

#### 4. Traitement d'un enregistrement PSV

Le traitement a pour but l'extraction de l'information utile de l'enregistrement PSV, c.-à-d. l'onde réfléchi montante. Le traitement d'un PSV permet d'obtenir une trace somme sans multiple. Le traitement se compose de trois étapes : a) prétraitement, b) pointé des premières arrivées et c) séparation des champs d'ondes.

##### 6.1. Prétraitement

Lors de cette étape, les données brutes sont manipulées et filtrées afin de corriger les mauvais enregistrements, ou améliorer le rapport signal/bruits. Le prétraitement consiste à :

- démultiplexage des données
- Corrélation (source vibrosismique)
- Correction de l'effet de fluctuation de signature
- Elimination des enregistrements de mauvaise qualité
- Somme des enregistrements d'une même cote
- Correction de divergence sphérique
- Tri en composante (cas de trois composantes)

##### 6.2. Pointé des premières arrivées

Le trajet de l'onde directe est le plus courts, et c'est donc la première arrivée au géophone, d'où l'appellation "premières arrivées". Les premières arrivées sont pointées (Figure I-14) et les temps lus sont reportés en fonction de la profondeur dans un tableau. Reportés sur un système d'axes, le résultat est une courbe temps-profondeurs, utile pour le calcul des vitesses, la conversion temps-profondeur et la calibration du log sonique (Figure I-15).

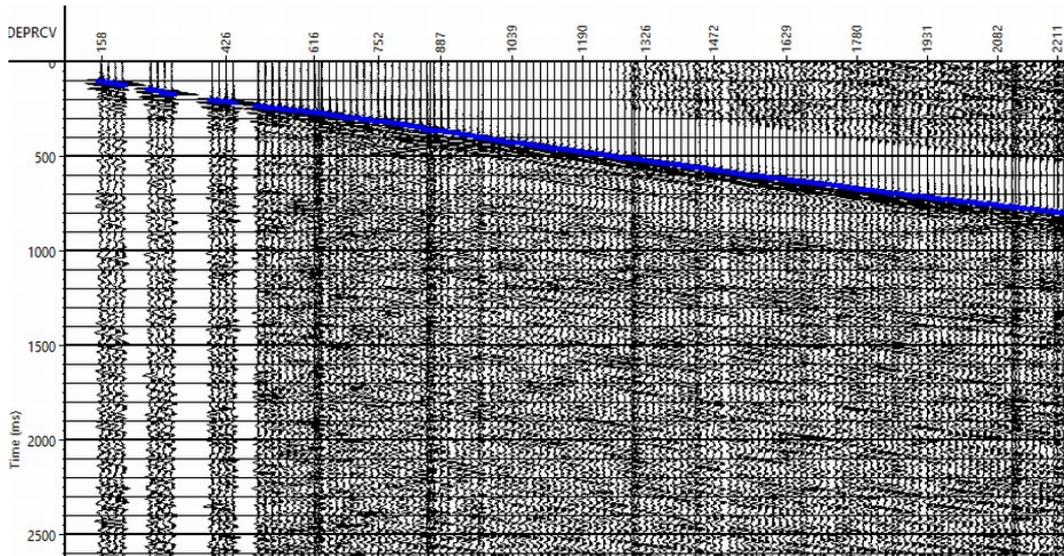


Figure I-14. Pointé des premières arrivées.

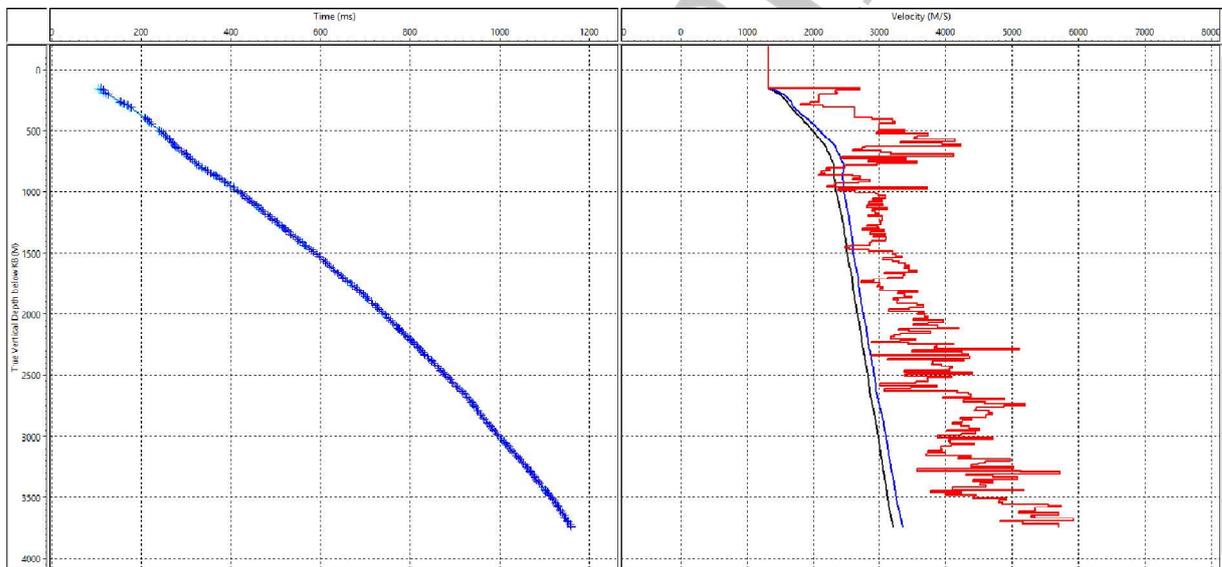


Figure I-15. Courbe temps-profondeur obtenue après le pointé des premières arrivées (à gauche de la figure) et les vitesses calculées (à droite de la figure).

### 6.3. Séparation des champs d'ondes

En plus de la courbe temps-profondeur, le PSV sert aussi à imager en 2D et 3D l'alentour du puits. Pour ce faire, il faudra transformer l'enregistrement PSV brut de sorte à ce que seul le champ d'ondes montant, qui comporte l'information utile, soit représenté. Comme nous l'avons évoqué précédemment, un enregistrement PSV brut est une superposition de plusieurs champs d'ondes : ondes montantes et descendantes P et S, multiples montants,

multiples descendants, ondes guidées. Avant toute utilisation du PSV (calage ou identification des multiples, par exemple), il est nécessaire de séparer tout ces événements.

Le principal critère utilisé pour la séparation des différents champs d'ondes est la **vitesse apparente**  $= \Delta z / \Delta t$ .

En se basant sur ce critère, il est facile de séparer les ondes montantes, qui ont des vitesses apparentes négatives, des ondes descendantes, qui ont des vitesses apparentes positives. Un simple changement de domaine est suffisant pour filtrer les événements indésirables.

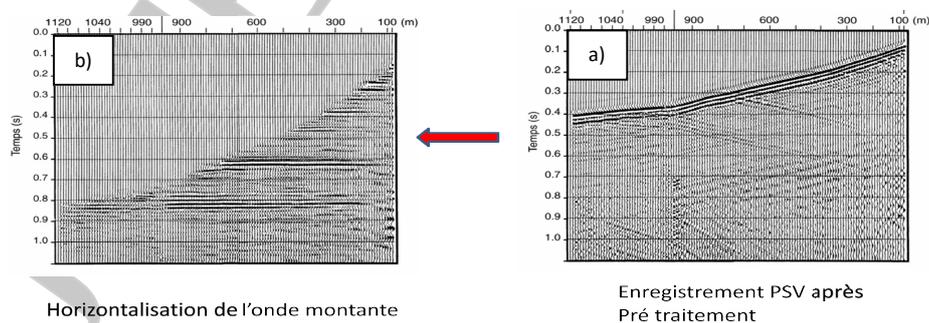
Les techniques de séparation des champs d'ondes peuvent être regroupées en deux catégories :

- Techniques nécessitant une horizontalisation
- Techniques ne nécessitant pas d'horizontalisation

### 6.3.1. Techniques nécessitant une horizontalisation

Dans cette catégorie, les temps de l'enregistrement PSV brut sont soustraits des temps des premières arrivées (onde directe) et ce avant l'application de l'algorithme de séparation.

La Figure I-16-a montre un enregistrement PSV avant horizontalisation, la soustraction des temps des premières arrivées de ceux de l'onde montante permet son horizontalisation comme indiqué par la Figure I-16-b.



**Figure I-16.** Horizontalisation de l'onde montante a) Enregistrement PSV après pré traitement, b) résultat de l'horizontalisation de l'onde montante.

Exemple de filtres de séparation nécessitant une horizontalisation:

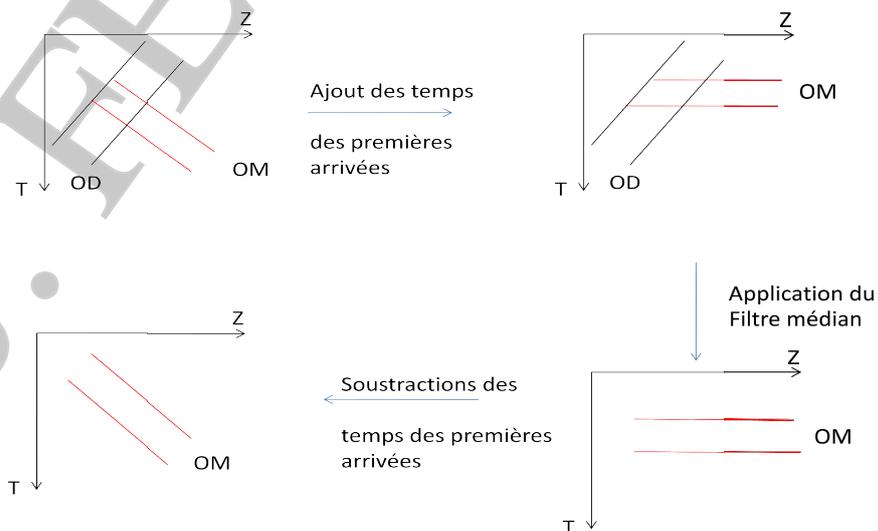
- ✓ Filtre par somme et différence
- ✓ Filtre médian
- ✓ Filtre de Wiener
- ✓ Filtre en vitesse apparente (lorsque la distance entre côtes n'est pas régulière)
- ✓ Filtre par décomposition en valeurs principales (SVD)

### 6.3.1.1. Filtre médian

Le filtre médian est un filtre numérique non linéaire très utilisé en traitement de l'image. Il a trouvé plusieurs applications en géophysique, et notamment en traitement des enregistrements PSV.

Le filtre médian agit en triant les données à l'intérieure d'une fenêtre glissante, puis en remplaçant l'échantillon central par la médiane de la série triée. La fenêtre est déplacée à la position suivante et l'opération est répétée jusqu'à la fin de la série de données.

Le principe du filtre médian lors de la séparation des champs d'ondes du PSV est illustré par la Figure I-17. La première étape consiste à horizontalisé le champ d'onde montant, ensuite l'application du filtre médian qui, lors de son passage, élimine le champ d'onde descendant, enfin l'ajout du temps des premières arrivées permet d'obtenir un enregistrement avec seulement les ondes montantes.



**Figure I-17.** Principe du filtre médian pour la séparation des champs d'onde d'un enregistrement PSV

### 6.3.1.2. Filtre $\tau$ - $p$

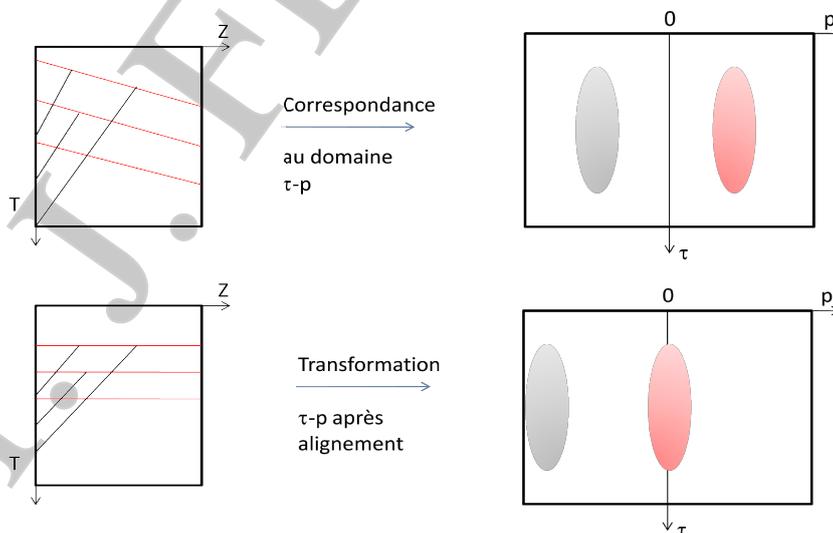
Le filtre  $\tau$ - $p$  est obtenu à l'aide de la transformation de radon:

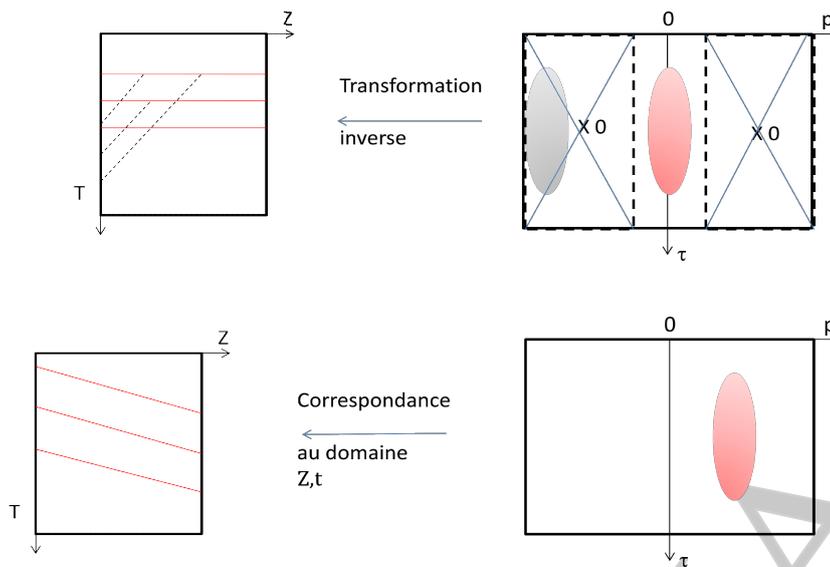
$$R(s(z,t)) = \iint_R s(z,t) \delta[t - (\tau + pz)] dt dz \quad (I-4)$$

avec  $\tau$  l'intercept et  $p$  la pente.

La transformation de Radon d'une droite est un point. Ainsi, un événement linéaire dans le domaine  $z$ - $t$  d'un enregistrement PSV sera transformé dans le domaine  $\tau$ - $p$  en un point. La transformation inverse donnera une droite.

La projection de la transformation de radon de tous les événements linéaires d'un PSV, c-à-d les ondes montantes et descendantes, dans le plan ( $\tau$ - $p$ ) est un nuage de points, dont une partie est situé dans le demi-plan des pentes positives, correspondant aux événements descendants, et l'autre partie est située dans le demi plan des pentes négatives qui correspond aux événements montants, donc pentes négatives (Figure I-18.). Ainsi, après horizontalisation et application de la transformation de radon sur les données du PSV, les événements sont séparés, selon leurs pentes, dans deux domaines distincts. Une simple mise à zéro des événements descendant permet de filtrer les données ne laissant que les ondes montantes. L'application de la transformation de radon inverse permet de revenir au domaine temporel.





**Figure I-18.** Principe du filtre  $\tau$ - $p$  pour la séparation des champs d'onde d'un enregistrement PSV.

### 6.3.2. Techniques ne nécessitant pas d'horizontalisation

#### 6.3.2.1. Filtre f-k

La méthode f-k utilise le critère des vitesses apparentes opposées des ondes montantes et descendantes pour procéder à la séparation. Cette méthode nécessite un pas d'échantillonnage régulier.

Pour un enregistrement PSV,  $s(z,t)$  fonction de la profondeur  $z$  et du temps  $t$ , la transformation de Fourier (TF),  $S(F,k)$  fonction de la fréquence  $F$  et du nombre d'onde  $k$ , est donnée par :

$$S(F,k) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} s(z,t) e^{-2\pi(Ft-kz)} dt dz \quad (\text{I-5})$$

Le principe de séparation des champs d'ondes est illustré par la Figure I-18 en appliquant la transformation TF2D sur les données d'un PSV bruts, les ondes montantes et descendantes sont séparées, grâce à leurs vitesses apparentes opposées, dans deux parties différentes du domaine F-K. Une simple mise à zéro du champ d'onde descendant suffit à isoler le champ d'onde montant. L'application de la TF2D inverse permet un retour dans le domaine z-t, où seules les ondes montantes sont conservées. Notons ici que nous n'avons pas besoin d'horizontalisation.

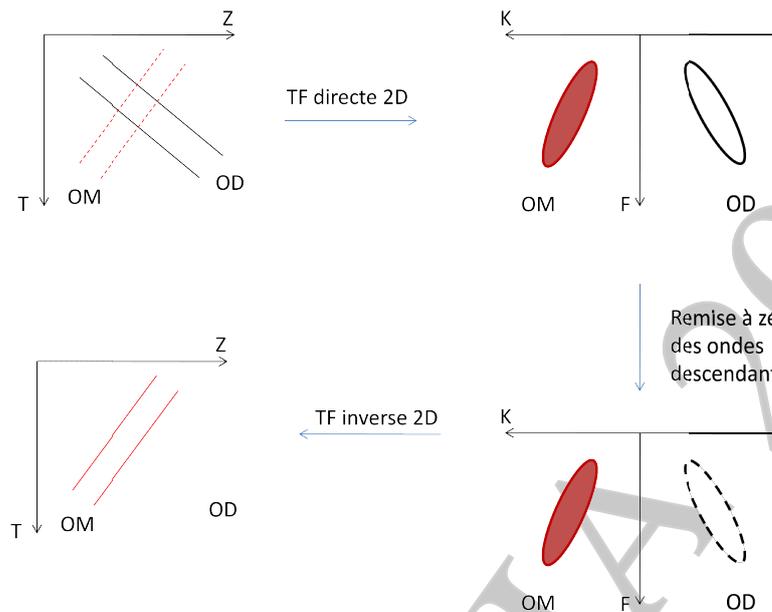


Figure I-19. Principe de séparation des champs d'ondes montant et descendant par la méthode  $f-k$ .

## 5. Séquence de traitement

La séquence de traitement standard d'un enregistrement PSV peut être résumée en :

1. Suppression du champ d'onde descendant de telle sorte que seules les réflexions primaires persistent (ondes montantes).
2. Horizontalization des réflexions (cette étape permet de rendre l'enregistrement PSV comparable à une section sismique).
3. Déconvolution pour la suppression des multiples et d'ondelette
4. Somme des sources redondantes

### 5.1. Le corridor stack

Le corridor stack est une trace sommée à l'intérieur d'un couloir de sommation autour des premières arrivées. Le résultat est une super trace qui est dupliquée pour donner le corridor stack (Figure I-20). La figure I-21 montre le couloir de sommation (en rouge) sur les réflexions horizontalisées et le corridor stack résultant (à droite de la figure). Il n'existe pas de formule pour le calcul du couloir, si ce n'est que sa largeur est de quelques millisecondes (30 millisecondes par exemple).

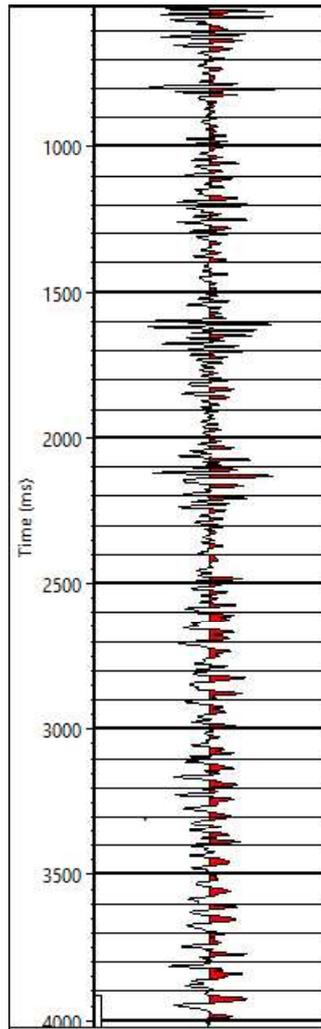
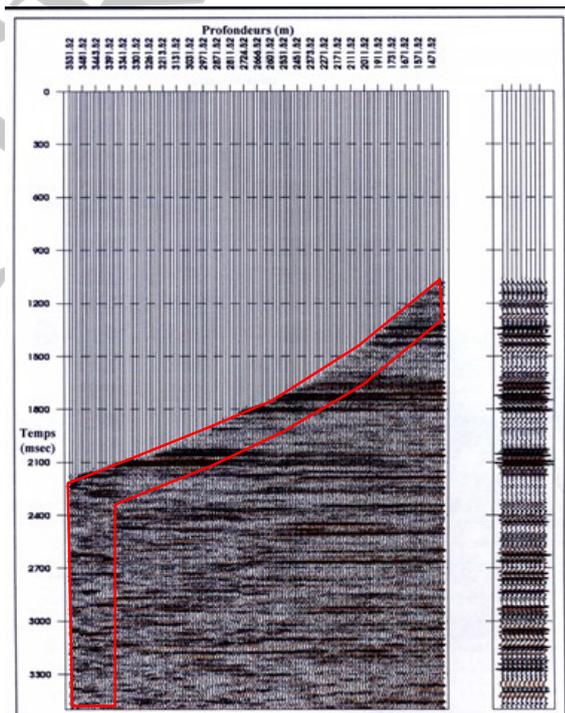
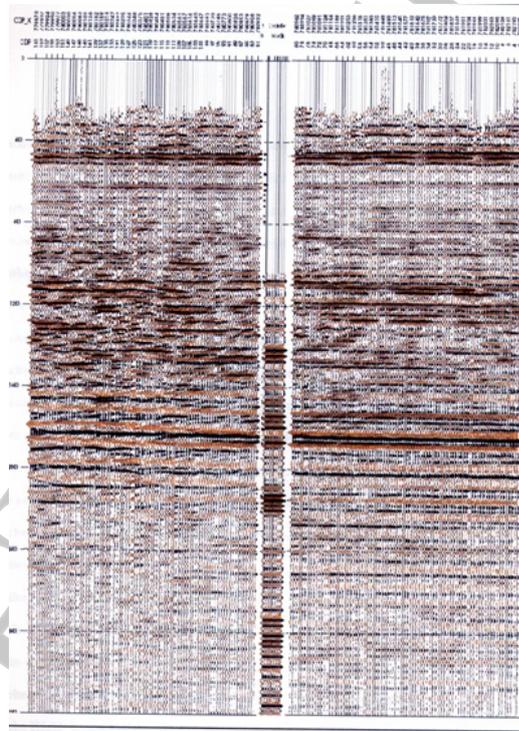


Figure I-20. Trace résultante de la sommation le long du couloir de sommation (corridor stack).



**Figure I-21.** Ondes montantes déconvoluées, horizontalisées + corridor stack. Le polygone rouge représente le couloir de sommation.

Le calage est une opération clé de l'interprétation sismique structurale qui consiste à relier la sismique de surface aux données de puits. Le corridor stack est le meilleur moyen de réaliser le calage. En plus de sa résolution, la trace sismique du corridor stack est très proche de la trace de la sismique de surface, car utilisant le même signal, ou ondelette. De plus, le corridor stack est libre des multiples, ce qui constitue un bon moyen de détecter les multiples sur la section sismique, et d'éviter ainsi de les interpréter, à tort, comme horizons d'intérêt. La Figure I-22 montre le calage en utilisant le corridor stack. Lors du calage, on cherche la meilleure correspondance entre les événements de la section sismique et le corridor stack.



**Figure I-22.** Calage de la sismique de surface par le corridor stack.

Dr. J. FERAHITA 2020