réponse impulsionnelle entachée par le phénomène de Gibbs.

Le filtre non linéaire pallie cette difficulté. Il permet de définir automatiquement la zone du domaine (f, k) à rejeter, plutôt que de remettre à zéro (brutalement) la partie non désirée du spectre. Nous avons utilisé les modèles de données originales (réflexions primaires et multiples) et celui (prédit par équation d'onde) des multiples. La fonction utilisée pour comparer les énergies est la fonction de Butterworth. L'application du filtre non linéaire donne de meilleurs résultats en utilisant le modèle multiple prédit.

Mots clés : Suppression des réflexions multiples - Aliasing - Offsets - Domaine (f, k),
Filtre $f - k$ conventionnel - Filtrage non linéaire - Modèle multiple prédit.

NON-LINEAR FILTERING IN THE SEPARATION OF SOURCE APPLICATION TO THE SUPPRESSION OF MULTIPLE REFLECTIONS IN THE FREQUENCIES-WAVENUMBER ($f - k$) DOMAIN

ABSTRACT

The conventional filter for suppression of multiples in the (f, k) domain has proved efficient namely for the far offsets. However, due to some arising geological difficulties (especially when the multiple energy superposes to that of the primary reflection) this filter is no more appropriate.

* Laboratoire de Physique de la Terre – Université de Boumerdès (Algérie)

** Laboratoire des Signaux et Système (L2S) – SUPELEC, Gif-sur-Yvette – France

- Manuscrit déposé le 29 Juillet 2001, accepté après révision le 27 Avril 2004.

New techniques are then required. We suggest using non linear filtering, that presents important advantage. Indeed, it automatically defines the zone to eliminate, even energies of events (multiple and primary reflections) are superposed or are overlapped.

To realise this filter, we used the Butterworth gain function to compare the energies of the primaries and multiples reflections, we applied the non linear filter using the original model and the predicted multiple model. This latter leads to better results.

Keywords : Multiple suppression - Aliasing, offsets - Domain $f - k$ - Conventional filter - Non- linear filtering - Predicted multiple model.

1 – PROBLEMATIQUE

La présence de réflexions multiples sur une section sismique constitue un problème pour le pointé ou l'identification des événements. Ils peuvent en effet être interprétés comme des horizons fictifs, ou masquer des réflexions primaires.

Il est donc impératif de les supprimer avant toute interprétation des données sismiques. Tout un processus est nécessaire pour y parvenir.

L'outil mathématique utilisé (dans le filtrage $f-k$) est la transformée de Fourier rapide (FFT) qui a la propriété de séparer les événements sismiques dans le domaine $f - k$. Il devient alors aisé de supprimer, par simple remise à zéro, les événements indésirables.

Le problème devient compliqué lorsque les réflexions primaire et multiple se superposent dans le domaine (x, t) . Après leur transformée de Fourier, ces événements seront toujours superposés (dans le domaine $f - k$). Le filtrage, dit conventionnel, n'est plus efficace.

Bien que les corrections dynamiques améliorent la séparation des événements, la solution réside néanmoins dans le filtre non linéaire. La propriété principale de ce dernier est la définition automatique de la zone à rejeter.

2 – FORMULATION MATHÉMATIQUE

La transformée de Fourier bidimensionnelle (appelée aussi transformée $f - k$) est l'outil mathématique utilisé dans le filtrage $f - k$ et est l'un des filtres multicanaux les plus utilisés en sismique.

C'est une double application de la transformée de Fourier à une dimension. Cette dernière est utilisée en traitement sismique pour sa propriété de séparation des événements dans le domaine (f, k) suivant leurs vitesses apparentes dans le domaine (x, t) .

La transformée de Fourier à deux dimensions d'une fonction continue $f(x, t)$ définie dans le plan R^2 est donnée par l'équation suivante:

$$F(f, k) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, t) e^{-2\pi j(fx + kt)} dx dt \quad (1)$$

La transformée inverse est donnée par:

$$f(x, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F(f, k) e^{+2\pi j(fx + kt)} df dk \quad (2)$$

En pratique la fonction $f(x, t)$ définit une surface sismique (la section sismique), où t et x représentent respectivement les variables temporelle et spatiale. Ces dernières sont échantillonnées et limitées suivant les temps et distances.

La transformée de Fourier bidimensionnelle discrète est donnée par (3):

$$F(I, J) = \frac{1}{MN} \sum_{p=0}^{N-1} \sum_{q=0}^{M-1} f(p, q) e^{-2\pi j \left[\frac{pI}{N} + \frac{qJ}{M} \right]} \quad (3)$$

$f(p, q)$: l'échantillon dans le domaine (x, t) ,
 $F(i, j)$: l'échantillon dans le domaine (f, k) ,
 M : le nombre de traces,
 N : le nombre d'échantillons,
 p, q : les indices temporel et spatial,
 I, J : les indices fréquentiel et en nombre d'ondes.

La transformation de Fourier discrète inverse est donnée par la relation :

$$f(p, q) = \sum_{I=0}^{N-1} \sum_{J=0}^{M-1} F(I, J) e^{2\pi j \left[\frac{pI}{N} + \frac{qJ}{M} \right]} \quad (4)$$

Cette transformée peut être représentée par une superposition linéaire de deux transformées discrètes partielles à une dimension (5).

$$g(I, q) = \frac{1}{N} \sum_{p=0}^{N-1} f(p, q) e^{-2\pi j \frac{pI}{N}} \quad (5)$$

$$F(I, J) = \frac{1}{M} \sum_{q=0}^{M-1} g(I, q) e^{-2\pi j \frac{qJ}{M}} \quad (6)$$

Ces transformations à une dimension peuvent être calculées par l'algorithme FFT. Cela représente la transformée de Fourier suivant les temps t puis suivant les distances x .

3 – RÉFLEXIONS SIMPLES ET RÉFLEXIONS MULTIPLES

3.1 – Réflexion simple (ou primaire)

Pour un milieu homogène et isotrope de vitesse V , l'expression du temps de trajet t (en fonction de l'offset x) d'une onde réfléchie est donnée par (6):

$$t^2(x) = t_0^2 + \frac{x^2}{V^2} \quad (7)$$

Pour α couches, l'expression du temps t est:

$$t^2(x) = \left(\sum_{i=1}^{\alpha} t_{0i} \right)^2 + \frac{x^2}{V^2} \quad (8)$$

avec

$$V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{\alpha} V_i^2 t_{0i}}{\sum_{i=1}^{\alpha} t_{0i}}}$$

t_{0i} : le temps double à incidence normale pour chaque couche,

V : la vitesse de stack (somme),

x : l'offset (distance émetteur-récepteur).

Dans le cas d'une couche inclinée d'un angle β , l'expression du temps est donnée par

$$t^2 = t_0^2 + \frac{x^2 \cdot \cos(\beta)^2}{V^2} \quad (9)$$

L'équation (9) est celle d'une hyperbole, comme dans le cas de couches horizontales.

3.2 – Réflexions multiples

Les réflexions multiples sont des arrivées d'énergies qui, au cours de leurs trajets, ont subi plusieurs réflexions. C'est un phénomène qui prend naissance à chaque fois qu'il y a un contraste d'impédance acoustique entre les couches géologiques. On distingue les réflexions multiples à longs trajets (multiples longs) et celles ayant un trajet plus court (multiples courts). Les multiples longs sont des réflexions produites à l'intérieur des couches épaisses. Ils sont particulièrement fréquents en sismique marine, dans la tranche d'eau. C'est ce type de multiples qui sera traité dans le présent article.

Les multiples courts sont aussi appelés réverbérations. Ils affectent la forme de l'ondelette sismique en lui ajoutant des lobes secondaires, ce qui diminue le pouvoir de résolution.

Les deux figures ci-dessous en donnent quelques exemples [6].

Les techniques de suppression des multiples sont aussi variées que la nature et les caractéristiques des multiples [5]. Elles se basent sur :

- La différence de courbure entre les réflexions primaires et les multiples (discrimination par les vitesses).
- La différence de pendage entre les réflexions primaires et les multiples sur un stack CDP (Common Depth Point)

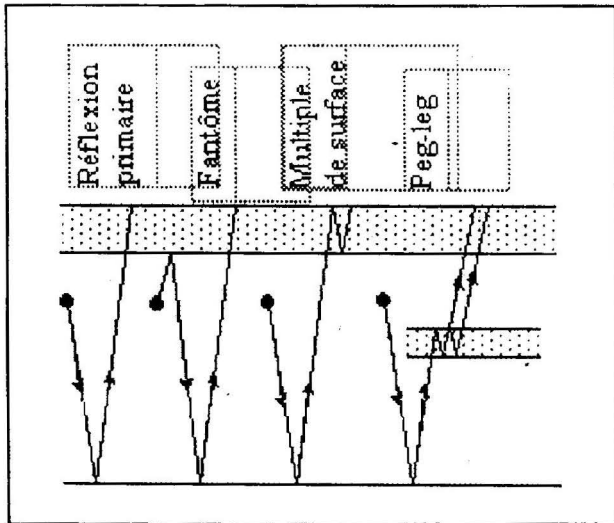


Fig. 1 - Multiples courts
Schort multiples

- La différence du contenu fréquentiel entre les primaires et les multiples.
- La périodicité des multiples:

Les multiples sont également atténués lors de l'addition en couverture multiple. A partir d'une loi de vitesses, les réflexions sont corrigées dynamiquement, les primaires sont alignées tandis que les multiples sont généralement sous corrigées. Après addition, les primaires sont préservées alors que les multiples sont atténués.

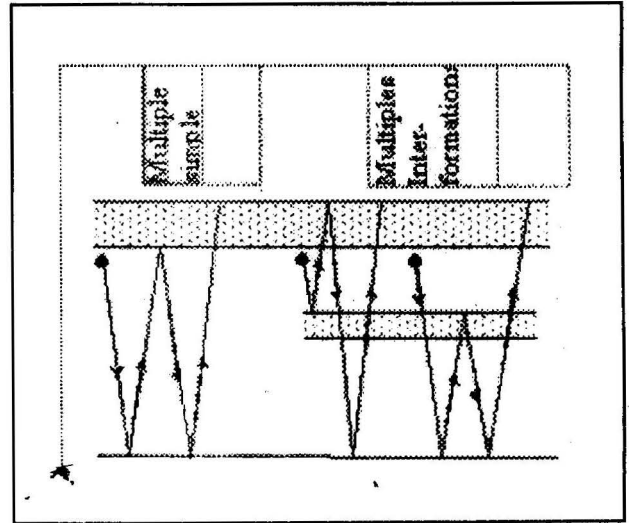


Fig. 2 - Multiples longs
Long multiples

Quant à la déconvolution prédictive, elle a pour but de déterminer un opérateur qui puisse supprimer la partie indésirable de l'autocorrélation englobant les multiples. Ces derniers étant répétitifs, ils sont donc «prédictibles». On calcule alors à partir d'un certain temps appelé distance de prédiction et, sur toute la trace, la partie «prédictible» du signal qu'on remet à zéro.

Pour un modèle géologique à couches horizontales, l'expression du temps d'arrivée d'une réflexion multiple d'ordre m est :

$$t_M^2 = (mt_0)^2 + \frac{x^2}{V^2} \quad (10)$$

t_M : temps d'arrivée d'une réflexion multiple,
 m : ordre du multiple.

Pour N couches, l'expression (9) devient :

$$t_M^2 = \left(\sum_{i=0}^{N-1} (OR_i + 1)t_{0i} \right)^2 + \frac{x^2}{V^2} \quad (11)$$

$$V = \frac{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} V_i^2 \cdot (OR_i + 1)t_{0i}}}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} (OR_i + 1)t_{0i}}} \quad (12)$$

ORi est l'ordre du multiple de la $i^{\text{ème}}$ couche.

4 - FILTRAGE f - k CONVENTIONNEL

4-1 Principe général

Tout évènement sismique ($s(x, t)$) peut être mis sous la forme suivante :

$$s(x, t) = a(x) + b(t - \frac{x}{V_a}) \quad (13)$$

La fonction $a(x)$ exprime le degré de cohérence de l'évènement. La fonction $b(t - \frac{x}{V_a})$ décrit la forme de l'évènement dans l'espace avec la vitesse apparente V_a . Par la transformation de Fourier (TF), on exprime le spectre bidimensionnel de l'évènement sismique $s(x, t)$ en écrivant :

$$TF[s(x, t)]_{x \leftrightarrow k, t \leftrightarrow f} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} s(x, t) \exp[-2\pi j(kx + ft)] dx dt \quad (14)$$

Par le changement de variable : $z = t - \frac{x}{V_a}$:

$$TF[s(x, t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} a(x) \exp[-2\pi j k x] \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} b(z) \exp\left[-2\pi j f \left(\frac{x}{V_a} + z\right)\right] dz dx \quad (15)$$

De manière équivalente, il vient aussi :

$$TF[s(x, t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} a(x) \exp\left[-2\pi j \left(k + \frac{f}{V_a}\right) x\right] \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} b(z) \exp(-2\pi j f z) dz dx \quad (16)$$

$$\text{Comme: } \int_{-\infty}^{+\infty} a(x) \exp\left[-2\pi j \left(k + \frac{f}{V_a}\right) x\right] dx = A\left(k + \frac{f}{V_a}\right)$$

$$\text{et } \int_{-\infty}^{+\infty} b(z) \exp(-2\pi j f z) dz = B(f)$$

$$\text{alors : } TF[s(x, t)] = A\left(k + \frac{f}{V_a}\right) B(f) \quad (17)$$

Un évènement sismique présentant une grande cohérence dans le plan (x, t) sera localisé dans le plan (f, k) avec une forte amplitude. D'une manière générale, les évènements sismiques sont organisés dans le plan (f, k) suivant leurs caractéristiques à savoir la fréquence f , le nombre d'onde k , et la vitesse apparente. Le schéma suivant montre la disposition générale des évènements sismiques dans le plan (f, k) en particulier les réflexions primaires et multiples qui apparaissent superposées au voisinage de l'axe des fréquences (vitesse apparente infinie, $k=0$)

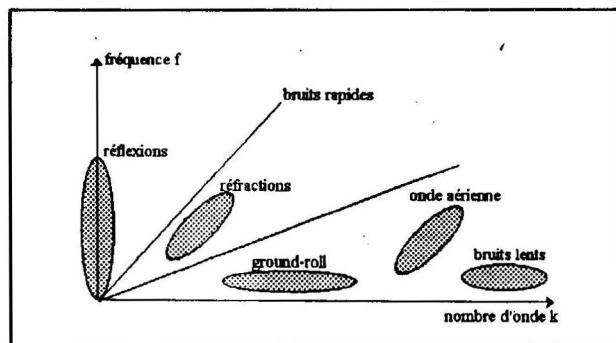


Fig. 3 - Distribution des évènements sismiques dans le plan (f, k)

The distribution of seismic events in the (f, k) domain

4-2 Mise en oeuvre du filtrage f - k conventionnel

La première étape consiste à corriger dynamiquement (Normal Move Out – NMO) le film original avec une loi de vitesse intermédiaire. Ainsi, les réflexions (primaires) seront sur-correctées, alors que les multiples seront sous-correctés.

L'application de la FFT donne les réflexions dans le quadrant négatif du domaine f - k et les multiples dans le quadrant positif.

Le filtrage conventionnel consiste en une remise à zéro de la zone des multiples dans le domaine (f, k).

La FFT inverse donne la section sismique nettoyée des multiples [4].

La figure ci-dessous illustre le filtre $(f-k)$ conventionnel.

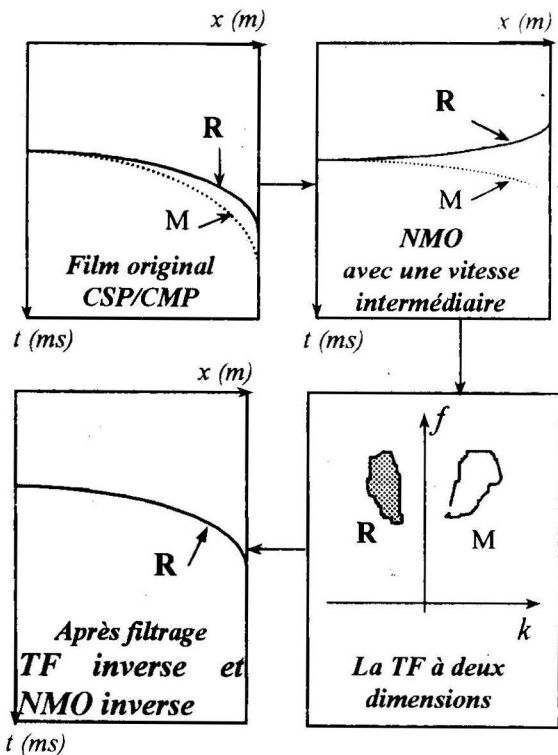


Fig. 4 - Principe du filtrage $f-k$ conventionnel
Concentration f-k filter principle

5 - FILTRE $f-k$ NON LINÉAIRE

Lorsque réflexions primaire et multiple se superposent, leurs représentations dans le domaine (f, k) se superposent également, ce qui rend impossible leur séparation.

La superposition des réflexions primaires et multiples est due à deux raisons :

- L'aliasing (chevauchement des spectres) de l'énergie du multiple et/ou de la réflexion primaire dans le domaine (f, k) peut causer un chevauchement de l'un des quadrants sur l'autre.

- Quelques multiples de la section originale peuvent avoir de l'énergie dans le quadrant négatif (celui du primaire) ou l'inverse. Ce cas est fréquent si les couches sont inclinées. Même après correction dynamique avec une vitesse intermédiaire, une partie de l'hyperbole du multiple dans le domaine (x, t) aura une vitesse apparente qui ressemble à celle des réflexions (vitesse négative). La représentation de ce dernier dans le domaine $f-k$ sera sur le quadrant des réflexions utiles. De forts résidus d'énergie du multiple sont donc susceptibles d'être dans ce quadrant, ou une atténuation de l'énergie du primaire lors du filtrage.

Si l'énergie du multiple est située dans le même quadrant que celle des réflexions, une zone étroite de rejet des multiples doit être sélectionnée pour éviter l'atténuation des primaires. Pour cela chaque data (données) du CSP est traité individuellement. Cette technique est moins efficace lorsque l'énergie du multiple est superposée sur l'énergie des primaires.

Le filtre non linéaire est présenté ici sous deux versions : la première se base sur le modèle original et la seconde prend en compte le modèle multiple prédit.

5.1 - Filtre non linéaire utilisant l'enregistrement original

Ce filtre est appliqué à l'enregistrement original qui sert à la construction d'un second enregistrement dans le domaine (f, k) . Ce dernier ne contient que la partie de l'information déclarée indésirable (la zone des multiples située dans le quadrant positif du domaine (f, k)). En comparant l'énergie dans ces deux enregistrements, on peut remarquer que le filtre non linéaire préserve automatiquement la partie utile.

L'utilisation du filtre idéal par les coupures brusques crée des sauts d'amplitudes (phénomène de Gibbs). L'utilisation de rampes inclinées

LE FILTRAGE NON-LINÉAIRE DANS LA SÉPARATION DE SOURCE : APPLICATION À LA SUPPRESSION DES RÉFLEXIONS MULTIPLES DANS LE DOMAINE FRÉQUENCES-NOMBRE D'ONDES (f-k)

évite ce problème mais laisse des résidus dans la zone à filtrer.

L'avantage du filtre non linéaire réside dans le lissage automatique des réponses, préférable à la fixation de pentes de coupures pour chaque échantillon.

Cependant, cette méthode ne résout pas complètement ni le problème de l'aliasing ni l'apparition de superposition de la réflexion multiple avec la réflexion utile ou encore celui dû à la présence de couches inclinées.

5.2 – Le filtre non linéaire appliqué sur un enregistrement muni de réflexions multiples

Cette méthode utilise le modèle multiple prédit. Ce dernier n'est constitué que de l'énergie (du multiple) à supprimer issu modèle original. Il est prédit par extrapolation de l'onde.

Les sections d'entrée du data original et du modèle multiple sont corrigées par Corrections Dynamiques (NMO) avec une vitesse intermédiaire pour maximiser le degré de séparation entre la réflexion multiple et la réflexion primaire avant transformation dans le domaine (f, k). Le filtrage est réalisé par application d'un filtre non linéaire dans ce dernier.

Ce filtre travaille comme un comparateur d'énergie entre les deux enregistrements sismiques (enregistrement original et enregistrements avec multiples) pour chaque échantillon dans le domaine (f, k).

L'utilisation de cette version du filtre non linéaire permettra de résoudre les problèmes causés par le phénomène de Gibbs ainsi que ceux dus à une mauvaise définition de la zone à rejeter. Une meilleure suppression des multiples dans le domaine (f, k) peut être achevée avec une bonne information sur le modèle multiple prédit.

5.3 - Fonction de gain du filtre.

Le choix de la fonction de gain du filtre non linéaire est arbitraire. C'est la fonction Butterworth qui est utilisée dans le présent travail. Sa formule est la suivante :

$$G(f, k) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{B(f, k)}{\varepsilon A(f, k)} \right)^n}} \quad (18)$$

- $B(f, k)$ est la somme sur une fenêtre à deux dimensions (f et k) du spectre d'amplitude de l'échantillon centré du modèle multiple prédit, $A(f, k)$ représente la sommation sur la même fenêtre du spectre (f, k) de l'enregistrement sismique original.

- n désigne le paramètre de lissage du filtre, ε le paramètre de rejet du multiple.

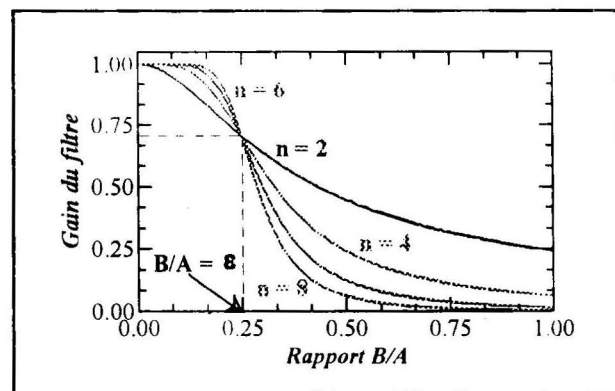


Fig. 5 - Fonction de gain du filtre non linéaire
Gain function of the non linear filter

Le filtre est non linéaire en ce sens que l'équation (18) est dépendante de l'entrée A. Par contre, le filtre conventionnel en est indépendant.

Pour un échantillon donné dans le plan (f, k) pour lequel le rapport B/A est plus petit que la valeur déterminante du rejet du multiple ε (le multiple n'existe pas) la fonction de gain est approximativement égale à l'unité, et elle prendra une valeur très proche de zéro pour un ε plus grand que le rapport B/A (présence de multiples).

Le filtre non linéaire définira donc automatiquement la zone à rejeter sans toucher aux réflexions utiles.

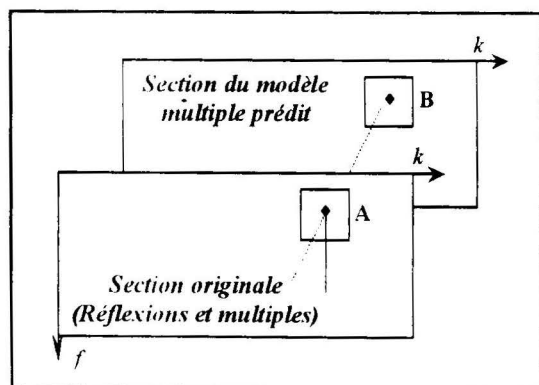


Fig. 6 - Principe de calcul du filtre non linéaire

The design of the non linear filter

Le filtre est appliqué pour chaque échantillon après la correction NMO et transformée $f-k$ du data d'entrée pour mieux séparer le primaire du multiple. Ce dernier éliminera le multiple sans distorsion du primaire même quand les énergies de ces deux événements se chevauchent.

Ce filtre n'est pas utilisé comme étant un filtre passe bas pour le filtrage dans le domaine fréquentiel, mais il est utilisé comme un comparateur des énergies entre le modèle original et le modèle multiple.

Pour mieux voir l'effet du paramètre ainsi que le gain du filtre pour des données du rapport B/A et des constantes ε et n , la figure ci-dessus montre un exemple de fonctions de gain obtenues avec les paramètres suivants :

- B/A varie de 0 à +1,
- n prend une des valeurs 2, 4, 6, et 8,
- $\varepsilon = 0.25$

La valeur de n contrôle le lissage du spectre d'amplitude. Pour une faible valeur de ce para-

mètre, les pentes seront aussi faibles, ce qui évitera le phénomène de Gibbs. Néanmoins cela donnera un mauvais filtrage. L'utilisation d'une valeur de n plus grande permettra d'améliorer le filtrage mais causera des pentes raides.

Il faudra donc choisir soigneusement ce paramètre de façon à éviter les deux inconvénients.

6 - APPLICATIONS

6.1 - Description des modèles

Les modèles géologiques sont choisis de façon à ce qu'ils soient proches de cas réels. Ces modèles sont les suivants:

- Modèle à couches horizontales

C'est un modèle à 5 couches. Les vitesses et les épaisseurs sont données dans le tableau suivant:

<i>Surface du sol</i>	
Couche N°1	$V_1=1500$ m/s $h_1= 225$ m
Couche N°2	$V_2=2000$ m/s $h_2= 300$ m
Couche N°3	$V_3= 2500$ m/s $h_3= 250$ m
Couche N°4	$V_4=3200$ m/s $h_4= 320$ m
Couche N°5	$V_5=3800$ m/s $h_5= 380$ m
Couche N°6 (Socle) $V_6= 4500$ m/s	
V_i = Vitesses de stack H_i = épaisseurs	

LE FILTRAGE NON-LINÉAIRE DANS LA SÉPARATION DE SOURCE : APPLICATION À LA SUPPRESSION DES RÉFLEXIONX MULTIPLES DANS LE DOMAINE FRÉQUENCES-NOMBRE D'ONDES (f-k)

- Modèle à couches inclinées

Le même modèle est repris avec les mêmes vitesses et épaisseurs des couches. La différence est que la première couche est inclinée d'un angle $\alpha = 4^\circ$ avec l'horizontale.

Les paramètres du film synthétique pour les deux modèles géologiques sont :

- Nombre de traces = 64,
- Temps d'enregistrement = 2 ms,
- Pas d'échantillonnage = 1 ms,
- Intertrace = 10 m,
- Offset = 20 m.

Les coefficients de réflexion pour chaque réflecteur sont respectivement égaux à 1, 0.85, 0.70, 0.55; 0.45.

A chaque modèle on a associé trois multiples M_{11} , M_{12} et M_{13} (multiples d'ordre 1, 2 et 3, engendrés par la première couche) et un multiple d'ordre 1 de la deuxième couche M_{21} .

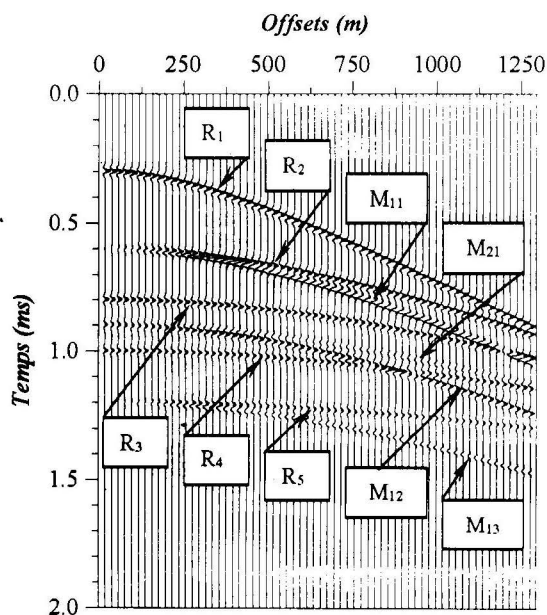


Fig. 7 - Modèle à couches horizontales
Model with horizontal layers

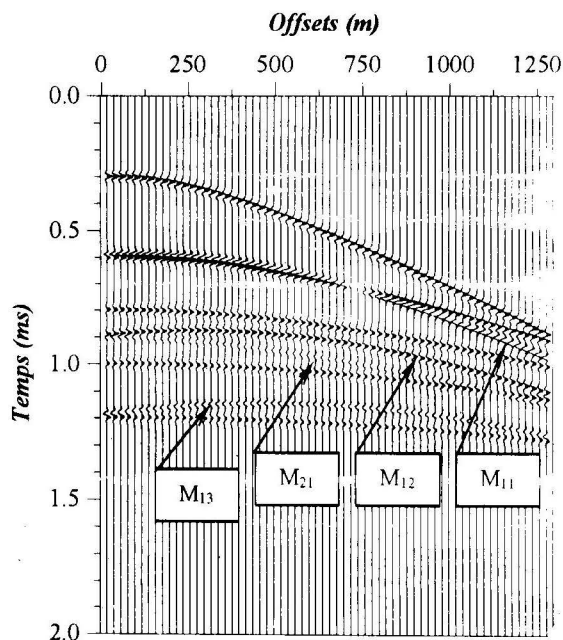


Fig. 8 - Modèle à couches inclinée
Model with a dipped first layers

6.2 - Filtrage f-k

Le filtre non linéaire en utilisant le modèle original est équivalent au filtre conventionnel. Nous remarquons des résidus importants de multiples. De plus, l'énergie des réflexions primaires est supprimée en même temps que celle des multiples.

L'avantage du filtre non linéaire utilisant le modèle original est la facilité de la mise en œuvre (Planches 1 à 4).

Le filtre non linéaire se basant sur le modèle multiple prédit donne de meilleurs résultats que le filtre conventionnel. Il permet de récupérer l'énergie des réflexions utiles atténuées du fait de la superposition des énergies de la réflexion primaire et celle du multiple. Il travaille également tant sur les offsets lointains que les offsets proches (Planches 1 à 4).

Le filtre non linéaire est également efficace dans le cas du modèle à couches inclinées. Cela confirme l'efficacité de ce filtre même dans les cas les plus délicats où l'énergie des multiples est confondue avec celle de la réflexion utile (planches 9 et 10).

La présence de bruit (20% de bruit blanc) ne diminue en rien l'efficacité du filtre. (planches 10 et 11).

7 - CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'idée maîtresse de la séparation des réflexions multiples des primaires donne des résultats appréciables lorsque ces événements sont distincts dans le plan (x, t) . Le filtrage conventionnel dans le domaine (f, k) n'est plus efficace dès lors que les énergies des multiples et des primaires se superposent.

Le filtre non linéaire permet de résoudre ce problème par la définition automatique de la zone à rejeter (celle des multiples).

S'il est possible d'améliorer ce filtre en explorant notamment du côté de sa fonction de gain, il est de loin préférable de penser à une transformation qui, dans un autre domaine, concentrerait l'énergie du multiple de façon à faciliter son élimination.

PERSPECTIVES

Dans le but d'améliorer ce travail nous avons pensé à l'outil mathématique qu'est la transformation τ - P notamment dans sa forme parabolique. Elle donne de meilleurs résultats pour la suppression des multiples.

La forme hyperbolique du multiple pouvant être approchée par une parabole, cette transformation donne du multiple un point comme image.

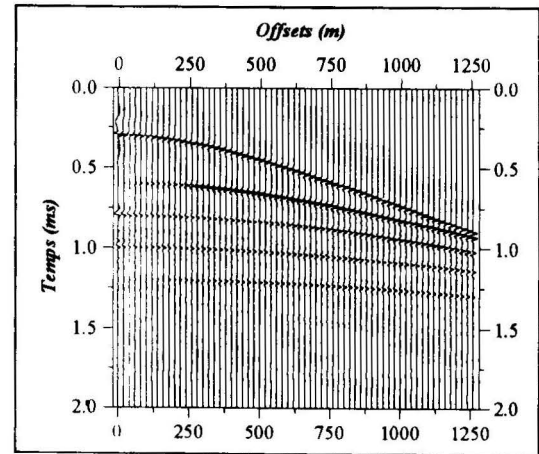


Fig. 9 - Filtre conventionnel
conventional filter

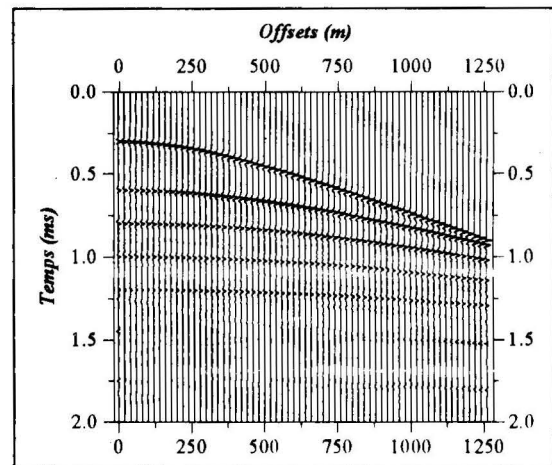


Fig. 10 - Filtre non-linéaire utilisant le modèle original
Non linear filter using original model

LE FILTRAGE NON-LINÉAIRE DANS LA SÉPARATION DE SOURCE : APPLICATION À LA SUPPRESSION DES RÉFLEXIONX MULTIPLES DANS LE DOMAINE FRÉQUENCES-NOMBRE D'ONDES (f-k)

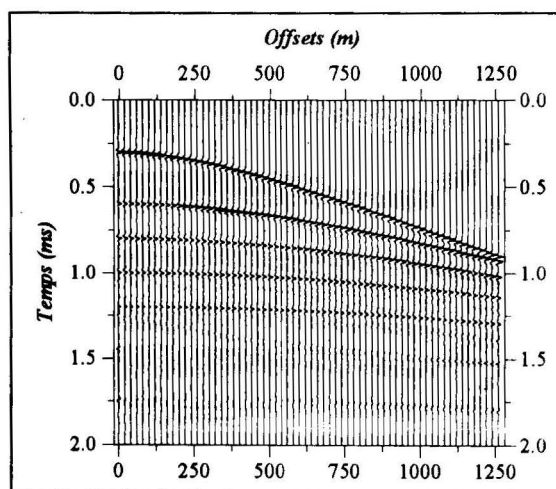


Fig.11 - Filtre non-linéaire utilisant le modèle multiple prédit

Non linear filter using the multiple predicted mode

BIBLIOGRAPHIE

ARTHUR, B. AND WEGLEIN, 999. Multiple attenuation : an overview of recent advances and the road ahead. *The Leading EDGE (SEG)*, vol. 18, No 1 pp 40-44

BENCHIKH, M. ET M. DJEDDI, 2002. Utilisation de la KL combinée avec un filtre de polarisation : application en sismique de surface et en sismique de puits – *Bulletin du service géologique de l'Algérie*, Vol 13 n°1 pp 81-92

BINZHONG ZHOU AND STEWART, A., 1994. Wave-equation extrapolation-based multiple attenuation : 2-D filtering in the f-k domain. *Geophysics*, vol 59, N°9 pp. 1377-1391

DJEDDI, M., BADDARI, K. ET AÏTOUCHE M.A., 2000. "Filtrage numérique analogique". Ed. Sarl Dar El Djazaïria Alger.

I.P.FAIL, I.P. AND GRAU, G., 1992. «Les filtres en éventail» *Geophysical prospecting*, pp 9-161

ÖZDOĞAN, YILMAZ, 1993. Seismic data processing *SEG* 6th edition, pp 445-462

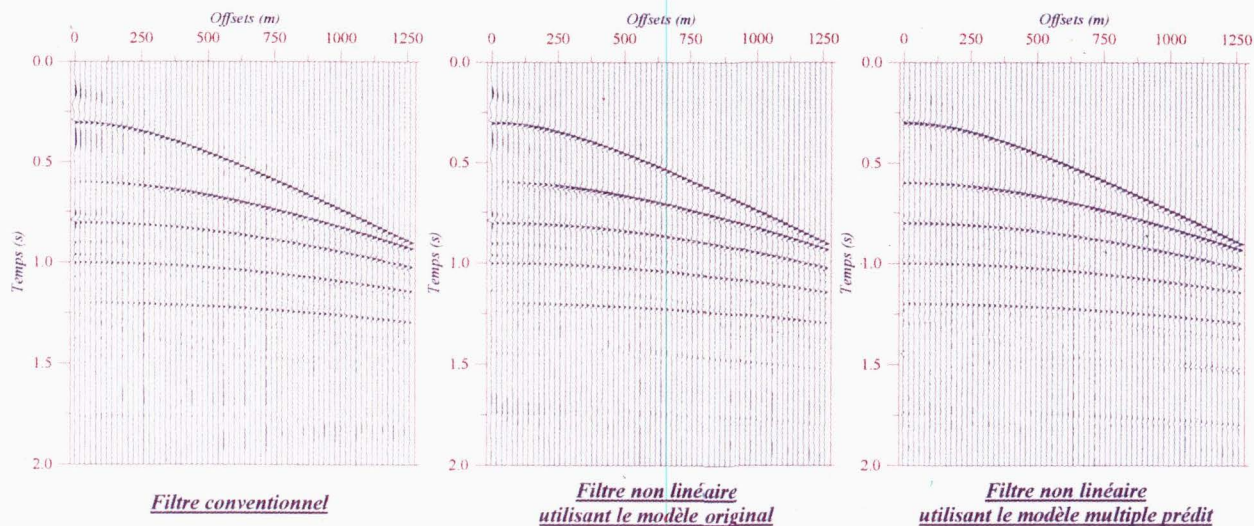
SHERIFF, R.E. ET GELDART, L.P., 1998. Traitement et prospection sismiques - tome 2 pp 367- 387

TANER, M.T, 1980. Long-period sea-floor multiples and their suppression. *Geophysical prospecting*, Vol 18 pp 30-48

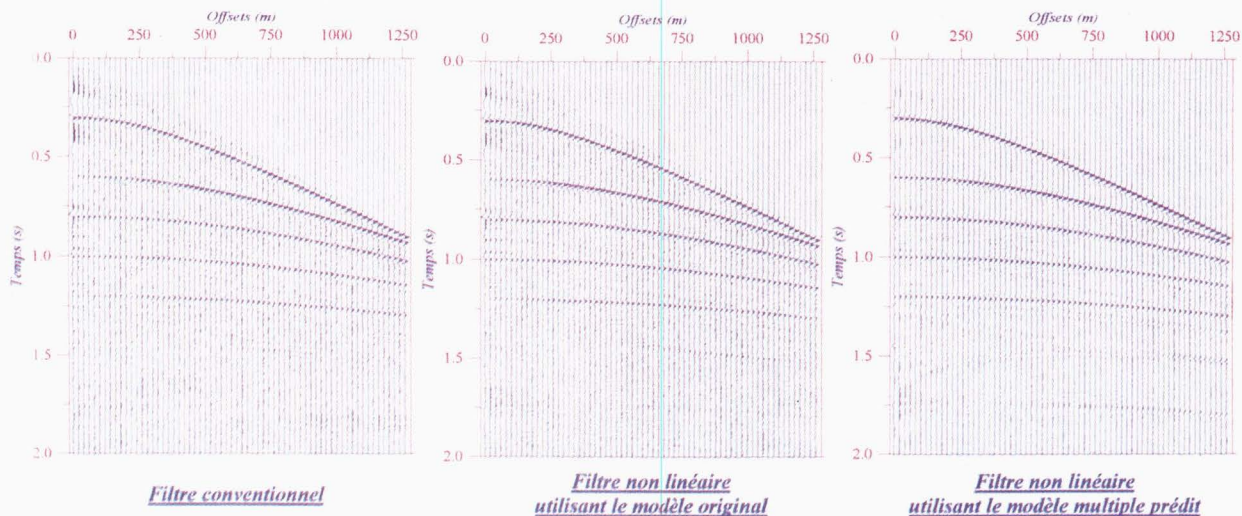
WENDELL, WIGGINS, 1999. Multiple attenuation by explicit wave extrapolation to an interpreted horizon. *The Leading EDGE (SEG)*, vol. 18, No 1 pp 40-44

Planche 1

Filtrage f-k (modèle à couches horizontales)

f-k filtering (horizontal layers model)**Planche 2**

Filtrage f-k (modèle à couches horizontales avec 20% de bruit)

f-k filtering (horizontal layers with 20 % of noise)

LE FILTRAGE NON-LINEAIRE DANS LA SÉPARATION DE SOURCE : APPLICATION À LA SUPPRESSION DES RÉFLEXIONS MULTIPLES DANS LE DOMAINE FRÉQUENCES-NOMBRE D'ONDES (f-k)

Planche 3

Filtrage f-k (modèle à couches pentées)

f-k filtering (dip layers model)

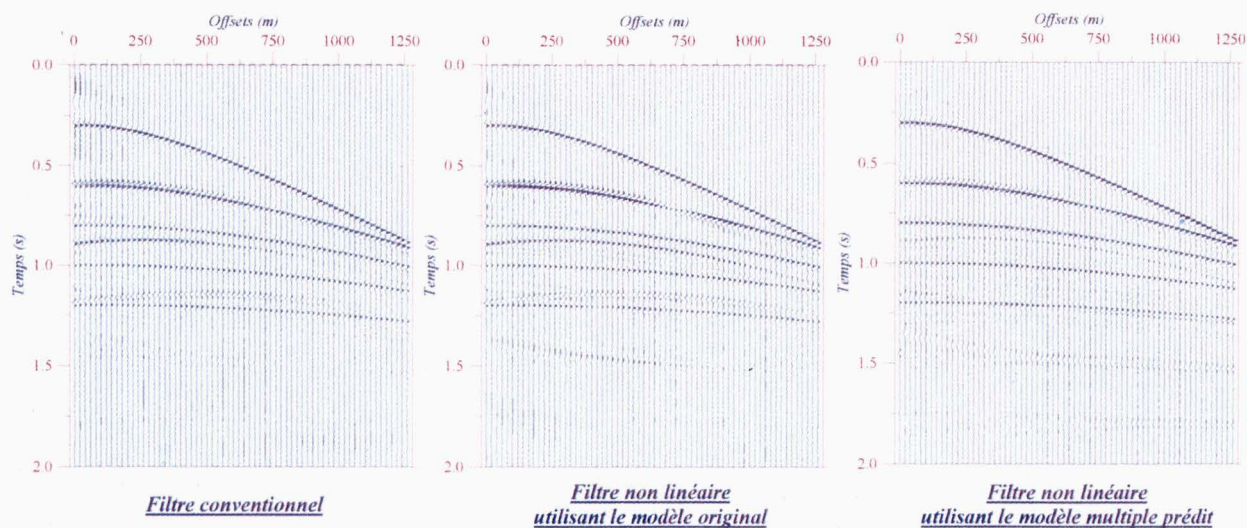


Planche 4

Filtrage f-k (modèle à couches inclinées avec 20% de bruit)

f-k filtering (dip layers model with 20% of noise)

