

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



FACULTE DES HYDROCARBURES ET DE LA CHIMIE
DEPARTEMENT GEOPHYSIQUE, GENIE PARASISMIQUE ET
PHENOMENES ALEATOIRES

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER EN
GEOPHYSIQUE PETROLIERE

FILIERE : Sciences de la Terre et de l'Univers
OPTION : Sismique, Sismologie et Methodes de potentiel

Thème :
Acquisition Et Traitement D'un Profil Sismique Vertical A Zéro Offset
Application Sur Des Données Réelles Bassin d'Illizi.

Réalisé par :

Beldjillali Walid

Boulenouar Youssouf

Suivis par :

Pr Djeddi.M.

Mme.Khiri.S.(Ingenieur en
Géophysique)

Boumerdes : 2014 /2015

Remerciements

- ✚ *En premier lieu, nous tenons à remercier notre DIEU "allah", notre créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.*
- ✚ *Après la clôture des travaux de cet humble mémoire, que nous réalisons l'ampleur des travaux, les contraintes, le temps, l'engagement, la disponibilité et la patience nécessaire à notre promoteur **PR M.Djeddi** pour coordonner et diriger les travaux. De ce fait, nous lui demandons d'agréer nos vifs remerciements, car la meilleure des satisfactions pour un Homme est de transmettre son savoir.*
- ✚ *Nous tenons aussi à remercier tous les enseignants du département Géophysique qui ont contribué à notre formation, ainsi que les membres du jury qui feront l'honneur d'évaluer ce modeste travail.*
- ✚ *Nos remerciements vont aussi à M^{me} **F.SAIDA** notre encadreur au niveau d'ENAGEO, ainsi que tous les membres de l'ENAGEO*
- ✚ *Nos derniers remerciements, vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.*

Merci a tous



DEDICACES

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail:

A ceux qui m'ont encouragé et soutenu moralement et matériellement pendant les moments plus difficiles durant ma vie.

*A mon très **cher père** et ma très **chère mère** qui m'ont donné la possibilité d'arriver là où je suis.*

*A mes très chers **frère** et **soeurs**.*

*A mon très cher binô me **Youecf**.*

*A tous mes amis surtout **Lyes, saddam, yusuf**.*

*A toute le groupe **MAGP11**.*

Et enfin a touts mes connaissances

Walid





DEDICACES

Je tiens à dédier ce modeste travail à tous ceux qui me sont chers :

✚ *A ma très chère mère et mon très cher père pour qui je n'oublierai jamais leur grande affection ; leur soutien et leurs encouragements tous au long de mes études.*

✚ *A mes très chers frères et sœurs.*

✚ *A mon très cher binôme walid.*

✚ *A tous les amis de l'INH et groupe MAGP10 ET MAGP11 Surtout **Saddam, Lyes.***

Et enfin à tous ceux qui m'ont aidé de prêt ou de loin.

youcef



Sommaire

Introduction Générale 1

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE PROFIL SISMIQUE VERTICAL :

I-1) Introduction..... 3
3

I-2) Les différentes techniques de sismique de puits 3
I-2-1) La sismique de puits à puits..... 3
I-2-2) Tirs en puits..... 3
I-2-3) Tir en surface..... 4

I-3) Définition et Principe d'un profil sismique vertical (PSV)..... 4
I-3-1) Principe d'un profil sismique vertical 4
5

I-4) Les différentes méthodes de PSV 5
I-4-1) Profil sismique à offset nul (PSV zéro offset)..... 5
I-4-2) Profil sismique d'incidence verticale(Walkabove)..... 5
I-4-3) Profil sismique oblique (PSO)..... 5
I-4-4) Profil sismique à offset variable (walkaway) 6

I-5) Mise en oeuvre et matériel d'acquisition 7
I-5-1) Le puits..... 8
I-5-2) La source sismique 8
I-5-3) La sonde signature..... 8
I-5-4) Le système de réception..... 8
I-5-5) La sonde signature..... 9
I-5-6) Le laboratoire d'enregistrement des données sismiques..... 9

I-6-) Choix des paramètres 10
I-6-1) choix du pas d'échantillonnage..... 10
I-6-1) Choix de l'offset..... 10

I-7) Déroulement d'une opération de PSV 11

I-8) Les différents types des ondes enregistrées..... 12
I-8-1) Les ondes de volume..... 12
I-8-2) Les différents bruits de la sismique de puits..... 16
I-8-2-1) Les ondes de câble..... 16

Sommaire

I-8-2-1) Les ondes de boue.....	16
	18
I-9) Réflexions multiples et leurs séparations.....	19
I-10) Les avantages d'un PSV.....	
I-11) Pouvoir de résolution.....	19
I-11-1) Résolution verticale.....	19
I-11-1) Résolution latérale.....	19

CHAPITRE II : TRAITEMENT DES DONNEES SISMIQUES A ZERO OFFSET

II-1) L'objectif d'un PSV zéro offset.....	21
II-2) Les différentes séquences de traitement du VSP zéro offset.....	21
II-2-1) Prétraitement.....	21
II-2-1-1) Préparation des données.....	21
II-2-1-2) L'édition.....	25
II-2-1-3) La sommation des traces enregistrées.....	25
II-2-1-4) Le pointé des temps des premières arrivées.....	25
II-2-2-3) La récupération des amplitudes réelles (TAR).....	27
II-2-3) Séparation d'ondes.....	29
II-2-3-1) Filtre médian.....	29
II-2-3-2) Filtre dans le domaine f-k.....	33
II-2-4) Traitement d'image.....	35
II-2-4-1) Horizontalisation des ondes montantes.....	35
II-2-4-2) la déconvolution.....	35
II-2-4-3) filtre passe bande.....	37
II-2-4-4) Le mute.....	37
II-2-4-5) Le couloir de sommation.....	37

CHAPITRE III : APPLICATION SUR LES DONNEES SISMIQUES REELLES

III. 1) Introduction.....	38
III. 2) Généralité sur logiciel VSProwess.....	38
III-3) Acquisitions des données sismiques.....	38
III-3-1) Réalisation des travaux.....	38
III-3-2) Les formations traversées.....	39
III-3-3) Les données de puits.....	40
III-4) Traitement du PSV zéro offset.....	43
III-4-3) Prétraitement.....	46

Sommaire

III-4-3-1) Corrélation.....	46
III-4-3-2) L'édition	47
III-4-3-3) La sommation	48
III-4-3-4) Le pointé des temps des premières arrivées.....	49
III-4-3-5) Récupération des amplitudes réelles	51
III-4-4) Séparation des champs d'ondes.....	54
III-4-4-1) Séparation par le filtre médian.....	54
III-4-4-2) Séparation par le filtre f-k	57
III-4-5) Déconvolution	63
III-4-6) Le mute	65
III-4-7) Couloir de sommation (corridor stack).....	66
Conclusion.....	71
Annexe.....	72

Bibliographie

Abréviations :

PSV : Profil sismique vertical.

PSO : Profil sismique oblique.

Onde P : Onde de compression.

Onde S : Onde de cisaillement.

S_H : Ondes de cisaillement polarisées horizontalement.

S_V : Ondes de cisaillement polarisées verticalement.

Walkaway: Ballade sismique.

V_i : Vitesse d'intervalle.

V_m : Vitesse moyenne.

V_p : Vitesse de l'onde P.

V_{rms} : Vitesse Quadratique moyenne.

V_s : Vitesse de l'onde S.

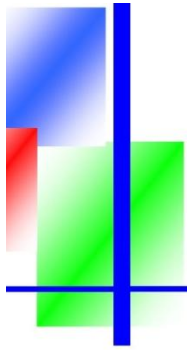
TAR : True amplitude recovery.

S/B : Signal sur bruit.

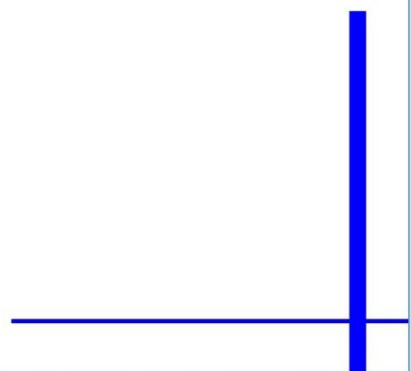
Secs : secondes.

M : mètres

Z : Composante verticale du géophone.



INTRODUCTION



INTRODUCTION :

Associée à la sismique de surface, la sismique de puits est un excellent outil dans l'exploration sismique. Elle consiste à engendrer un signal à partir d'une source sismique en surface, et à détecter les différentes arrivées sismiques par des géophones situés dans un puits, après leur propagation dans le sous-sol. La source peut être située à la surface du sol avec le récepteur dans le puits (cas d'un profil sismique vertical PSV), dans un puits avec le récepteur en surface (tir en puits), ou dans un puits avec le récepteur dans un autre puits adjacent (sismique de puits à puits). Ces techniques de mise en œuvre sont différentes de celles de la sismique de surface où le récepteur et la source sont tous localisés à la surface du sol.

La sismique de puits est le moyen de calage des enregistrements de la sismique de surface au niveau du puits, ce qui permet l'identification en profondeur des marqueurs sismiques. Elle est utilisée pour une meilleure connaissance du gisement en phase d'exploitation, mais peut être également utilisée en phase d'exploitation en sismique répétitive pour l'étude de gisement au cours du temps (monitoring).

Dans les techniques de la sismique du puits, les trajets des ondes sismique sont réduits; par conséquent, les données PSV ont généralement de meilleurs rapports signal sur bruit pour les hautes fréquences par rapport aux données de la sismique de surface. L'objectif principal du VSP est la détermination des vitesses d'intervalle, l'identification et la corrélation des réflecteurs majeurs avec les logs des diagraphies et les sections sismiques de surface.

Un enregistrement PSV comprend les évènements descendants et les évènements montants. La séparation des champs d'ondes descendants et montants est une étape particulière propre au traitement des enregistrements de PSV. Cette séparation peut être réalisée par différentes méthodes à savoir :

- Le filtrage dans le domaine F-K (fréquence, nombre d'onde).
- Le filtrage médian.
- La décomposition en valeurs singulières.
- La transformation de Karhunen-Loève.
- La transformation de Radon (τ, p),...etc.

L'exploitation des résultats d'un traitement PSV zéro offset nous permet d'obtenir certains paramètres ou caractéristiques du sou sol liés généralement à la lithologie. Parmi ces paramètres on note, le facteur de qualité Q, le coefficient d'absorption, le rapport V_p / V_s , coefficient de Poisson σ .

Introduction générale

Dans ce mémoire, le but de notre travail est la réalisation d'une séquence de traitement complète d'un PSV zéro offset par logiciel « VSProwess » au niveau de l'ENAGEO Sud.

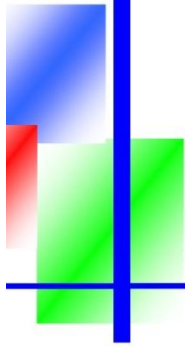
Cette étude s'articule autour des chapitres suivants :

- Le premier chapitre est une généralité sur le profil sismique vertical (acquisition + mise en œuvre).

- Le deuxième chapitre est une représentation de différentes séquences de traitement de PSV zéro offset.

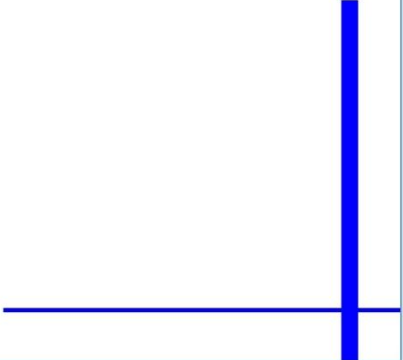
- Le troisième chapitre est consacré à la partie pratique et l'application sur des données réelles d'un PSV zéro offset.

- En fin on termine avec une conclusion générale.



CHAPITRE 1

Généralité sur la sismique de puits



I.1) Introduction :

La prospection pétrolière reste de loin, le domaine d'intérêt des techniques géophysiques, parmi ces techniques la plus convoitée pour déterminer les structures du sous-sol est la méthode sismique.

La méthode sismique fournit une échographie du sous-sol en 2D ou en 3D et donne une idée sur les structures du sous-sol. Néanmoins ces images du sous-sol nécessitent une calibration. Cette calibration (ou calage) est réalisée au niveau d'un puits par la sismique du puits car celle-ci permet de mieux comprendre les événements présents sur les coupes (profils) de la sismique de surface.

La sismique de puits est un enregistrement sismique effectué dans un puits, quelle que soit la mise en œuvre du dispositif d'émission ou de celui de réception. On peut distinguer trois types de sismique de puits : tirs en surface avec récepteurs dans le puits (Profil Sismique Vertical), tirs en puits avec récepteur en surface, et tir dans un puits avec récepteur dans un autre puits.

I-2) Les différentes techniques de sismique de puits :

On distingue trois types de sismique de puits:

- Tir dans le puits avec récepteurs dans un autre puits (tomographie).
- Tir dans le puits avec récepteurs en surface.
- Tir en surface avec récepteurs dans le puits (PSV).

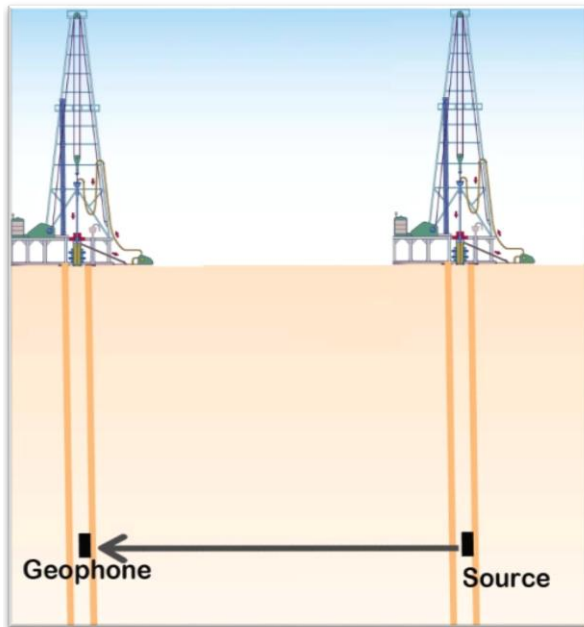
I-2-1) La sismique de puits à puits (cross well seismic) :

La sismique de puits à puits est mise en œuvre avec une source dans un puits et un géophone dans un autre puits (figure I-1). Elle peut fournir des images des formations entre les puits sous forme de sections sismique réflexion donnant les contrastes d'impédance acoustique ou de modèles de vitesses obtenus par inversion des temps des premières arrivées. L'ensemble des différentes mises en œuvre de la sismique de puits peut être regroupé sous le terme général de profil sismique vertical.

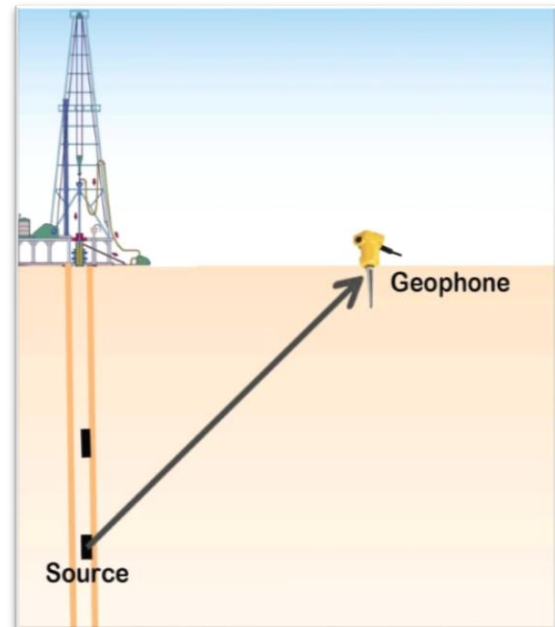
I -2-2) Les tirs en puits (reverse VSP) :

Un PSV classique est généralement mis en œuvre avec une source en surface et un géophone dans le puits. Il peut être enregistré en utilisant une source dans le puits et un géophone en surface. On parle alors de PSV transposé ou bien sismique de puits transposée (figure I-2).

Les PSV ou PSO (Profil sismique oblique) permettent d'obtenir une image du réservoir en dessous du puits. En cours de forage, on peut utiliser comme source de puits l'outil de forage lui-même, ce qui permet d'obtenir au fur et à mesure de l'avancement d'une image des formations non encore forées (prédiction sous le puits).



La figure I-1 : La sismique de puits à puits



La figure I-2 : tirs en puits

I-2-3) Les tirs en surface (VSP) :

Le profil sismique vertical (PSV) est le plus utilisé couramment. Cette mise en œuvre nécessite une source sismique située en surface, un géophone de puits est mis successivement à différentes profondeurs. On distingue cinq principales méthodes d'enregistrement PSV:

- Le PSV à offset nul ou PSV classique.
- Le PSV avec offset ou PSO (profil sismique oblique).
- Le PSV walkaway (ballade sismique ou ensemble de PSO)
- La ballade sismique azimutale
- Le PSV walkaround.

I-3) Définition et Principe d'un profil sismique vertical (PSV) :

I-3-1) Principe d'un profil sismique vertical :

Le **profil sismique vertical** (PSV) est une technique importante dans l'exploration géophysique, qui consiste à mesurer les champs d'ondes sismiques descendantes et montantes à travers une séquence stratigraphique.

Cette méthode implique l'émission un signal sismique à la surface du sol et l'enregistrement des arrivées sismiques par les géophones placés à l'intérieur de puits. Opérationnellement, les géophones sont contenus dans une sonde qui est abaissée au fond du puits. Comme l'outil est abaissé, des enregistrements sont effectués à des intervalles de profondeur de 500 m ou plus.

I-4) Les différentes méthodes de PSV :

Les méthodes de profil sismique vertical sont généralement classées par la géométrie d'acquisition, qui est déterminé par l'offset de la source, la trajectoire du forage et de la profondeur de réseau de récepteurs. La géométrie de la technique détermine le domaine de pendage des interfaces et le volume du sous-sol qui peut être imagé.

I-4-1) Profil sismique vertical à zéro offset:

Cette technique est caractérisée par une faible offset ou la source est proche de la tête de puits donc l'offset est négligeable par rapport à la profondeur de mesure, avec un trajet de l'onde plus ou moins vertical (faible angle d'incidence).

Des suppositions sont assumées dans ce type de dispositif :

- Le milieu est homogène et isotrope.
- Les réflecteurs sont plans et horizontaux.
- Les trajets sont verticaux (l'offset est faible).
- Les réflecteurs sont plans et horizontaux.
- On assume que le puits est vertical.
- On prend en considération seulement les ondes de compression P
- L'onde arrive aux réflecteurs sous une incidence normale.

I-4-2) PSV walkabove :

Un autre type de PSV à zéro offset est connu comme « le puits dévié », walkabove ou PSV d'incidence vertical. Il est désigné de sorte que la source est toujours directement au-dessus des récepteurs déployés dans un puits dévié ou horizontal.

Cette méthode donne une image 2D de la région au-dessous du puits. En plus des vitesses de formation et une image utilisée pour la corrélation avec les données de sismique de surface.

Les avantages d'un **walkabove** sont une bonne couverture latérale et l'identification des failles sous le puits.

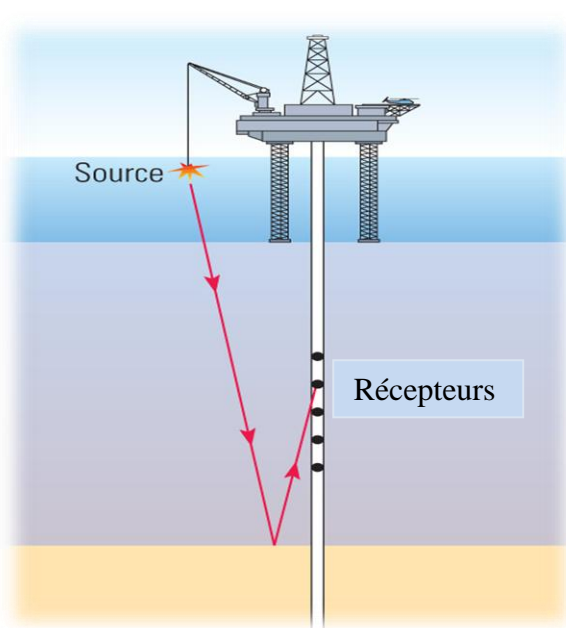
I-4-3 Profil sismique vertical à offset (offset VSP) :

Le PSV à offset utilise une source placée à une distance horizontale, ou a offset, du puits de forage, pour crée de nouveau une image 2D.

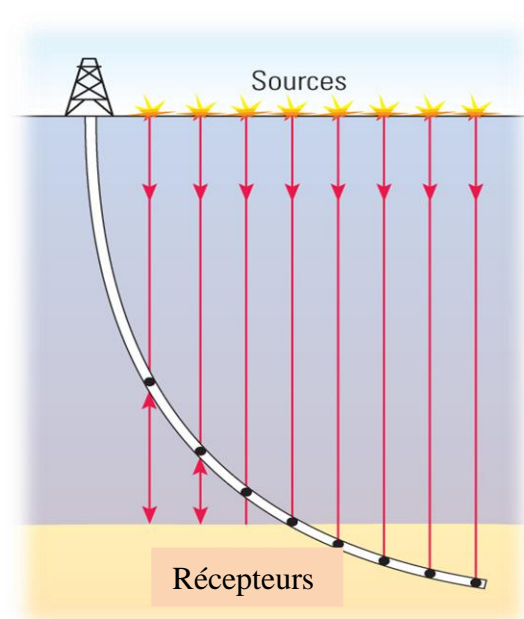
L'ensemble de récepteur sont déployés dans une large gamme de profondeurs dans un puits. PSO est utile pour :

- L'augmentation de volume du sous-sol imagé.
- L'identification des réflecteurs à une distance du puits.
- Pouvoir de résolution latérale: les points miroirs couvrent une zone d'extension latérale égale à la demi-distance au maximum, puits-émetteur.
- Permet un enregistrement d'onde P et S.
- L'étude d'anisotropie de vitesse à l'aide de la composante horizontale détectée.

Le volume supplémentaire d'illumination améliore l'utilité de l'image pour la corrélation avec la sismique surface, et pour l'identification des failles et l'investigation latérale loin de puits.



La figure I-3: PSV zéro offset (borehole seismic surveys schlumberger, 2007).

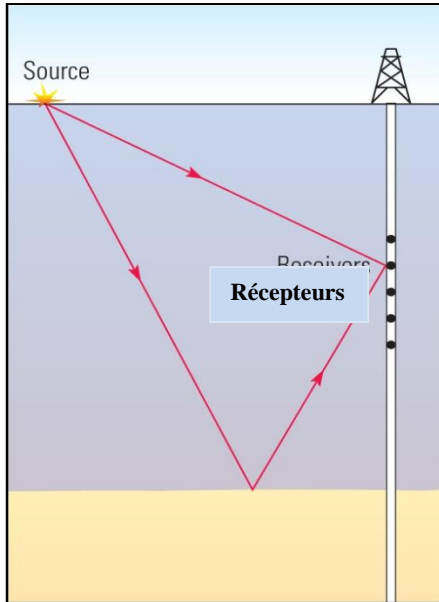


La figure I-4: PSV walkabove (borehole seismic surveys schlumberger, 2007).

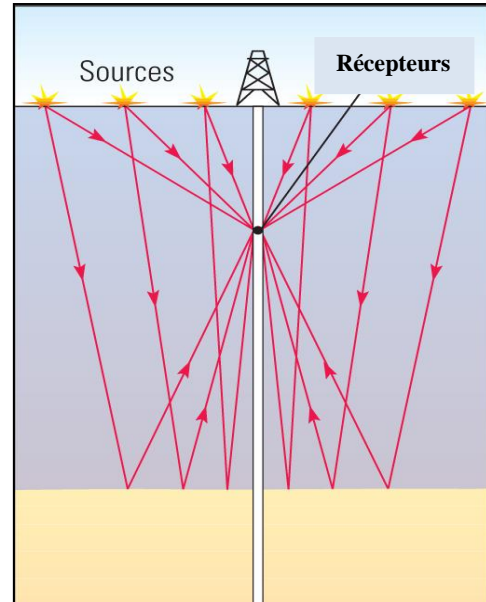
I-4-4 PSV walkaway (ballade sismique):

PSV Walkaway est similaire au PSV à offset où la source est éloignée par rapport à l'incidence verticale, mais la géométrie d'acquisition est un peu inversée.

Le réseau de récepteurs reste stationnaire tandis que la source se déplace loin de la tête de puits, ou éloignée à une chaîne d'offset. Cette gamme d'offset acquise dans un PSV walkaway est particulièrement utile pour l'étude des ondes de cisaillement, AVO et les effets d'anisotropie.



a figure I-4 : PSV à offset (borehole seismic surveys schlumberger, 2007).



La figure I-5: PSV walkaway (borehole seismic surveys schlumberger, 2007).

I-5) Mise en œuvre et matériel d'acquisition:

La réalisation d'une acquisition PSV à zéro offset nécessite un puits, une source sismique (vibrateur), une sonde signature, un câble et un treuil, un système de réception composé d'un de plusieurs capteurs, un laboratoire d'enregistrement (**figure I-6**):

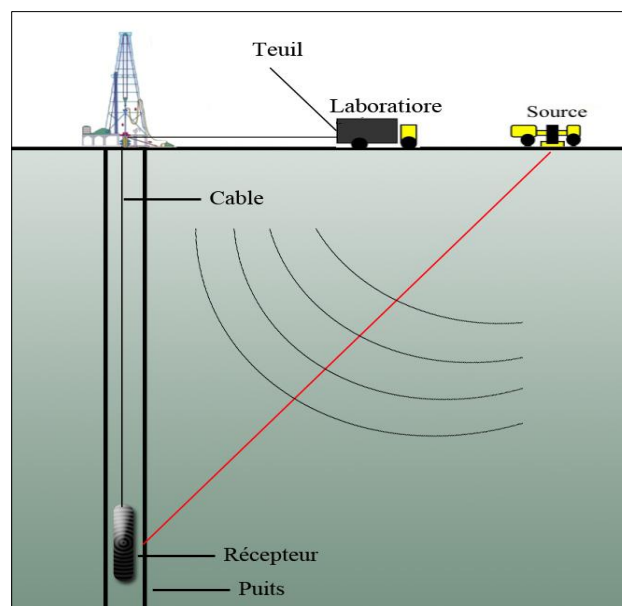


Figure I-6: Mise en œuvre d'un PSV

I-5-1) Le puits:

Un puits est indispensable pour la réalisation d'un PSV, il peut avoir jusqu'à milliers de mètres de profondeur, il est préférable d'utiliser un puits cimenté et tubé avec un tubage unique sur toute la longueur du puits à cause des considérations faites sur les ondes de tube, ou un puits non tubé, pour assurer le meilleur couplage de géophone avec la formation.

I-5-2) Le câble :

Le câble utilisé généralement est le câble classique à sept conducteurs utilisé par les diagraphistes. Son rôle consiste à assurer la descente et la remontée de la sonde dans le puits et à garantir la liaison électrique entre le système de réception et le laboratoire d'enregistrement. Il permet aussi de mesurer la profondeur de la sonde dans le puits.

I-5-3) Le système d'émission :

Dans le but d'avoir la même signature de la source pour tous les tirs ainsi qu'une bonne résolution, il est préférable d'utiliser une source ponctuelle de faible énergie. Il caractérise par :

- Une source répétitive, ponctuelle et à faible énergie.
- Un spectre large et plat pour obtenir une bonne résolution verticale.
- maniabilité.
- cadence de tir rapide, pour pouvoir sommer plusieurs tirs, en minimisant le temps d'immobilisation de la sonde.
- Coût réduit

La signature de la sonde enregistrée par un géophone ou un hydrophone de référence servira à vérifier la répétitivité de la source d'un tir à l'autre. Le principe de cette méthode est basé sur l'émission d'un train d'onde sinusoïdale appelé sweep à l'aide d'un camion vibreur. Ce sweep est caractérisé par une amplitude constante, une bande fréquentielle limitée et contrôlée et une durée d'émission appelée longueur du sweep.

I-5-4) Le système de réception :

Classiquement, un profil sismique vertical s'exécute au moyen d'émissions sismiques en surface et d'une phase écoute faite dans le puits. Cette dernière est effectuée grâce à un système de réception que l'on fait positionner successivement à différentes profondeurs. Ce système comprend un capteur, généralement à trois composantes, un système d'ancrage, et une unité de numérisation.

Le système de réception peut être un capteur unique ou bien une antenne de capteurs composée d'un outil maître et d'un ensemble de satellites. Il doit être conçu pour minimiser les effets des ondes de tube et assurer le meilleur couplage avec la formation. Les caractéristiques indispensables du système de réception sont :

- Deux extrémités pointues.
- Un petit diamètre.
- Des bras d'ancrage rétractables de façon à assurer le meilleur couplage.
- Une petite taille et une masse légère.
- Trois géophones disposés suivant une géométrie trirectangulaire.
- Un système d'orientation.
- Un système de mesure du couplage des géophones à la formation.
- Un système de contrôle de profondeur.
- Un système de numérisation des données.
- Module de connexion avec une ou plusieurs sondes.

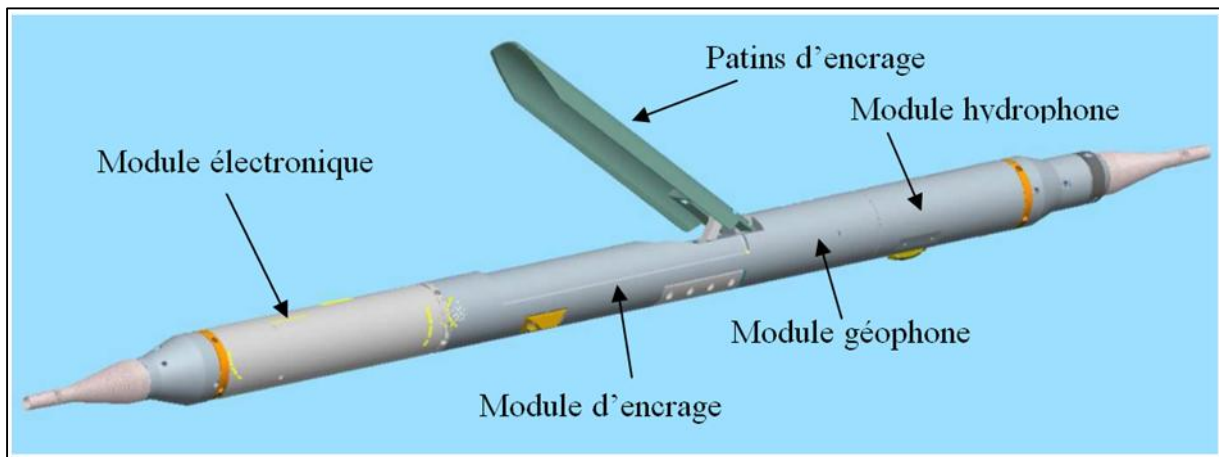


Figure I.7 : système de réception (Sersel, Geowave acquisition unit service manual, 2009).

I-5-5) La sonde signature :

Une sonde signature est ancrée à un côté fixe dans un puits peu profond foré à proximité du puits où se fait l'enregistrement.

Cette sonde sert à enregistrer la signature de la source à chaque tir de façon à évaluer la répétitivité de la source, à compenser les dispersions de (**Time Break**) et caler les amplitudes. La sonde peut être remplacée par trois géophones mono-composantes, un vertical et deux autres horizontaux maintenus sous forme trirectangulaire au voisinage de l'émission.

I-5-6) Laboratoire d'enregistrement des données du PSV :

Le laboratoire d'enregistrement doit avoir des performances comparables à celles du laboratoire utilisé en sismique de surface. Il doit avoir une grande dynamique d'enregistrement et permettre des pas d'échantillonnage en temps fins (inférieur à 1ms), tout en évitant le phénomène d'aliasing.

Son rôle consiste en plus à :

- Positionner la sonde dans le puits.
- Actionner et contrôler l'ancrage de la sonde.
- Visualiser en temps réels les enregistrements après chaque tir afin de permettre un contrôle de qualité.

I-6-) Choix des paramètres :

I-6-1) choix du pas d'échantillonnage :

Le pas d'échantillonnage que ce soit en temps ou en profondeur doit être choisi de manière à éviter le phénomène d'aliasing, afin de respecter le théorème d'échantillonnage.

I-6-1-1) Echantillonnage temporel :

Pour un bon choix du pas d'échantillonnage en temps. La relation suivante doit être vérifiée :

$$\Delta t \leq \frac{1}{2F_{\max}} \quad (2 \text{ échantillons/période})$$

Pour éviter le phénomène d'aliasing On diminue le pas d'échantillonnage :

$$\Delta t \leq \frac{1}{4F_{\max}} \quad (4 \text{ échantillons/période})$$

Avec : Δt : pas d'échantillonnage temporel, F_{\max} : Fréquence maximale du signal.

I-6-1-2) Echantillonnage spatial :

Pour le pas d'échantillonnage spatial, la distance minimale ΔZ entre deux niveaux d'enregistrement consécutifs doit être choisie comme suit :

$$\Delta Z \leq \frac{V_{\min}}{2F_{\max}}$$

ΔZ : Pas d'échantillonnage spatial.

V_{\min} : La vitesse minimale entre deux niveaux d'enregistrement consécutifs.

F_{\max} : La fréquence maximale du signal sur l'enregistrement PSV.

I-6-2) Choix de l'offset :

I-6-2-1) PSV à zéro offset :

L'offset est choisi de telle sorte que le couple émetteur-récepteur soit sur la même verticale, c'est à dire l'émetteur placé le plus proche possible de la gueule de puits. Et dans le cas d'un

puits dévié, l'offset est choisi variable de façon à préserver le couple émetteur-récepteur sur la même verticale.

I-6-2-2 Profil Sismique Oblique (PSO):

En théorie, il n'y a aucune limitation du choix de départ de la source, mais en pratique le choix de l'offset est fonction de la profondeur de l'objectif géologique.

En général, on prend
$$D \leq \frac{3H}{4}$$

Avec ; H est la profondeur de l'objectif.

Si on a plusieurs objectifs à différentes profondeurs on peut réaliser un PSV déporté pour chaque objectif. L'offset est aussi conditionné par l'apparition des ondes réfractées qui masquent les réflexions primaires donc on doit faire en sorte de les éviter.

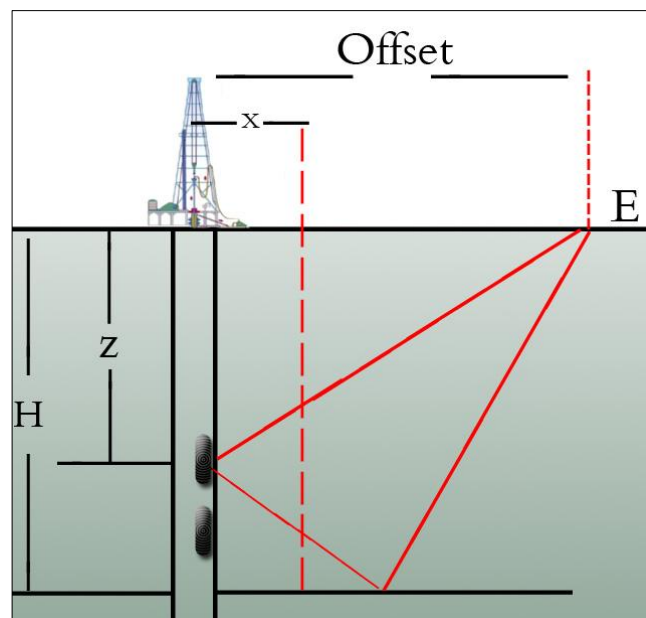


Figure I-8 : choix de l'offset.

I-7) Déroulement d'une opération de PSV:

L'acquisition d'une campagne de PSV consiste à :

- contrôler la profondeur à laquelle se trouve la sonde.
- ancrer la sonde.
- faire les mesures sismiques et les contrôler sur l'écran d'un ordinateur incorporé au laboratoire d'enregistrement.
- tendre le câble.
- désancrer la sonde.
- positionner la sonde à la profondeur suivante.

Cette opération doit être faite à quelques côtes à la descente de l'outil et en fond de puits pour évaluer le rapport signal sur bruit en fonction de la profondeur, et régler ainsi les paramètres d'acquisition.

I-8) Les différents types d'ondes enregistrées :

Les principaux types d'ondes générées et enregistrées lors d'un PSV sont les ondes de volume, au cours d'un enregistrement PSV L'onde émise par la source est la même que celle de la sismique de surface, Sur un enregistrement PSV on peut noter la présence de deux types d'onde :

- Les ondes de volume.
- Les bruits (les ondes de câble et les ondes de tube).

Donc L'enregistrement PSV diffère de la sismique de surface dans les types de bruits et l'absence des ondes de surface.

I-8-1) Les ondes de volume :

Ces ondes se propagent à travers le sous-sol, l'étude des ondes de volume peut être faite en utilisant les temps de parcours d'une onde émise à la surface du sol, et captée par un géophone à de différentes profondeurs dans le puits.

Les évènements met en évidence par cette étude seront enregistrés en ondes de compression P et en ondes de cisaillement S. à part l'onde directe qui est en onde P seulement.

I-8-1-1) Onde de compression (primaire) P :

Ou ondes primaires appelées aussi ondes longitudinales. Ce sont les plus rapides, et sont enregistrées en premiers sur le récepteur, Elles se déplacent dans tous les milieux (solides, liquides, gaz), Le déplacement du sol qui accompagne leur passage se fait par dilatations et compressions successives, parallèlement à la direction de propagation de l'onde. Leur vitesses est égale à :

$$v_p = \sqrt{\frac{2\lambda + \mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{4 + 3/4\mu}{\rho}}$$

K : est le module d'incompressibilité: Plus il est élevé, plus il est difficile de diminuer le volume du matériau sous l'effet de la pression. Il s'exprime en Pa mais il est de l'ordre du **GPa**

μ : est le module de cisaillement qui rend compte de la résistance du matériau à changer de forme. Il se mesure en Pascal mais il est de l'ordre du **GPa**.

ρ : est la masse volumique exprimée en Kg. m^{-3} , **Pa** : pascal.

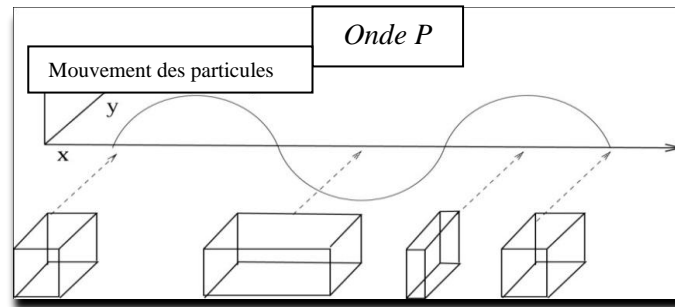


Figure I-9 – chemin de propagation des ondes P (Basics of Seismic Wave Theory 2007)

I-8-1-2) Onde de cisaillement (secondaire) S : Les ondes S ou les ondes secondaires, sont les ondes suivant directement les ondes P. Les ondes S se déplacent dans la même direction, mais au lieu d'être une onde de compression, elles oscillent avec un comportement de cisaillement perpendiculaire à la direction du mouvement. Leur vitesse est égale à :

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Elles propagent environ **1,7** fois plus lente que les ondes P. étant donné que les liquides ne peuvent pas supporter les contraintes de cisaillement, les ondes secondaires ne seront pas propager à travers des liquides tels que l'eau, la roche en fusion, où le noyau externe de la Terre. Ces ondes ont une plus grande amplitude que les ondes P et produisent un mouvement vertical et horizontal de la surface du sol et se décomposent en deux types :

- **Les ondes S verticales (S_v) :**

Le mouvement des particules pour les ondes (S_v) est perpendiculaire au plan vertical dans le sens de propagation.

- **Les ondes S horizontales (S_H):**

Pour lesquelles le mouvement des particules est perpendiculaire au plan horizontal de sens de propagation. Ils n'existent pas d'onde (S_H) convertie.

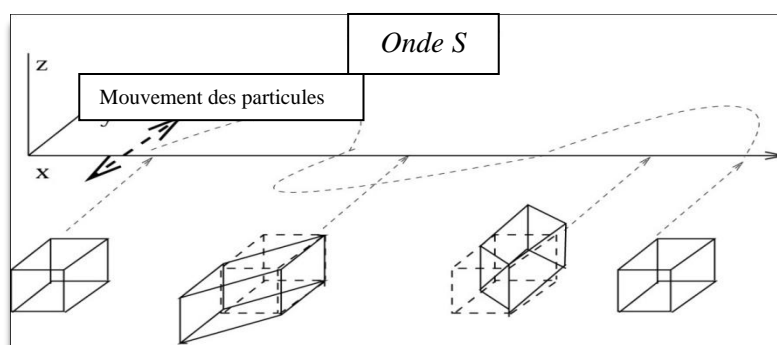


Figure I-10 – chemin de propagation des ondes S. (Basics of Seismic Wave Theory 2007)

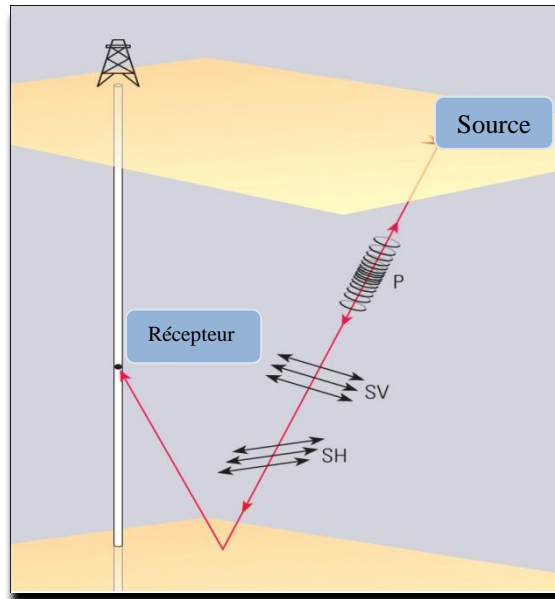


Figure I-11: Mode de propagation des ondes au cours d'un PSV. (Borehole Seismic Surveys, schlumberger, 2007).

Phénomène de conversion :

L'arrivée du front d'onde à l'interface qui sépare deux milieux élastiques, caractérisés par des impédances acoustiques différentes, fait que son énergie se divise en une partie qui se réfléchit et une autre qui se transmet dans le deuxième milieu.

Dans le cas d'un angle d'incidence important (supérieur à 30°), en plus des réflexions et des transmissions du signal sismique s'ajoutent.

Ce phénomène est appelé la conversion des ondes sismiques qui effectuée de la manière suivante :

- Une onde P donne naissance à une onde P et une onde S_V .
- Une onde S_V donne naissance à une onde S_V et une onde P.
- Une onde S_H donne naissance à une onde S_H .

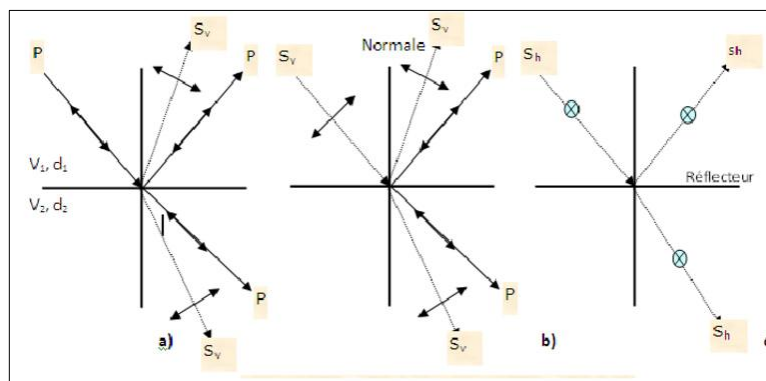


Figure I-12 : mode de conversion d'onde (sismique de puits, Pr Djeddi M, 2013).

Dans notre cas (PSV zéro offset), l'onde émise en surface atteint les réflecteurs sous une incidence normale. On n'observe pas des phénomènes de conversions aux réflecteurs.

I-7-1-2) Les événements enregistrés dans un PSV :

Les principaux types d'ondes rencontrées lors de l'acquisition d'un profil sismique vertical peuvent être classés en deux catégories : les ondes descendantes et les ondes montantes.

A- Les ondes descendantes :

- **L'onde directe:** Ces ondes atteignent directement la sonde sans subir de réflexion.
- **Les multiples descendants :** Ce sont des ondes qui ont subi plus d'une réflexion. Ils atteignent la sonde par le haut.

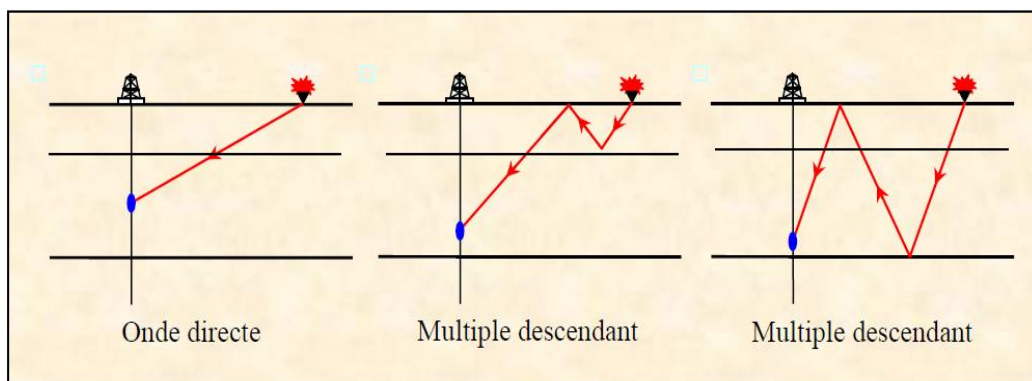


Figure I-13: Evénements descendants (MARI, COPPENS, well seismic survey 1989).

B- Les ondes montantes :

- **Les réflexions primaires :** Elles atteignent la position du géophone après avoir été réfléchies sur les différents horizons du sous-sol. Ces ondes atteignent le géophone par le bas.
- **Les multiples montants :** Ce sont des ondes qui ont subi plus d'une réflexion. Ils sont créés par des marqueurs sismiques situés au-dessous du géophone de puits. Ils atteignent la sonde par le bas.

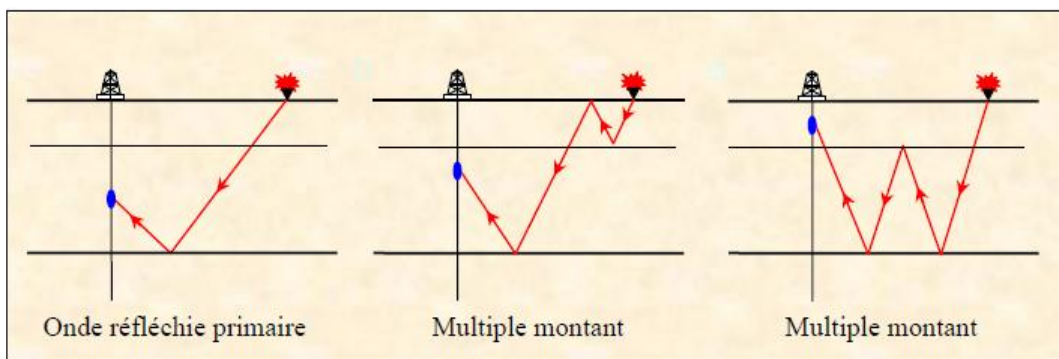


Figure I-14: Evénements montants (MARI, COPPENS, well seismic survey 1989).

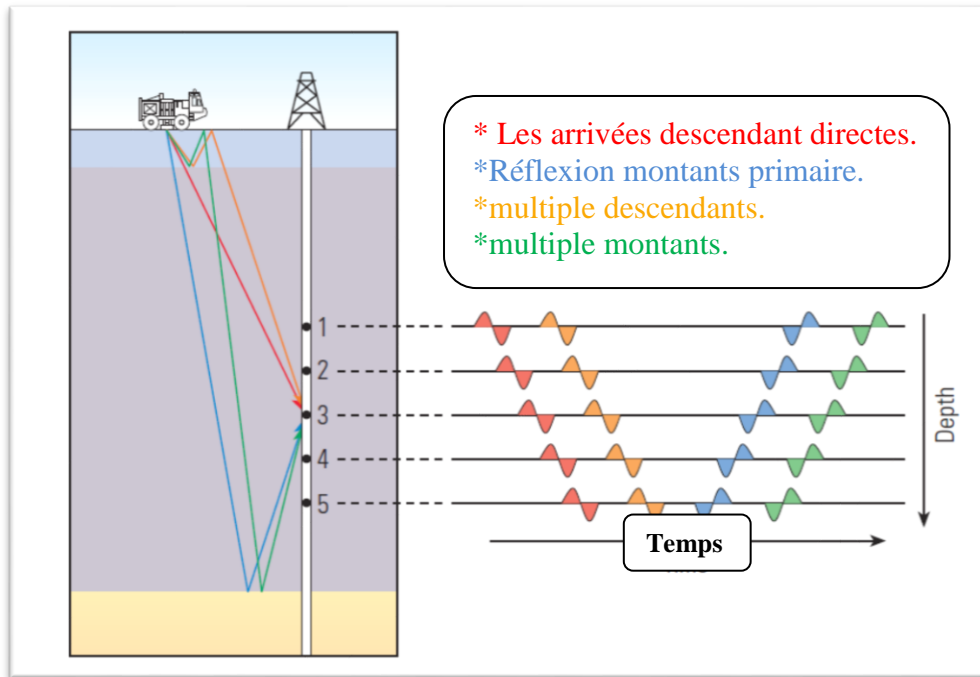


Figure I-15: Les différents événements observés dans le PSV (Borehole Seismic Surveys, schlumberger, 2007).

I-8-2) Les différents bruits en sismique de puits :

Les bruits qui perturbent les enregistrements de la sismique de puits sont dues au deux types d'ondes :

I-8-2-1) Les ondes de câble :

Ces ondes sont provoquées par les vibrations du câble causées par l'effet de vent et les bruit due au mouvement des engins, ces ondes excitent le géophone dans le puits et provoquent un fort niveau de bruit sur l'enregistrement du PSV.

Dans le cas des puits à faibles profondeurs, forés dans des zones où la vitesse de propagation de l'onde sismique est faible, les ondes de câble deviennent très gênantes. Pour atténuer l'effet de ces ondes nous pouvons :

- Donner du mou au câble.
- Ancrer l'outil (récepteur) au paroi du puits. La figure I.16 montre la technique de réduction de l'onde de câble.

I-8-2-2) Les ondes de tube :

L'onde de tube appelée onde de boue est une onde guidée qui se propage le long du puits, tubé ou non tubé. Les ondes de surface (ondes de Rayleigh) constituent la source principale de l'onde de tube.

Les ondes de volume sont également capables d'engendrer des ondes de tube par conversion d'énergie le long des interfaces géologiques de fort contraste d'impédance acoustique ou au niveau des discontinuités du trou (cave, sabot de tubage, fond du puits...). Ce type d'onde a généralement le même contenu fréquentiel que l'onde qui l'a créée. Elle est répétitive d'un tir à l'autre et ne peut être éliminée par la sommation. Sa vitesse de propagation est comprise entre 1000 et 1500 m/s selon la formation et les caractéristiques du puits.

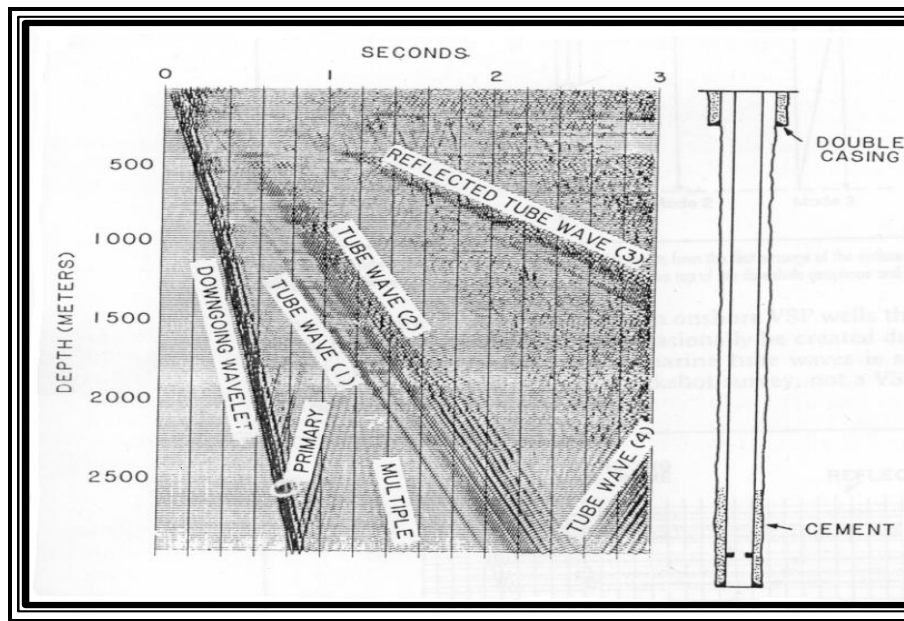


Figure I-15 : onde de boue (Document Gaz de France - IFP).

Dans le domaine de production pétrolière, les ondes de tube sont parfois considérées comme un évènement très utile du moment qu'elles fournissent des informations importantes sur les propriétés physiques des roches (perméabilité).

Par contre, dans les enregistrements PSV elles sont considérées comme un bruit gênant et indésirable puisqu'elles camouflent le signal utile.

Les procédures généralement utilisées sur le terrain pour l'atténuation des ondes de tube sont :

- Augmenter l'offset : En effet, quand l'offset est grand, l'amplitude de l'onde de surface à l'arrivée du puits est faible.
- Atténuer les ondes de surface arrivant à la tête de puits : Pour cela une technique consiste à abaisser le niveau de la colonne de boue de façon à ce que l'amplitude des ondes de surface soit la plus faible possible.
- Empêcher le transfert de l'énergie des ondes de surface à la colonne de boue. Pour détourner les ondes de surface du puits, on creuse entre la source et le puits un tranché et on éloigne la source d'une distance égale à la demi-longueur d'onde fondamentale des ondes de surface.

L'amplitude de l'onde de Rayleigh diminue de façon exponentielle avec la profondeur selon la relation :

$$A = A_0 e^{-2\pi Z/\lambda}$$

Avec :

A : Amplitude transmise

A_0 : Amplitude à la surface

λ : Longueur d'onde de Rayleigh

Lors du traitement, on peut utiliser un filtrage en fréquence ou un filtrage dans le domaine f-k pour atténuer les ondes de tube.

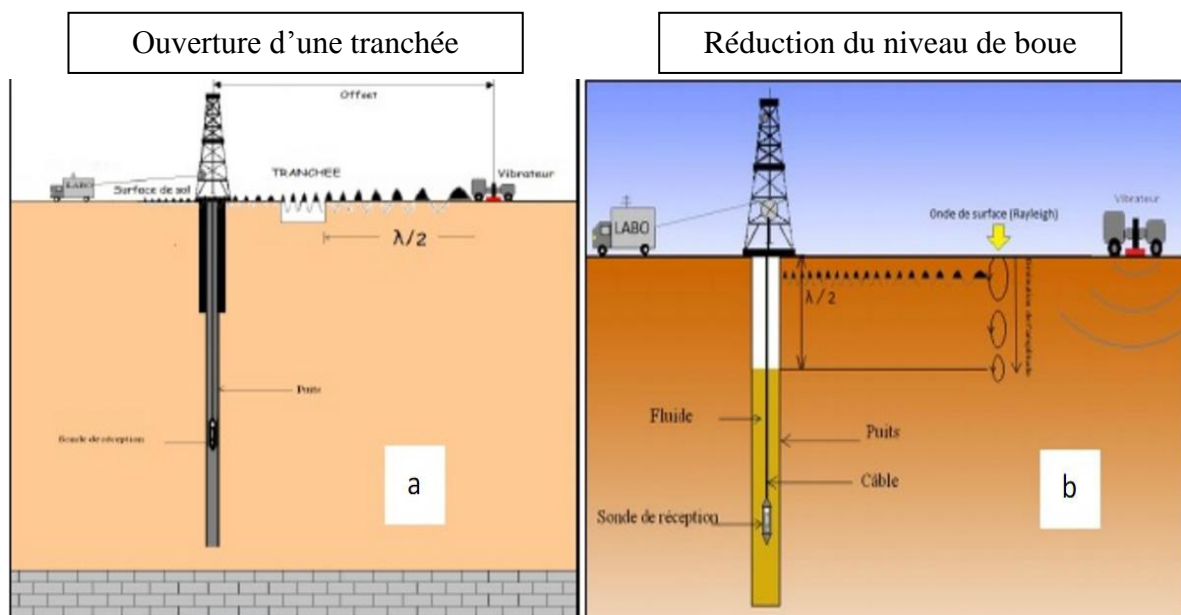


Figure I.16 : Techniques de réduction des ondes de boue (Les ondes sismiques enregistrées dans un PSV, JEDDI M, 2013).

I-9) Réflexions multiples et leurs séparations :

Lors de l'interprétation, l'identification des multiples et de leur origine est utile. Des techniques spéciales de déconvolution permettent la séparation entre multiples à périodes différentes et à origines différentes. La déconvolution des données PSV est appliquée pour :

- Récupérer les hautes fréquences absorbées par la zone altérée.
- Améliorer la résolution de la réflexion primaire.

La séparation des ondes montantes et descendantes étant possible et la période du multiple associée à chaque réflexion étant connue, un opérateur peut être calculé pour effacer trace après trace ce multiple de l'enregistrement PSV. Celui-ci ne montrera que les réflexions primaires.

Le PSV déconvolué amoindrit (atténue) les multiples et la corrélation sera plus précise.

I-10) Les avantages d'un PSV :

Le PSV représente une méthode très intéressante par le fait de ses abondantes applications: Son champ d'application est très vaste et ne cesse de croître grâce au progrès en informatique et en électronique. Parmi ces applications on mentionne notamment :

- Assure une plus grande résolution spatiale verticale et latérale que la sismique de surface.
- Corrélation précise des données sismiques de surface au données de puits en profondeur.
- Fourni des paramètres pour le traitement des données sismiques.
- La localisation des plans de faille.
- Fourni de hautes résolutions et des attributs en dessous et loin du puits pour l'imagerie du réservoir entre-puits.
- Améliore l'analyse de vitesse pour le traitement sismique de surface avec un modèle de vitesse précise.
- Détermination de différents paramètres lithologiques (l'impédance acoustique, le rapport V_p/V_s) pour le coefficient de Poisson et l'atténuation.
- Les données sismiques de puits atteignent généralement un rapport (**signal-bruit**) beaucoup plus élevé que les données sismiques de surface.

I-10-1) Les avantages d'un PSV à zéro offset :

Le **PSV** zéro offset permet de donner une trace sismique qui, directement comparable à la section sismique de surface passant sur le puits.

- L'absence du problème d'obliquité par ce que la direction de propagation des ondes est verticale.
- Une bonne résolution verticale, du fait que l'enregistrement s'effectue à une grande profondeur et le rayon de l'onde sismique traverse la zone altérée qu'une seule fois.

I-11) Pouvoir de résolution :

I-11-1) Résolution verticale:

La résolution se réfère à la distance minimale détectable entre deux événements ou réflecteurs. L'image d'un **PSV** a une meilleur résolution que la sismique de surface car :

- les champs d'ondes reçues sont arrivés directement de la surface, et ne traversent qu'une seule fois la zone altérée.
- Le trajet de cette onde est plus court.
- Cette onde a un contenu fréquentiel plus riche en hautes fréquences que celle enregistrée par un géophone de surface.

Ceci permet à identifier des structures d'épaisseur trop petites qui ne seront pas résolues par la sismique de surface. Supposons que la résolution verticale est en fonction du niveau de bruit et la largeur de la bande passante de l'ordre de $\lambda / 2$ à $\lambda / 4$: $\lambda = v/f$

I-11-2) Résolution latérale:

La Résolution horizontale dépend de rayon de « **Zone de Fresnel** ». Une « **zone de Fresnel** » est une partie du réflecteur, qui renvoie de l'énergie vers le récepteur dans un délai d'une demi-période, de sorte qu'elle produise une interférence constructive. La taille de la zone dépend de la fréquence, plus la fréquence est élevée, plus la zone est petite.

La résolution latérale du PSV à zéro offset est défini par le diamètre de la première zone de Fresnel, où la largeur de la zone de Fresnel est liée à la longueur d'onde dominante de la source et de la profondeur du réflecteur par z et la distance verticale entre le géophone et le réflecteur.

$$D = \sqrt{4 \frac{V}{f} \frac{D_s \cdot D_g}{D_s + D_g}}$$

Avec :

- **D_s**: la distance verticale entre la source et le réflecteur.
- **D_g**: la distance verticale entre le géophone de puits et le réflecteur.
- **V** : vitesse sismique.
- **f** : fréquence dominante.
- **D**: Premier zone de Fresnel.

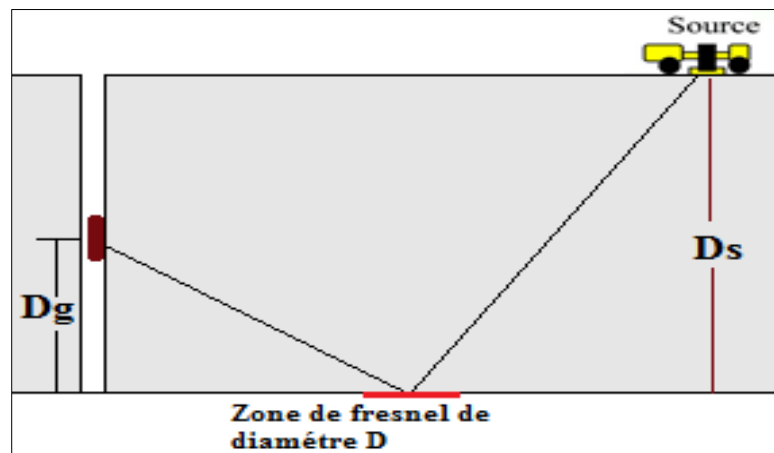
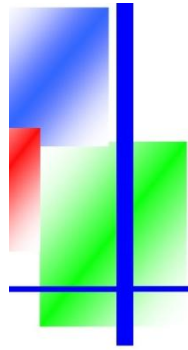
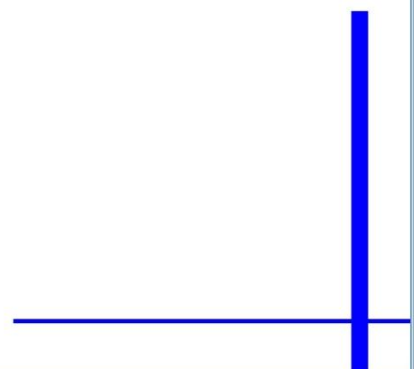


Figure I.16 : La première zone de fresnel.



CHAPITRE 2

Traitement d'un PSV à zéro offset



II-1) L'objectif de traitement du PSV zéro offset :

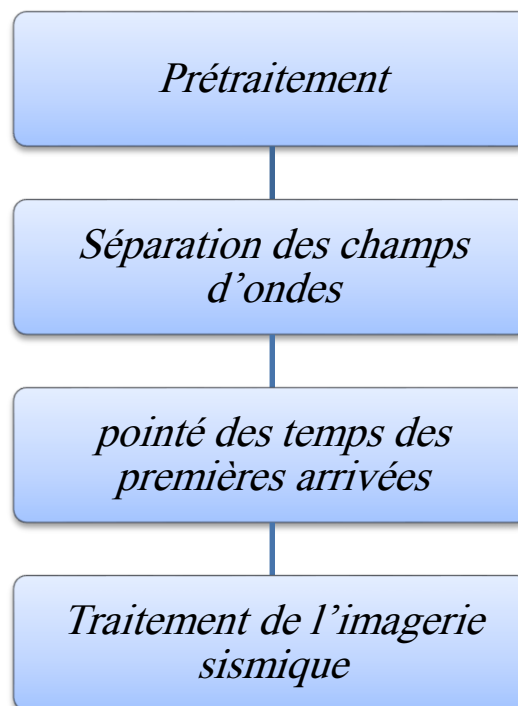
Le traitement des données d'un PSV à zéro offset permet d'identifier et séparer convenablement des champs d'ondes montantes et du champ d'ondes descendant. Le traitement d'un PSV à zéro offset nous donne une trace sommée et comparable à un film synthétique sans multiples ou un ensemble de traces sismiques réalisant une section sismique de haute résolution au voisinage du puits. Les données donc subissent une séquence de traitement pour améliorer le rapport Signal/Bruit, et pour rendre l'enregistrement utile pour un calage.

II-2) Les différentes séquences de traitement des d'un VSP à zéro offset :

Le traitement des données peut être divisé en différentes phases de traitement :

- ✚ La première phase de traitement est le prétraitement.
- ✚ La deuxième phase de traitement est le pointé de temps des premières arrivées qui fournissent la loi temps- profondeur et les différents logs de vitesse.
- ✚ La troisième phase de traitement consiste à séparer les ondes montantes et les ondes descendantes.
- ✚ La dernière phase de traitement consiste à un traitement de l'imagerie sismique.

Le schéma suivant représente les différentes séquences de traitement d'un PSV zéro offset :



Différentes séquences de traitement d'un PSV zéro offset

II-2-1) Prétraitement :

II-2-1-1) Préparation des données :

➤ **Démultiplexage :**

Consiste à réorganiser les échantillons sur la bande terrain. La bande terrain utilisée actuellement est de type **SEGY**.

➤ **Le changement de format :**

On transforme les bandes terrains qui sont sous format (MIRF), en format SEGY qui est accessible à tous systèmes d'exploitation.

➤ **Récupération du gain labo :**

Un gain est appliqué à chaque échantillon lors de l'enregistrement des données au niveau du laboratoire. Ce traitement permet de récupérer l'amplitude vraie des traces en enlevant le gain appliqué au laboratoire.

➤ **Corrélation :**

Cette opération est valable uniquement dans le cas où la source est vibroseismique.

Le signal émis par le vibroseis (camion vibreur) est appelé **sweep**. Le signal émis par cette source est une sinusoïde à fréquence variable dans le temps avec une durée fixée, l'enregistrement obtenu n'est pas directement exploitable car chaque réflexion est noyée dans un événement de longue durée.

Afin de remédier à cet inconvénient majeur, on fait appel à un procédé mathématique appelé corrélation qui permet de compresser ce signal long en une impulsion brève semblable à celle obtenue par la méthode impulsionnelle. Si on considère que la trace sismique est le résultat du produit de convolution du signal émis avec la série des coefficients de réflexions, on a alors :

$$\mathbf{T(t)} = \mathbf{s(t)} * \mathbf{c(t)} + \mathbf{B(t)}$$

Avec :

T(t) : Enregistrement terrain (trace brute).

s(t) : Signal émis (sweep de référence).

c(t) : Série de réflectivités.

B(t) : bruit aléatoire.

Une telle trace n'est pas utilisable telle quelle, car l'ondelette se chevauche sur un enregistrement dont la durée est de 5 secondes. Pour revenir au cas d'une impulsion concentrée, on va utiliser la méthode « dite de compression d'impulsion » qui consiste à corréler la trace T (t) par l'ondelette émise s (t). La corrélation entre le signal long émis et le signal reçu T (t) s'écrit :

$$\phi \mathbf{T_s(t)} = \int_{-\infty}^{\infty} \mathbf{T(\tau)s(t + \tau)d\tau} = \mathbf{T(t)} * \mathbf{s(-t)}$$

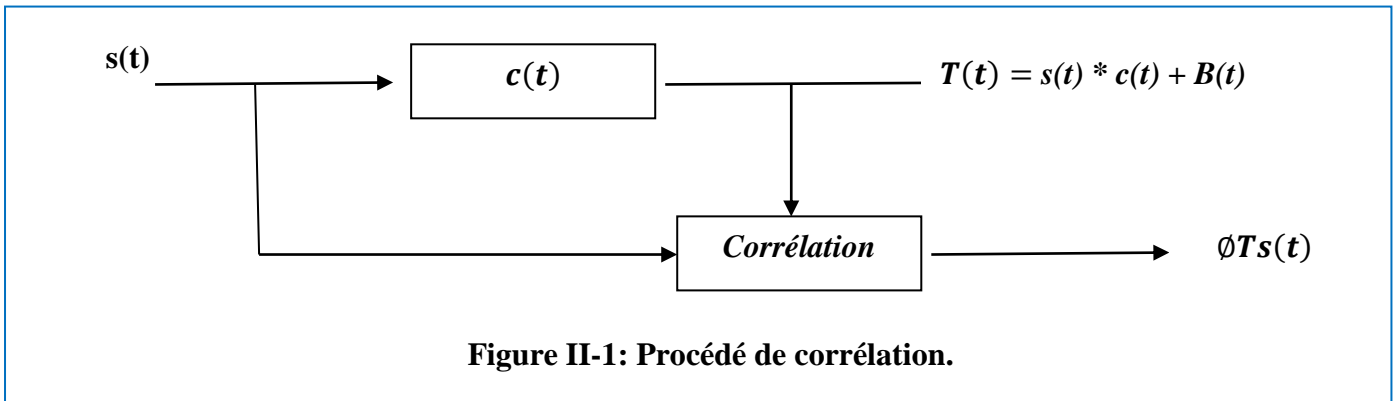
On remplace $T(t)$ on obtient alors :

$$\emptyset Ts(t) = [c(t) * s(t) + B(t)] * s(-t) = c(t) * s(t) * s(-t) + B(t) * s(-t).$$

Où $\emptyset ss(t) = s(t) * s(-t)$.

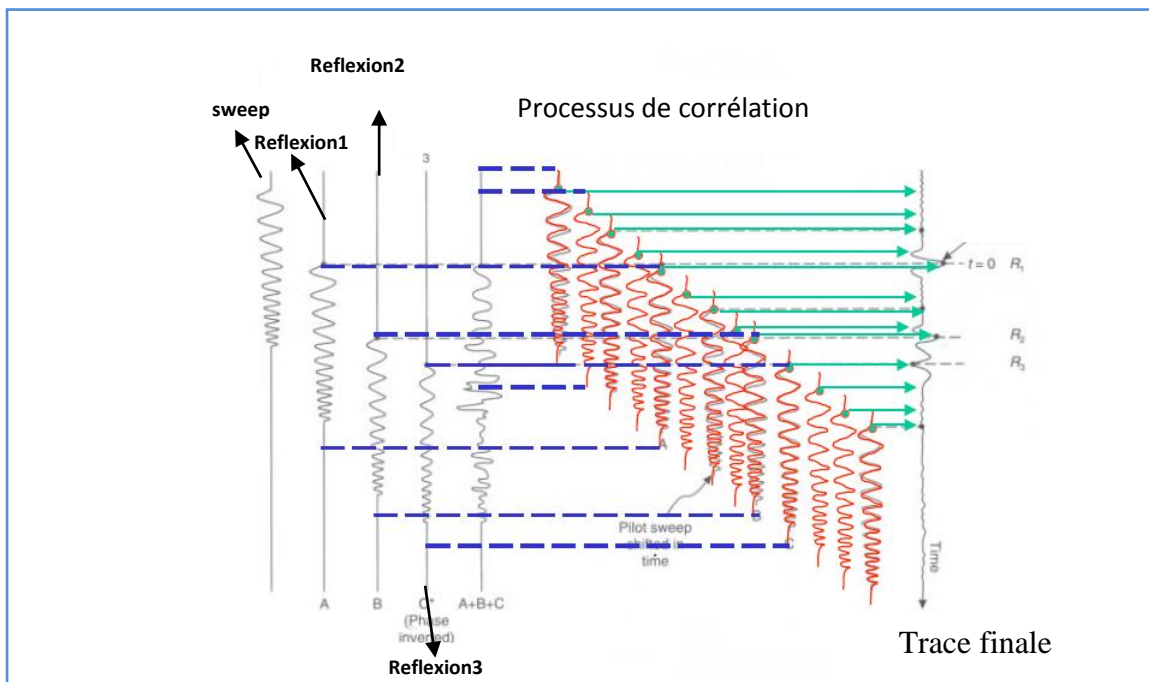
$$\emptyset Ts(t) = c(t) * \emptyset ss(t) + B(t) * s(-t).$$

$\emptyset Ts(t)$: Trace corrélés avec le signal émis.



La corrélation du signal reçu $T(t)$ par le signal émis revient donc à convoluer la réponse impulsionnelle $c(t)$ avec l'auto-corrélation du signal émis $s(t)$.

La trace finale, résultat de la corrélation, est une trace identique à celle qu'on aurait obtenue avec une source délivrant un signal $\emptyset ss(t)$, le bruit étant filtré par le signal $s(t)$.



➤ **Correction d'obliquité :**

En réalité les trajets de l'onde sismique ne sont pas verticaux. Cette correction consiste à ramener les trajets obliques à des trajets verticaux. Elle est appliquée sur les enregistrements proches du point de tir, La correction sur les enregistrements loin du point de tir est négligeable. On utilise les relations suivantes pour effectuer cette correction :

$$t_v = t_{ob} \frac{z}{\sqrt{D^2+z^2}} = t_{ob} \cos(\theta).$$

Où $\cos(\theta) = \frac{z}{\sqrt{D^2+z^2}}$.

Z : profondeur de géophone.

D : distance entre le centre du trou et la source.

θ : Angle formé entre l'axe du trou et le rayon sismique oblique.

t_v : Temps vertical.

t_{ob} : Temps oblique.

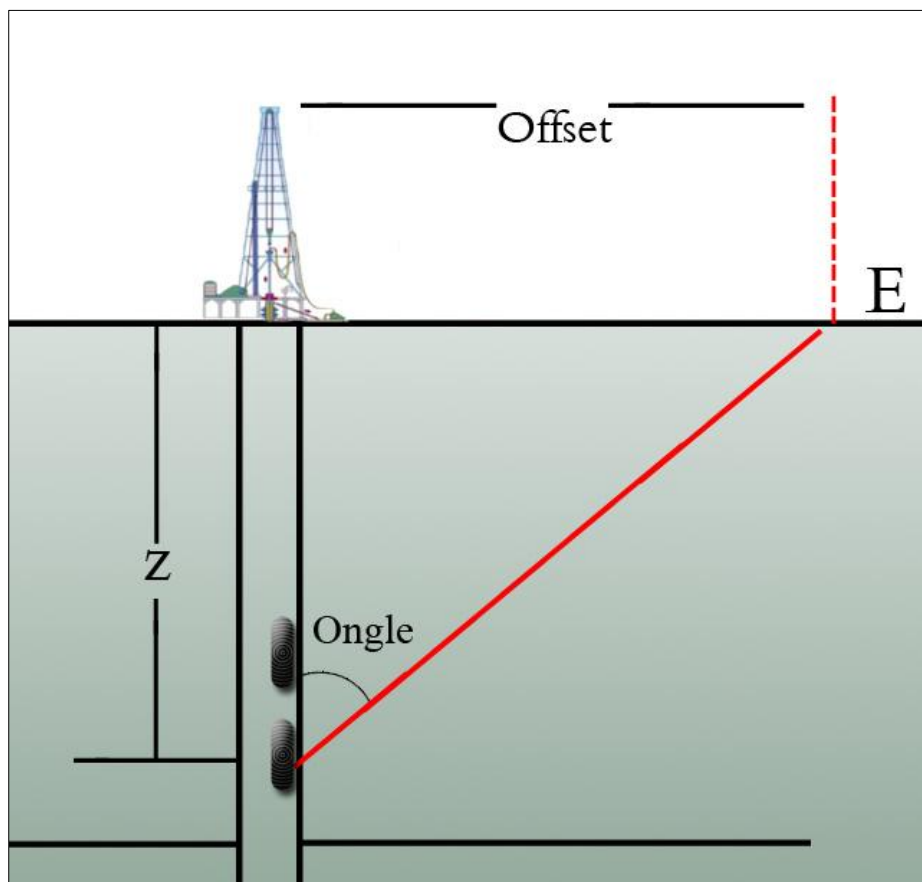


Figure II-3: Trajet oblique des ondes.

II-2-1-2) L'édition :

Le but de l'édition est de sélectionner les traces de bonne qualité, et supprimer les traces bruitées. Elle consiste à éliminer toutes les traces mortes et changer toutes les traces de polarités inversées. Les traces qui correspondent au même niveau d'enregistrement seront sommées afin d'améliorer le rapport signal sur bruit acceptable.

II-2-1-3) La sommation des traces enregistrées :

Utilisée dans le cas de sources de faible énergie, on procède à plusieurs tirs pour la même position de la sonde dans le puits, d'où la sommation des enregistrements obtenus à la même côte pour améliorer le rapport signal sur bruit (Signal/Bruit).

II-2-1-4) Le pointé des temps des premières arrivées :

Cette étape consiste à pointer les temps des premières arrivées qui fournissent la loi temps-profondeur. Cette courbe donne les différentes vitesses telle que :

- Vitesses d'intervalles V_i .
- Vitesse moyenne V_{moy} .
- Vitesse quadratique moyenne V_{rms} .

Ce pointé est utilisé pour horizontaliser les ondes montantes ou descendantes.

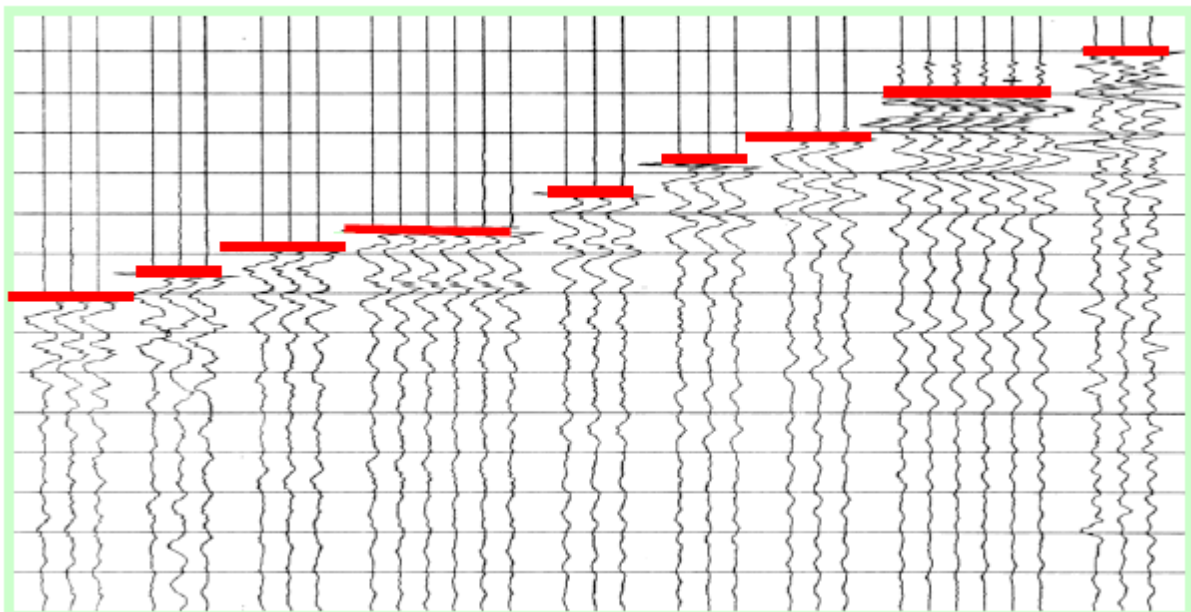


Figure II.4 : Pointage des premières arrivées.

- **Les différents types des vitesses sismiques :**

A) La vitesse d'intervalle :

La vitesse d'intervalle est définie par la vitesse de propagation de l'onde dans un intervalle d'épaisseur ΔZ séparée par une durée de ΔT .

La vitesse d'intervalle s'écrit comme suit :

$$V_i = \frac{\Delta Z}{\Delta T} = \frac{Z_i - Z_{i-1}}{T_i - T_{i-1}}$$

Avec :

Z_i : Profondeur de la $i^{\text{ème}}$ tranche.

T_i : Temps vertical simple.

B) La vitesse moyenne :

L'équation de la vitesse moyenne est comme suit :

$$V_{\text{moy}} = \frac{\sum_{i=1}^N V_i t_i}{\sum_{i=1}^N t_i} = \frac{\sum_{i=1}^N h_i}{\sum_{i=1}^N t_i} = \frac{Z}{T}$$

Où :

t_i : Le temps vertical simple mis par l'onde pour parcourir la couche i (d'épaisseur h_i).

V_i : Vitesse de propagation de l'onde dans la couche i .

Z : l'épaisseur totale de la couche parcourue par l'onde.

T : Temps simple total de propagation mis par l'onde pour parcourir la couche d'épaisseur Z .

N : Nombre total de couches.

C) La Vitesse quadratique moyenne V_{rms}

La vitesse quadratique moyenne est utilisée dans le calcul des corrections dynamiques, on peut écrire l'équation de la vitesse quadratique moyenne comme suit :

$$V_{\text{rms}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N V_i^2 \times t_i}{\sum_{i=1}^N t_i}$$

Où :

N : le nombre total de couches.

t_i : le temps vertical simple mis par l'onde de vitesse V_i pour parcourir la couche i .

II-2-2-3) La récupération des amplitudes réelles (TAR)

Plusieurs facteurs affectent l'amplitude de l'onde sismique au cours de sa propagation dans le sous-sol. Pour cela on applique cette séquence pour récupérer les amplitudes réelles du signal atténué lors de sa propagation. A cet effet des corrections ont été faites et parmi lesquelles on peut citer :

A) Correction de la divergence sphérique

La divergence sphérique est la diminution de l'amplitude à cause de la répartition de l'énergie sur les fronts d'onde en expansion. Si le milieu est homogène, à vitesse constante et sans absorption, l'amplitude sur un front d'onde (par unité de surface) est inversement proportionnelle à la distance parcourue ($D = VT$), où V est la vitesse moyenne au temps T correspondant à la distance D .

D'après « **Newmann** », en pratique la vitesse augmente avec la profondeur. L'amplitude de l'onde est proportionnelle à $\frac{A_D}{A_1} = \frac{V_0}{V_{rms} T}$.

Où : A_D : Amplitude de l'onde à la distance D

A_1 : Amplitude de l'onde à la distance $d=1$

V_0 : est la vitesse du premier milieu.

V_{rms} : la vitesse quadratique moyenne au temps T .

Dans le PSV la perte d'amplitude due à la divergence sphérique est estimée plus grande que toutes les autres pertes réunies. Cette correction peut être faite en appliquant la formule de Newman (1973).

$$G = 1/D$$

G : facteur correctif.

D : distance parcourue par le signal.

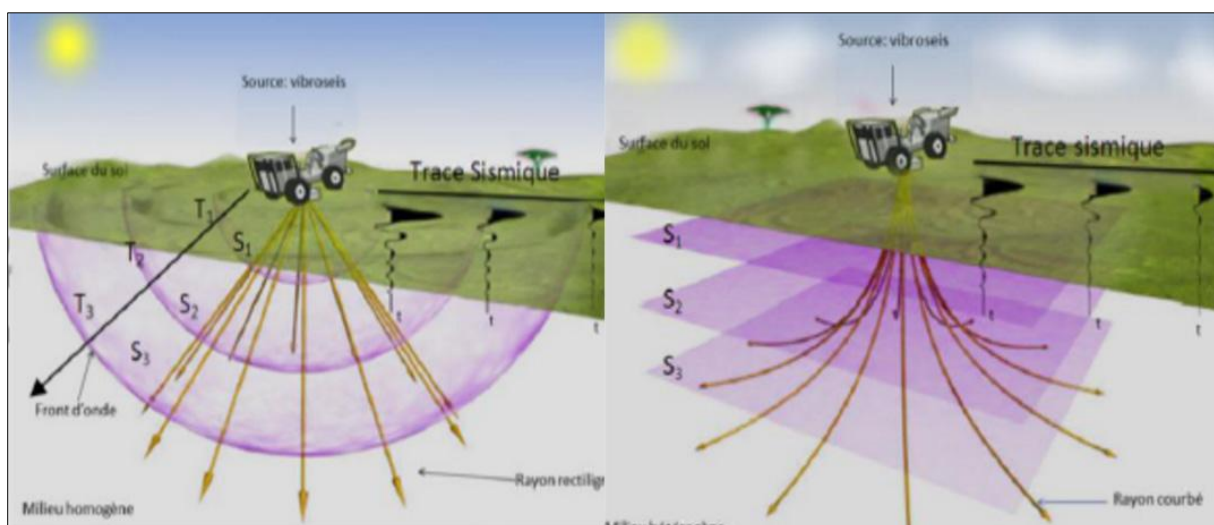


Figure II-5 : Divergence géométrique (La divergence sphérique et absorption des ondes sismiques, Djeddi M, 2013).

B) Correction de l'effet d'absorption :

Une partie de l'énergie de l'onde est transformée en chaleur car le sol n'est pas parfaitement élastique. La perte d'énergie est due au mouvement des particules dans les fluides, Cette perte est habituellement une fonction exponentielle de la distance. Pour un milieu homogène, on a :

$$A_x = A_0 e^{-\alpha x}$$

A_x : Amplitude de l'onde à la distance x .

A_0 : Amplitude initiale.

α : Coefficient d'absorption.

λ : Distance parcourue par l'onde.

$$\alpha = \frac{2}{\lambda} \log \frac{A_x}{A_0}$$

λ : Longueur d'onde.

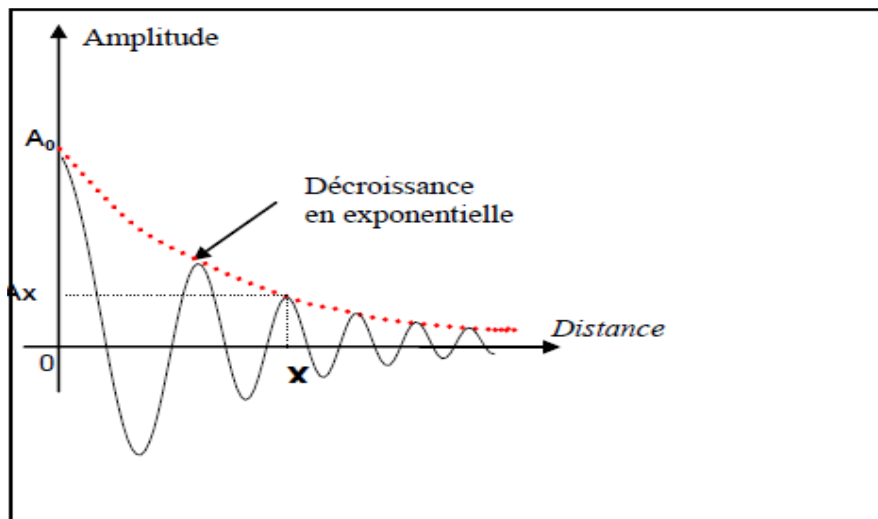


Figure II.6 : L'absorption. (Bob. A. HARDAGE 1985)

C) La dispersion :

Cette correction peut être faite en appliquant une égalisation dynamique en temps ou par une loi empirique de type : AT^n .

A : constante de normalisation.

T : temps de parcours de l'onde.

n : exposant compris entre 1 et 2.

Pour récupérer les amplitudes réelles du signal, il suffit de multiplier les amplitudes de chaque trace par l'expression AT^n d'où : $t_c = AT^n$

T : trace avant correction.

t_c : trace corrigée.

II-2-3) Séparation des champs d'ondes :

C'est une étape très importante dans le traitement d'un PSV. Elle consiste en la séparation des ondes montantes et descendantes. La majorité des méthodes de séparation des deux champs d'ondes est basée sur le fait que les deux types d'ondes ont des vitesses apparentes de signes opposés. Ces méthodes consistent à extraire le champ des ondes montantes par soustraction du champ des descendantes. L'estimation du champ des ondes descendantes consiste à appliquer pour chaque trace du PSV un décalage statique égal à son temps de première arrivée changé de signe (horizontalisation), puis à appliquer au PSV un filtre ne gardant que les vitesses apparentes infinies. Pour séparer ces ondes, ce filtre peut être :

- Le filtre médian.
- Le filtrage en vitesse apparente (**filtre f-k**).
- Le filtre (**τ , p**).
- La transformation de **Karhunen-Loeve**.
- La décomposition en valeurs singulière (**SVD**).

Dans notre travail, on étudie en détail le filtrage dans le domaine **f-k**, et le filtre médian pour la séparation des ondes montantes et descendantes. Ces méthodes sont les plus utilisées dans les centres de traitement.

II-2-3-1) Filtre médian :

- **Principe :**

Le filtre médian est un filtre non linéaire qui procède avec une fenêtre glissante à un temps donné. Il peut être appliqué en cascade en utilisant une succession de filtres d'ordre croissant. En d'autre terme, un filtre médian cascade d'ordre N ($N > 3$) correspond à l'application successive de filtres d'ordre 3, 5, 7 ...N.

La valeur médiane, si le nombre d'échantillons N est impair, est définie comme la valeur de l'échantillon de rang $(N+1)/2$ après classement des échantillons par ordre croissant ou décroissant. Si le nombre d'échantillons est pair, la valeur médiane est la moyenne arithmétique des deux valeurs centrale de la série d'échantillon ordonnée. Pour éviter l'interpolation entre traces au cours du traitement sismique, le filtre médian travaille sur un nombre de trace impaire (généralement 3 à 7 traces).

Soit A1, A2, A3, A4 et A5 une série d'échantillons de différentes amplitudes. Leur arrangement dans l'ordre croissant par exemple, donne une autre série: A2, A1, A4, A5 et A3. Le filtre médian prendra alors la valeur médiane qui est A4.

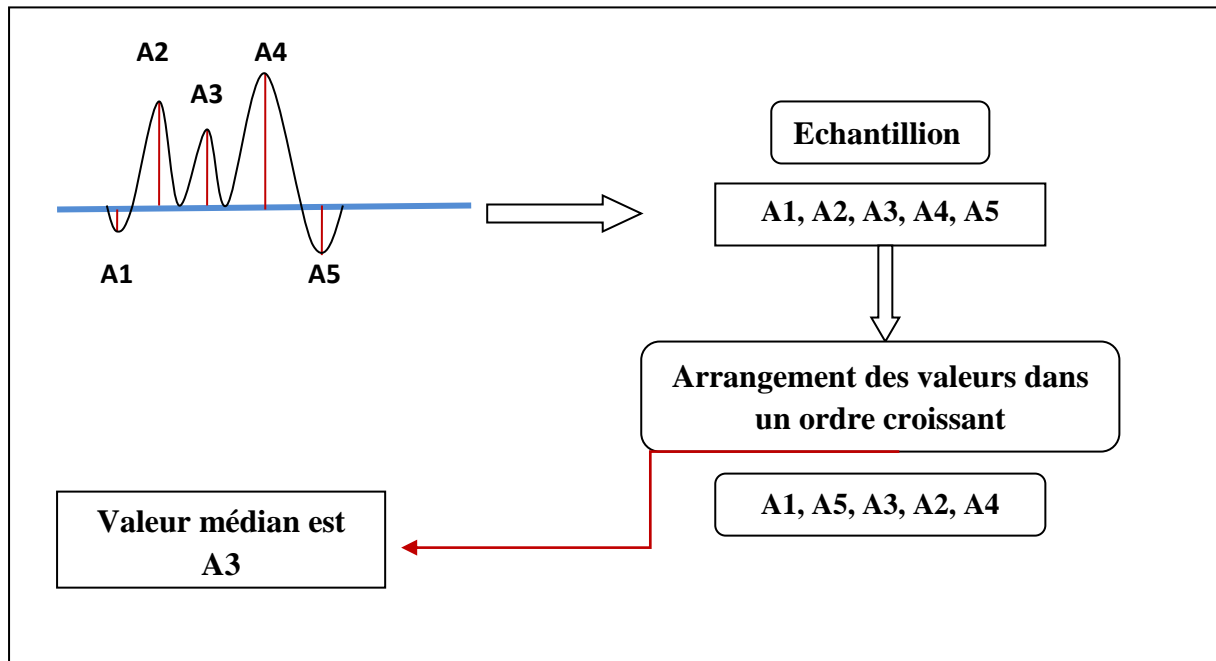


Figure II-7 : Principe filtre médian

- **Utilités de filtre médian:**

Ce type de filtre est utilisé dans le traitement du PSV pour l'extraction des champs ondes montantes ou des ondes descendantes. Il favorise les événements cohérents (horizontaux), il est nécessaire d'horizontaliser les ondes à extraire avant son application.

Pour cela, si nous souhaitons avoir le champ d'ondes descendantes, nous horizontalisons les événements descendants en soustrayant à chaque trace le temps de première arrivée qui lui correspond.

Si par contre nous souhaitons avoir le champ d'ondes montant, nous horizontalisons les événements montants en rajoutant à chaque trace le temps de la première arrivée qui lui correspond.

- **Procédure de filtre médian :**

À un instant donné, on peut déterminer sur toutes les traces un nombre impair d'échantillons représentant les amplitudes des traces. En ordonnant ces amplitudes dans un ordre croissant ou décroissant, et en leur appliquant le filtrage médian, la série d'échantillons précédente se transformera en un seul échantillon dont l'amplitude représente la valeur médiane de la série ordonnée. En faisant varier le temps, on obtient un ensemble de valeurs médianes représentant la trace filtrée.

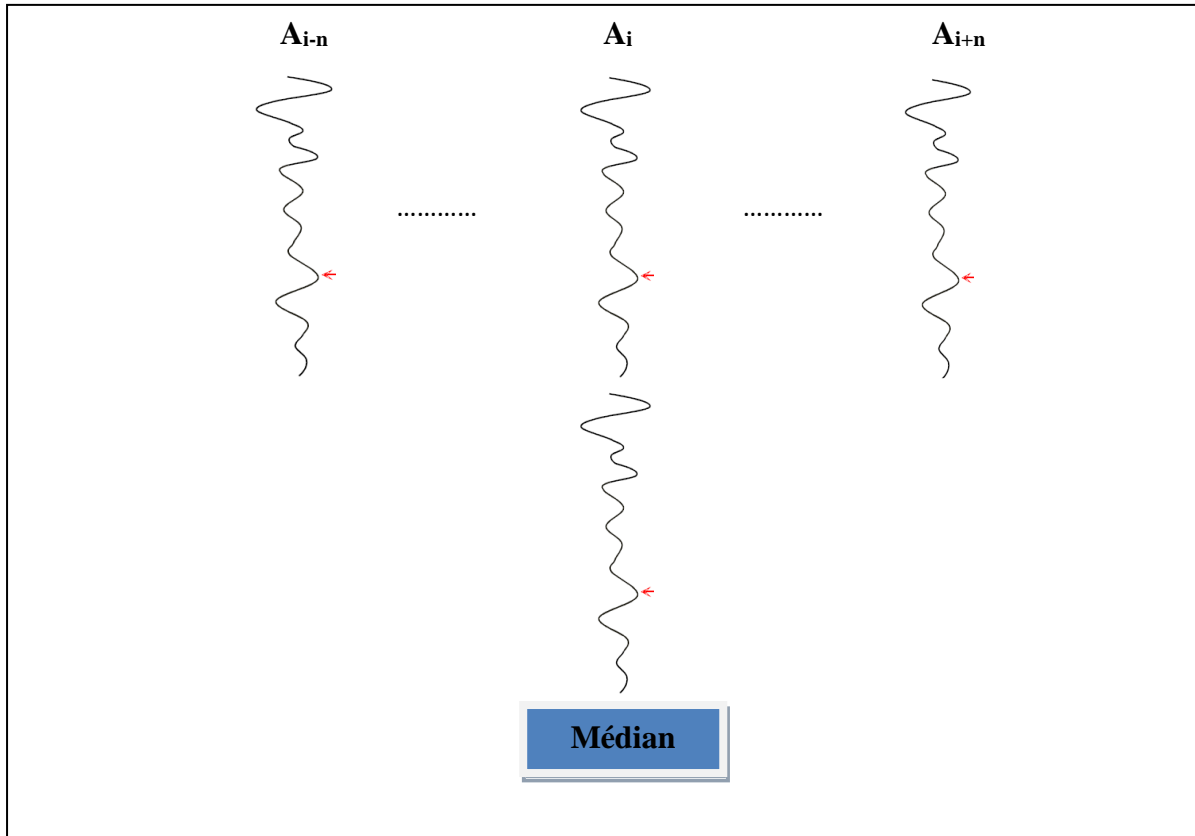


Figure II-8 : Principe de filtre médian.

- **Estimation du champ d'onde montant utilisant le filtre médian :**

Pour extraire le champ d'ondes descendantes, il suffit de soustraire pour chaque trace de PSV un décalage statique égal à son temps de première arrivée. Puis on applique au PSV le filtre médian pour ne garder que l'évènement horizontal de vitesse apparente infini. On suite on soustrait les champs descendant du champ total pour avoir le champ d'onde montant.

Le filtre médian est très utile pour supprimer l'effet des pics parasites ou encore pour compenser la disparition locale du signal selon la variable distance X.

$$\boxed{\text{Champ total}} - \boxed{\text{Champ descendant}} = \boxed{\text{Champ montant}} + \boxed{\text{Bruit}}$$

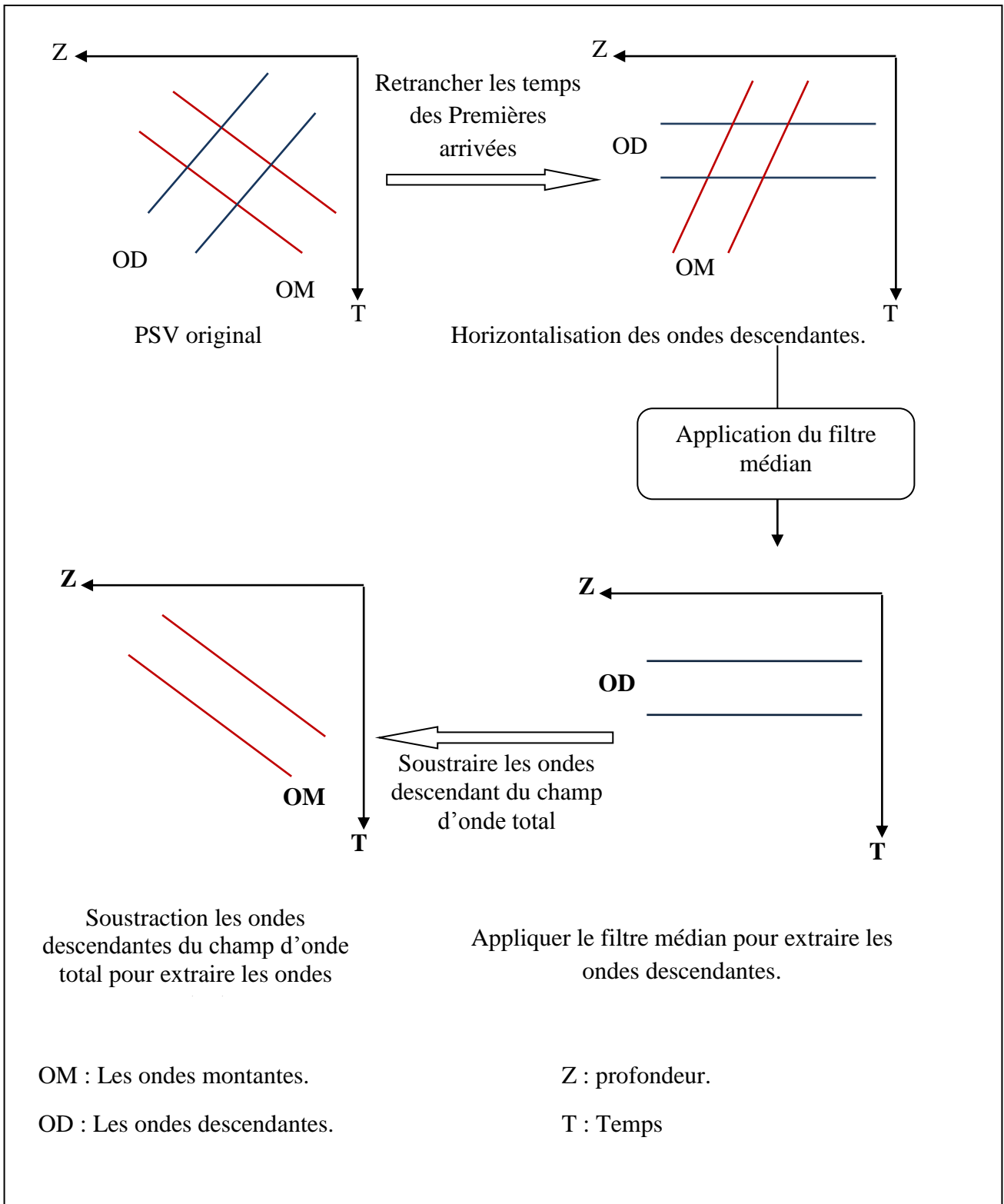


Figure II.9 : Application du filtre médian pour l'extraction des ondes Montantes.

Pour extraire le champ d'onde montant du champ d'ondes de total, on peut suivre les étapes suivantes :

- Soustraire pour chaque trace du PSV un décalage statique égal à son temps de première arrivée pour horizontaliser les ondes descendantes.
- Appliquer le filtre médian pour ne garder que les événements horizontaux de vitesse apparente infinie
- La soustraction des ondes descendantes du champ d'onde total permet d'obtenir le champ d'onde montant.

Il est possible d'estimer le champ d'onde montant directement sans passer par le champ d'onde descendant il suffit de :

- Horizontaliser les ondes montantes en ajoutant à chaque trace son temps de première arrivée.
- Appliquer le filtre médian pour ne garder que les événements horizontaux (les ondes montantes).

II-2-3-2) Filtrage dans le domaine f-k :

Le filtrage dans le domaine f-k a pour but de séparer les ondes montantes et descendantes ayant des vitesses apparentes de signe opposé. L'enregistrement en sismique est fonction des variables spatiales et temporelles (z, t) qui peut se représenter dans le domaine de Fourier en fonction des variables fréquence et nombre d'onde (f, k) à l'aide de la transformée de Fourier à deux dimensions tel que :

$$S(f, k) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} s(x, t) e^{-2\pi j(ft+kx)} dt dx$$

$s(x, t)$: Signal dans le domaine temporel.

$S(f, k)$: Signal dans le domaine fréquentiel /nombre d'ondes.

La transformation est faite uniquement lorsque la distance entre cotes successives est régulière. Pour estimer les ondes montantes on extrait tout d'abord les ondes descendantes par la soustraction d'un décalage statique égal à son temps de première arrivée pour aligner les ondes descendantes pour chaque trace de PSV et on applique la transformée de Fourier à deux dimensions pour passer du domaine (z, t) au domaine (f, k). Dans le plan f-k, les ondes montantes et descendantes se répartissent respectivement dans les nombres d'ondes négatifs (vitesse apparente négative) et positifs (vitesse apparente positive). Le filtrage consiste donc à extraire les événements qu'on souhaite garder en multipliant leur amplitude par un (1), et par zéro les événements qu'on désire éliminer (figure II-9).

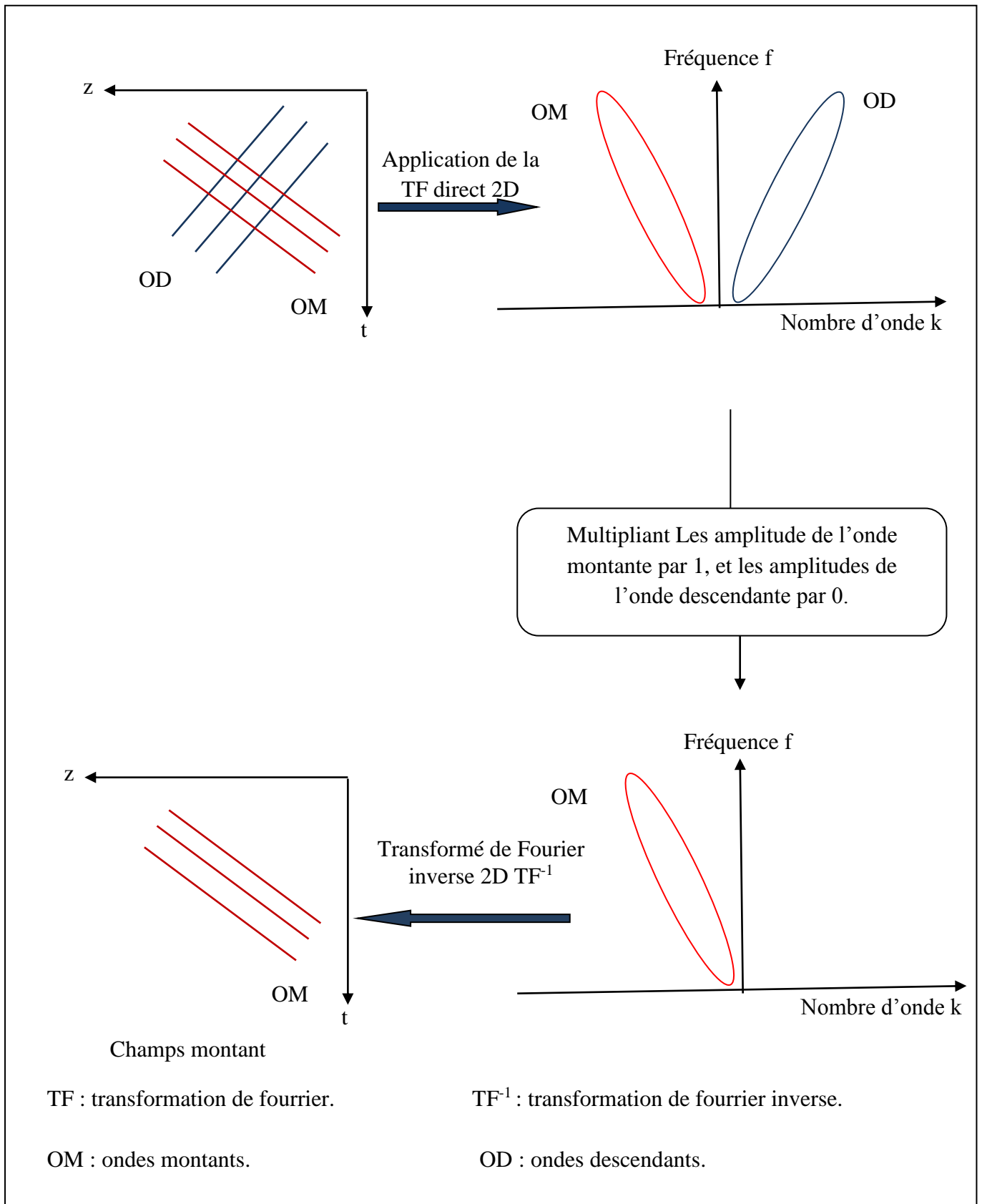


Figure II-10 : Application du filtre f-k pour l'extraction des ondes montantes.

II-2-4) Traitement de l'image sismique :

II-2-4-1) Horizontalisation des ondes montantes :

Elle est obtenue en appliquant à chaque trace PSV, une correction statique égale au temps de sa première arrivée. Le résultat (trace PSV en temps double) est comparable à l'enregistrement en sismique de surface.

II-2-4-2) la déconvolution :

Le processus de convolution avec un filtre inverse est appelé déconvolution, il existe deux types de Déconvolution :

- Déconvolution a but pour atténuer les réflexions multiples.
- Déconvolution qui sert à modifier l'impulsion sismique afin de lui donner une forme de pic.

Dans un enregistrement PSV le niveau d'énergie des ondes descendantes est plus important que celui des ondes montantes, il est conseillé de calculer et tester l'opérateur de déconvolution sur le champ d'ondes descendantes, qui servira par la suite à l'atténuation des réflexions multiples montantes. L'opération de déconvolution dans ce cas est réalisée en appliquant à chaque trace l'opérateur qui lui correspond.

L'opération se fera comme suit : $M(z, t) = D(z, t) * R_z(t)$

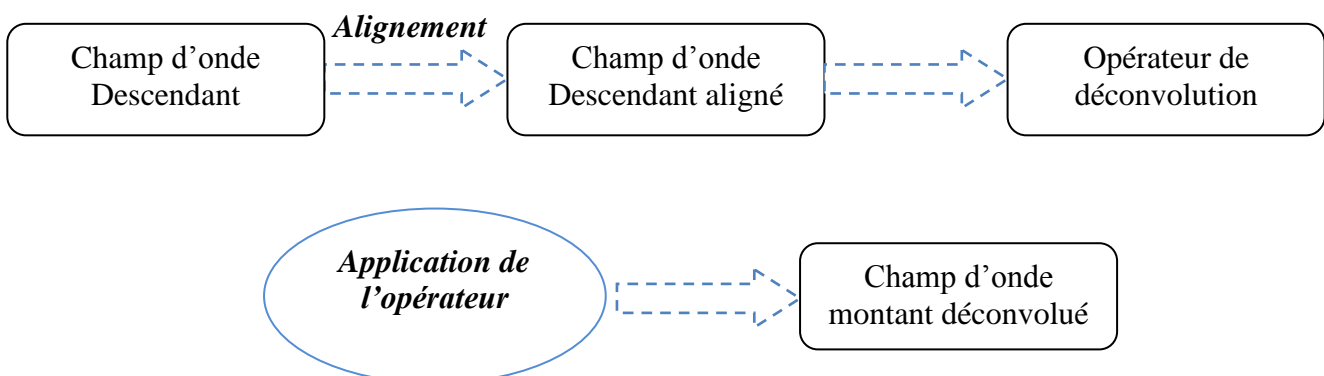
$M(z,t)$: Champ d'ondes montantes.

$D(z,t)$: Champ d'ondes descendantes.

$R_z(t)$: Série de coefficient de réflexion.

Réciproquement : $R_z(t) = D^{-1}(z, t) * M(z,t)$

Ou : $D^{-1}(z, t)$ est l'opérateur de déconvolution déduit de $D(Z,t)$



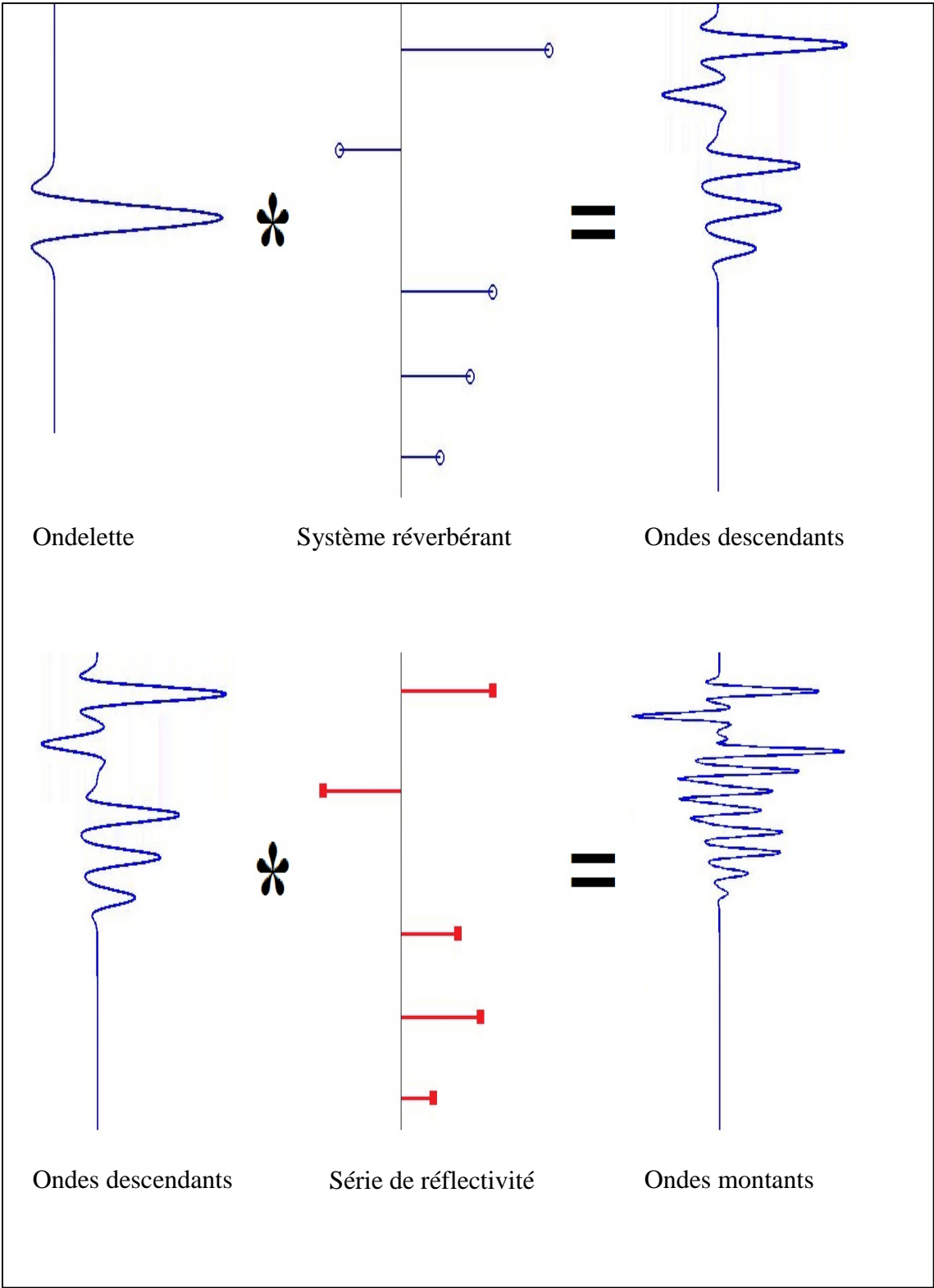


Figure II-11: Modèle implicite des ondes montantes.

II-2-4-3) filtre passe bande :

Puisque on connu la bande fréquentiel de l'information utile on peut utiliser un filtre appelé passe band ou on peut éliminer les informations inutile (bruits aléatoires et organisé), Au lieu de supprimer une partie de la trace dans le domaine temporel (mute), on l'élimine dans le domaine fréquentiel ce qui permet d'améliorer le rapport S/B.

L'idéal dans le choix du filtre est de pouvoir faire une analyse de fréquence en amplitude et en phase de chacune des traces enregistrées dans différentes fenêtres de temps, pour mettre en évidence l'étalement du spectre, la variation de fréquence en fonction de temps, la variation de spectre du signal et du bruit. Dans le domaine fréquentiel. La détermination de la bande passante en fréquence se fera d'une manière visuelle par analyse de filtre.

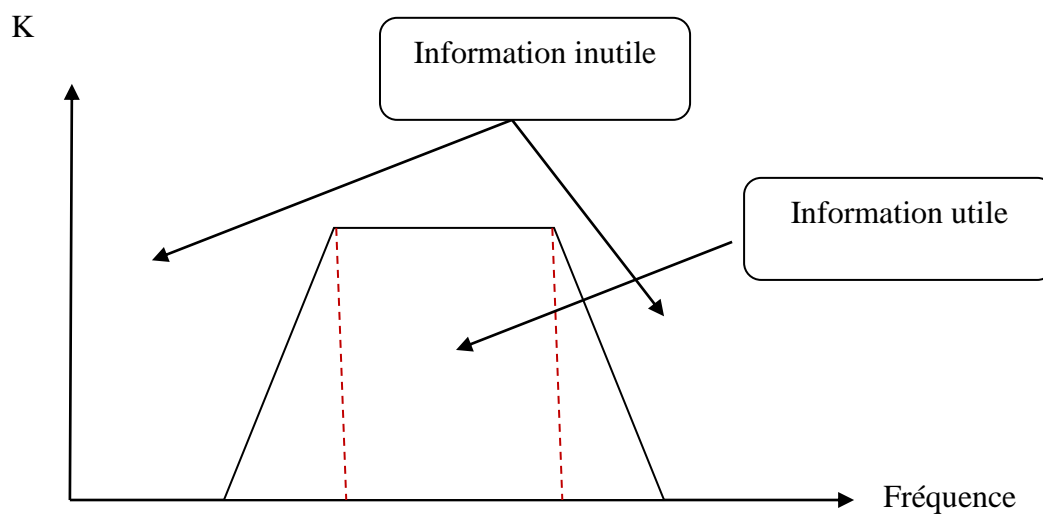


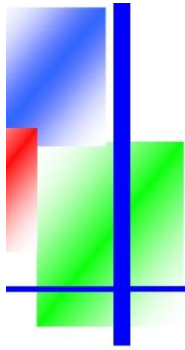
Figure II-12: filtre passe bande dans le domaine fréquentiel.

II-2-4-4) Le mute :

Le mute consiste à la suppression du signal par la mise à zéro des échantillons indésirable, c'est un traitement simple .dans le cas du PSV on applique un top mute pour supprimer tous les bruits avant les arrivée directe.

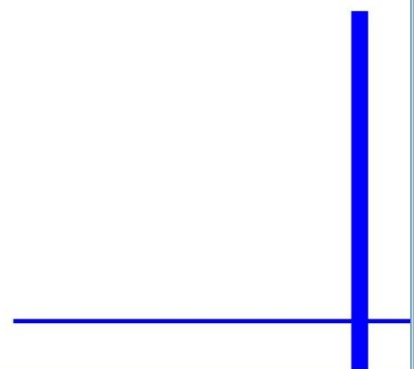
II-2-4-5) Le couloir de sommation (corridor stack)

Pour éliminer l'effet des multiples montants et ne conserver que le signal réfléchi reçu immédiatement après la première arrivée, les ondes montantes déconvoluées et horizontalisées sont sommées dans un couloir étroit situé au voisinage immédiat de l'onde directe. On obtient ainsi une trace somme PSV sans multiples qui sera dupliquée plusieurs fois pour donner le corridor stack. Cette trace somme est comparable à la trace sismique obtenue par la sismique de surface après sommation en couverture multiple.



CHAPITRE 3

Application sur des données réelles



III. 1) Introduction :

L'objet est l'application d'une séquence le traitement réel complet d'un enregistrement PSV zéro offset afin d'obtenir un corridor stack.

Cette application a été effectuée au sein de (ENAGEO-HMD) l'Entreprise Nationale de Géophysique à l'aide du logiciel **VSPROWESS 2.05**.

III-2) Généralité sur le logiciel VSProwess :

VSProwess est utilisé couramment dans la plupart des champs pétrolifères du monde, avec des centaines d'utilisateurs et des milliers d'étude PSV (profil sismique verticale) traitées. Ce logiciel a été publié en 1990 comme un système de traitement de VSP. Au cours des dernières années **VSProwess** a mis au point dans un système très compétent général forage de traitement sismique.

Le traitement de données sismiques peut être une tâche difficile. Grâce à son héritage, **VSProwess** a une réputation méritée comme un système facile à utiliser, ce qui libère l'utilisateur de se concentrer sur d'autre problème.

Le logiciel **VSProwess** fonctionne sur presque tous les PC utilisant un système d'exploitation Windows (Win2k, XP, Vista, Windows7).

III-3) Acquisition des données sismiques :

III-3-1) Réalisation des travaux :

L'acquisition des données sismiques a été réalisée par l'Entreprise Nationale de Géophysique (ENAGEO). Le laboratoire utilisé est SERCEL (GEOWAVE).

L'opération a consisté en une acquisition d'un Profil Sismique Vertical composé de 257 niveaux répartis comme suit :

« VSP de 4570m jusqu'en 1045m avec un intervalle d'enregistrement de 15m avec les tops géologiques et de 225m jusqu'en 1030 avec l'intervalle d'enregistrement est variable. La source d'énergie utilisée est un vibreur M-18, model **P-Wave**, placé à une distance de 61 m de la tête de puits suivant un Azimut de 40 degrés. »

L'acquisition est réalisée avec le système de télémétrie dont le dispositif de réception est composé de trois outils sismiques espacés de 15m.

III-3-2) Les formations traversées :

AGE	Etage	Formations	Prof (m)	Prof Abs (m)	Epais (m)	
QUAT	QUAT	Quaternaire				
Cénozoïque	M-P	Mio-pliocène	9	219	216	
	EOC	Eocène Moyen				
		Eocène Inférieur				
MESOZOÏQUE	CRETACE	Carbonaté	225	3	145	
		Anhydritique	370	-142	263	
		Salifère	633	-405	120	
		Turonien	753	-525	65	
		Cénomanién	818	-590	200	
		Albien	1018	-790	138	
		Aptien	1156	-928	40	
		Barrémien	1196	-968	336	
		Néocomien	1532	-1304	260	
	JURASSIQUE	Malm	1792	-1564	237	
		Dogger	Argileux	2029	-1801	146
			Lagunaire	2175	-1947	153
		Lias	Anhydritique	2328	-2100	209
			Salifère	2537	-2309	59
			HB	2596	-2368	24
			S1-S2	2620	-2392	245
			S3	2865	-2637	154
	Argileux	3019	-2791	67		
	TRIAS	Salifère S4	3086	-2858	48	
		Argileux inférieur	3134	-2906	39	
Carbonaté		3173	-2945	92		
T.A.G.I		3265	-3037	15		
PALÉOZOÏQUE	DEVONIEN INF	Eifélién	3280	-3052	26	
		Emsien	3306	-3078	53	
		Siegénien	3359	-3131	216	
		Gédinnien	3575	-3347	318	
	SILURIEN	F6-B2	3893	-3665	215	
		F6-B1	4108	-3880	179	
		F6-A2	4287	-4059	102	
		F6-A1	4389	-4161	65	
		F6-M2	4454	-4226	69	
		F6-M1	4523	-4295	20	
		Silurien- argileux	4543	-4315	27	
		PROF/FINALE	4570	-4342		

Tableau 1: Les différentes formations traversées par le puit

III-3-3) Les différents paramètres utilisés lors de l'acquisition :

Les différents paramètres utilisés lors de l'acquisition d'un profil sismique vertical (zéro offset) sont représentées comme suit :

- Le signal émis est un Up-Sweep Linear de fréquence 8-80Hz, zéro phase d'une durée de 12sec et de taper = 300ms, émis par une source (vibrateur M-18, model P-Wave), placé à une distance de 61 m de la tête de puits suivant un Azimut de 40 degrés, située à 219.69 m au-dessus du niveau moyen de la Mer (MSL)
- Les profondeurs des niveaux enregistrés sont mesurées à partir de la table de rotation, située à 228.62 m au-dessus du niveau moyen de la Mer (MSL).
- La dénivelée entre la position de la source et la position du puits est nulle ($Z_{sol} = Z_{source}$).
- L'acquisition est réalisée avec le système de télémétrie dont le dispositif de réception est composé de trois outils sismiques espacés de 15m.

On résume les paramètres d'acquisition dans le rapport suivants :

Rapport terrain :

Puits	ROMP-1 ST-1
Location	Algeria
Type	Zero offset V.S.P
entreprise	ENAGEO.

Puits:

Profondeur total (TD)	4573 m
------------------------------	--------

Elevation:

Elevation de reference (Z_{KB})	228.62 meters above MSL
Elevation de source (Z_{GL})	219.18 meters above MSL

System d'enregistrement:

Type	GSP
Sample Rate	2 ms
Durée de sweep	12sec
Temps d'écout	3sec

Source:

Type	Vibrator Mertz M18 P-wave
Offset	61 meters
Azimuth	40° N
Elevation de Source	219.18m (= Ground Elevation)

Sweep:

Durée de Sweep	12s
Frequence	8-80Hz
Type de Sweep	Up-sweep linear zero phase
Taper	300ms

Geophone:

Model	Sercel Geowave (3 Components)
Configuration	Gimballed Geophones
Shallowest Level Recorded	10 m MD/KB
Deepest Level Recorded	4573 m MD/KB.

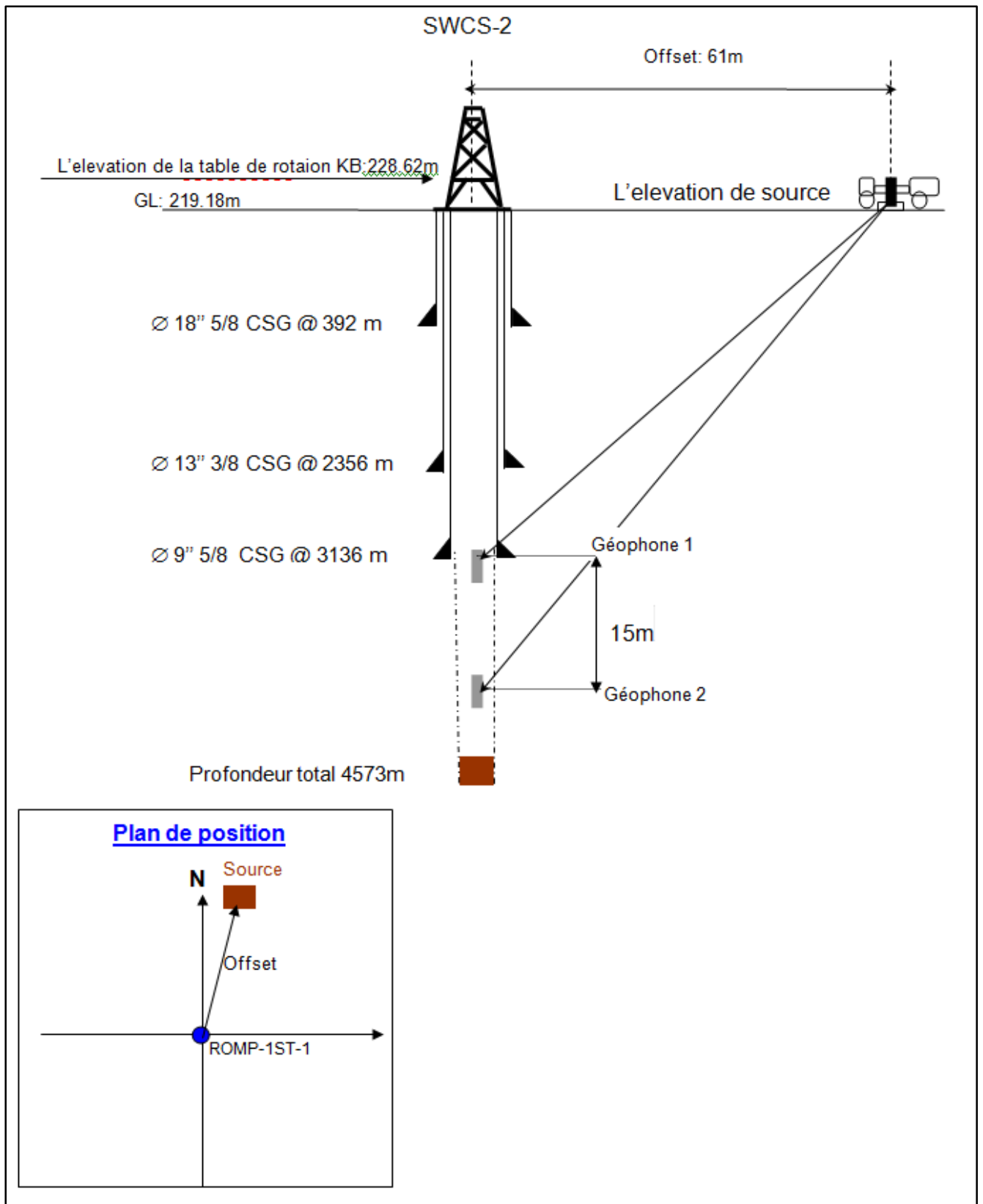


Figure III-1: Schéma synoptique de la sonde et dispositif d'acquisition du PSV.

III-4) Traitement du PSV zéro offset:

III-4-1) Les données brutes :

L'enregistrement du PSV brut des trois composantes (une composante verticale V_z , et deux composantes horizontales (H_x & H_y) obtenu au niveau du puits est illustré par le planche 01. Les données sont importées dans VSPOWESS en format SEG-Y obtenu par laboratoire SERCEL.

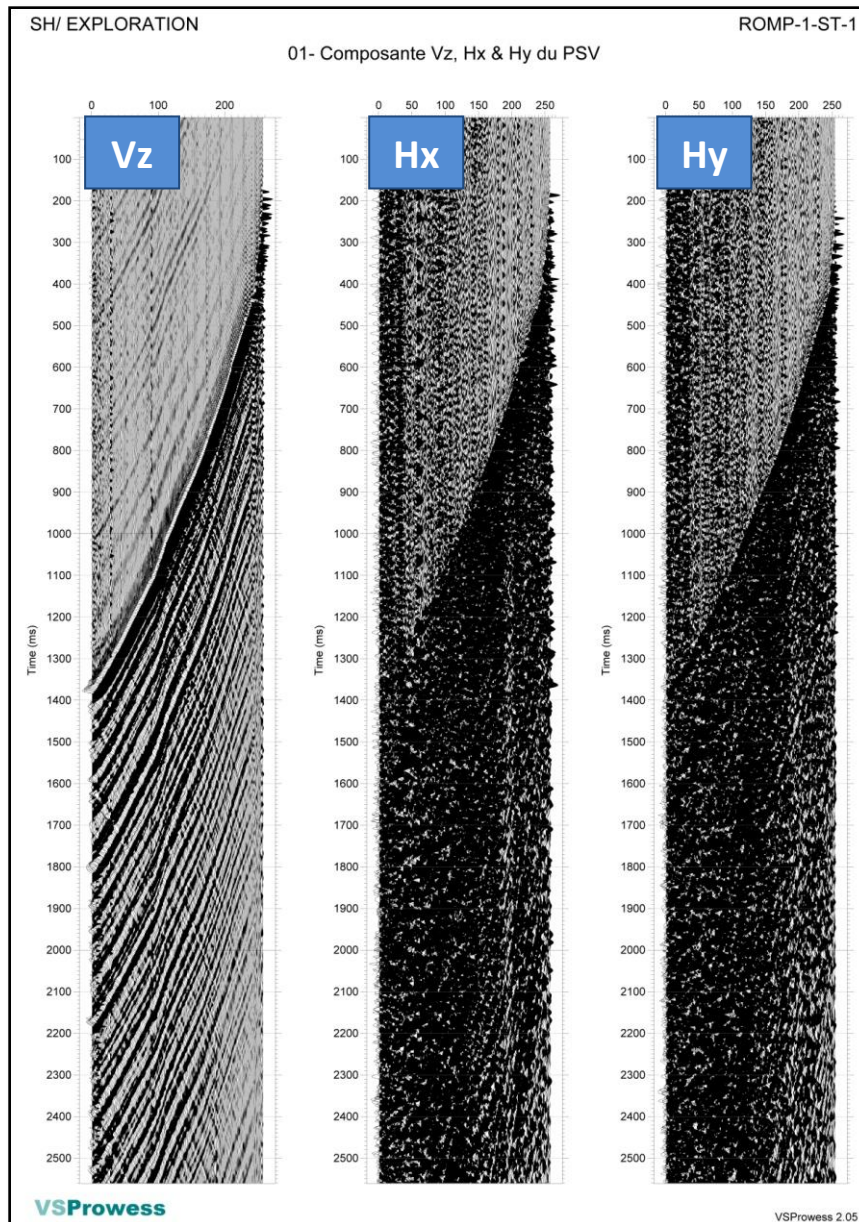


Planche 01 : composantes V_z , H_x et H_y du PSV.

La trace V_z représente l'enregistrement des ondes de compression P avec un rapport signal / bruit moins que celui des composantes H_x et H_y qui représentent l'enregistrement des ondes de cisaillements S.

III-4-2) Le choix de la composante verticale V_z :

Les différents types d'ondes enregistrés lors d'un PSV sont de type P et S montantes et descendantes. Puisque l'enregistrement effectué est un PSV à zéro offset, on s'intéresse à la composante verticale V_z , parce que les ondes S ne sont pas favorisées, et les composantes H_x H_y sont des traces bruitées.

La planche 2 représente la composante verticale V_z .

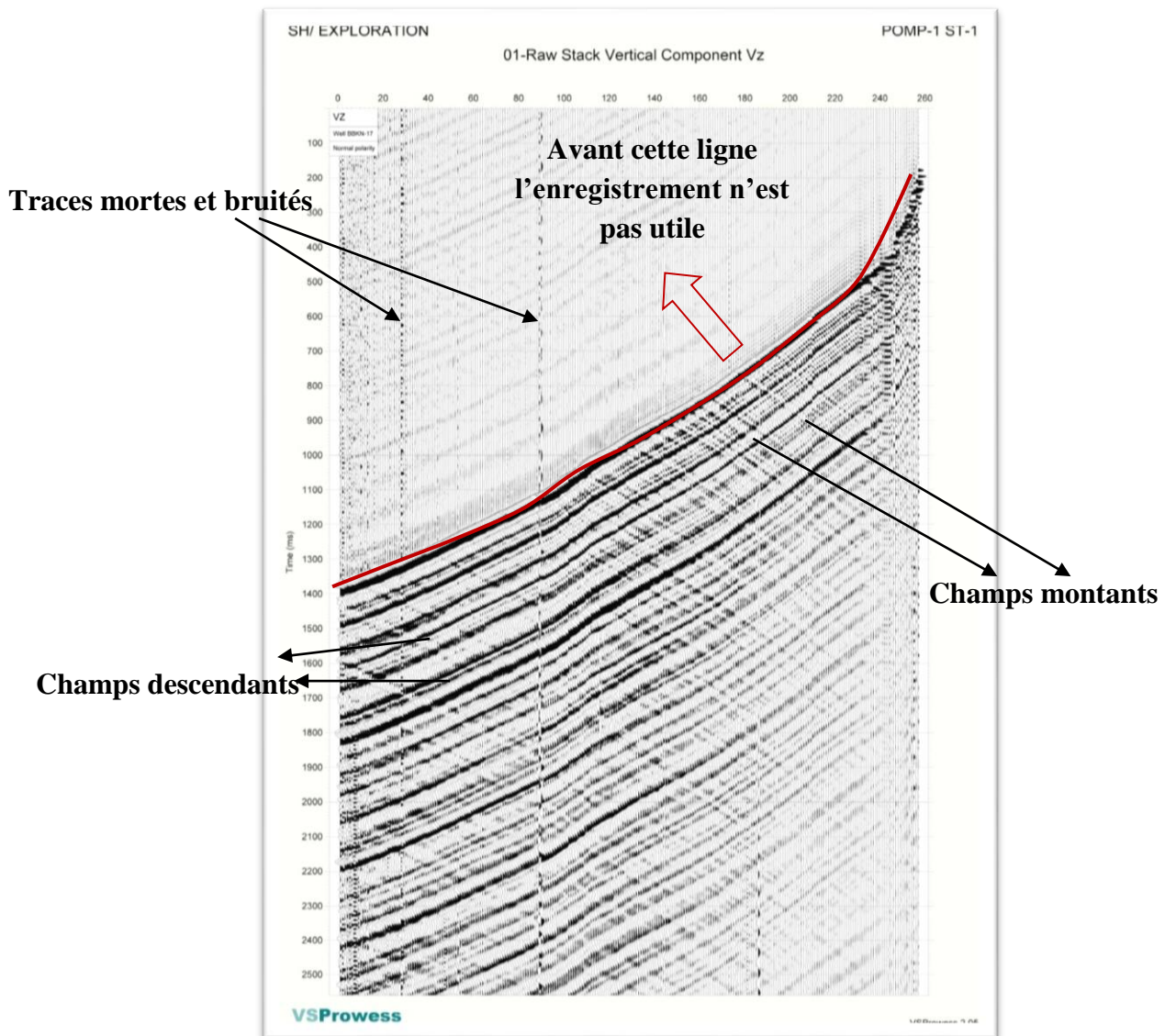


Planche 02 : La composante V_z brute.

Les étapes qui suivent vont servir à éliminer les bruits et toute information inutile.

Pour accéder à l'information utile, on exécute plusieurs étapes de traitement qui sont illustrées dans le schéma suivant :

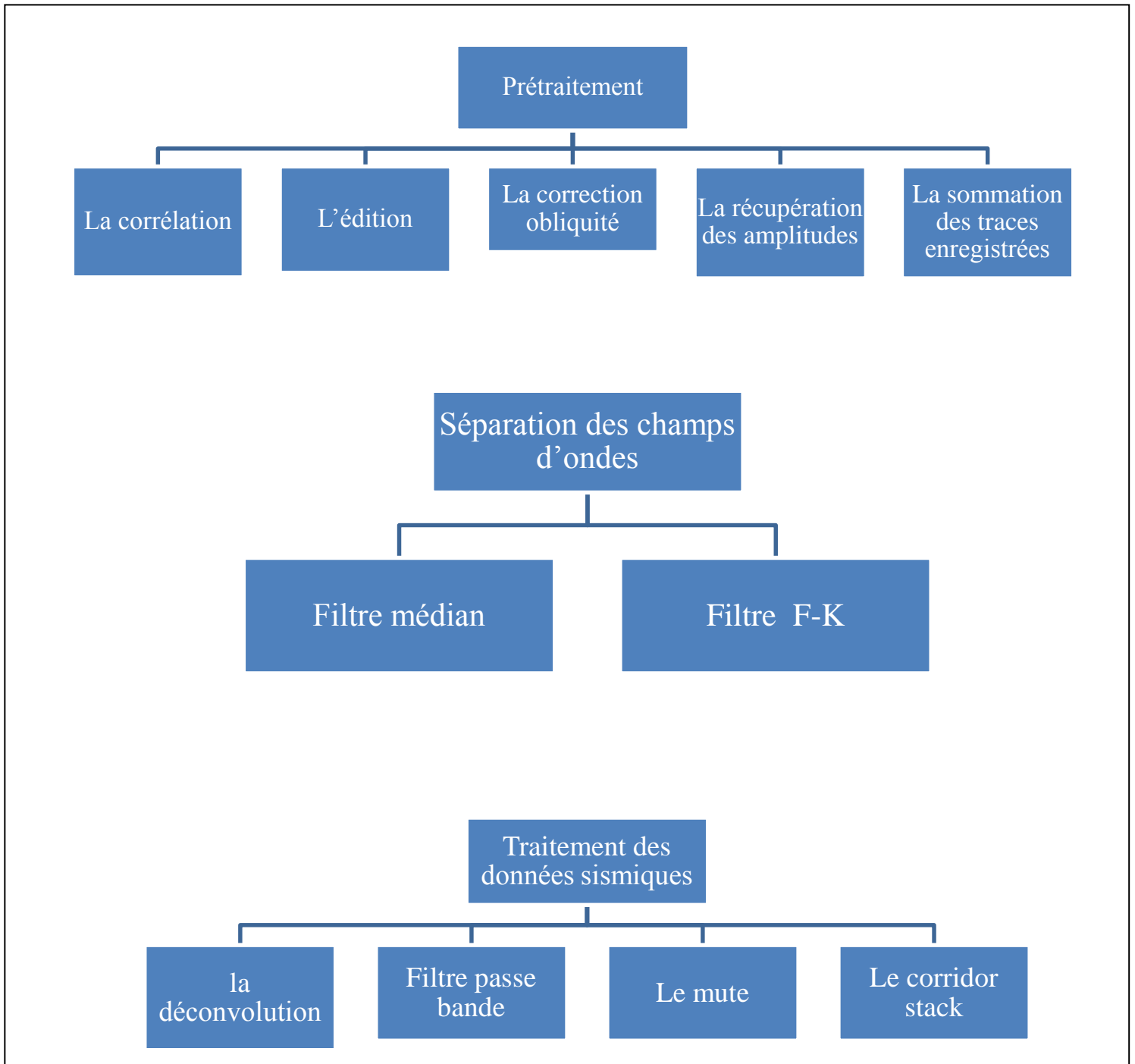


Figure : Les différentes séquences de traitement du VSP zéro offset.

III-4-3) Prétraitement :

III-4-3-1) Corrélation :

La corrélation est faite pour toutes les traces de nos données, On obtient une impulsion sismique normale après la corrélation des traces équivalant à celles que l'on aurait dû enregistrer à condition que le signal émis par la source fût impulsionnel.

On observe bien que les réflexions sont bien visibles après la corrélation par rapport au donnée avant l'opération de corrélation.

Les planches 03 et 04 représentent les données avant et après la séquence de corrélation qui est exécutée sur le VSPowes par la commande **Correlate**.

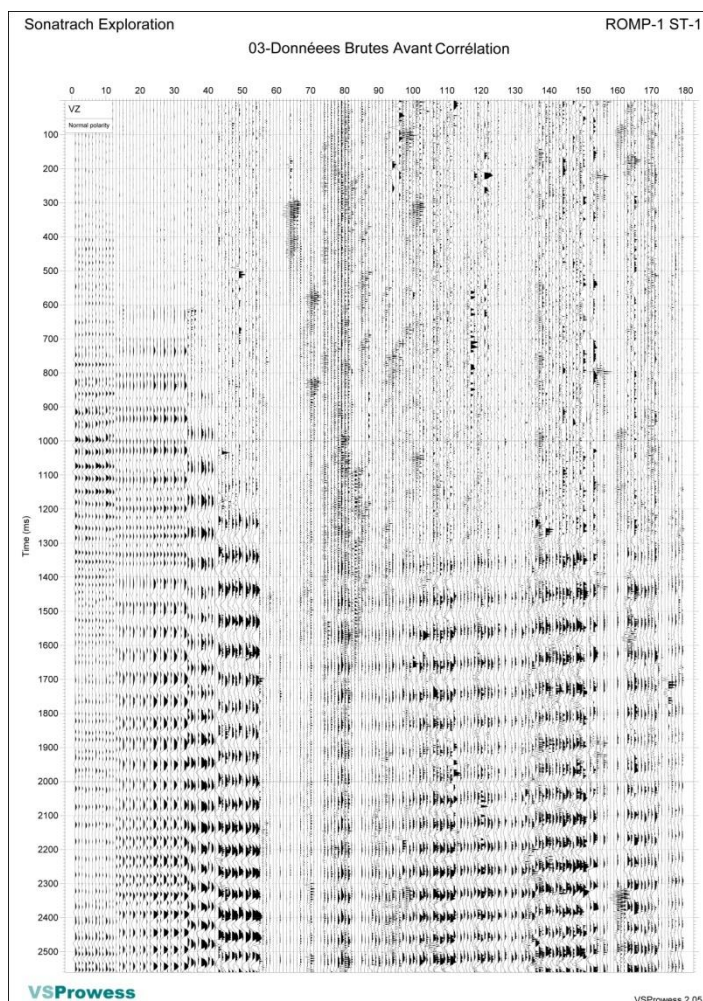


Planche 03 : Donnée brutes avant corrélation

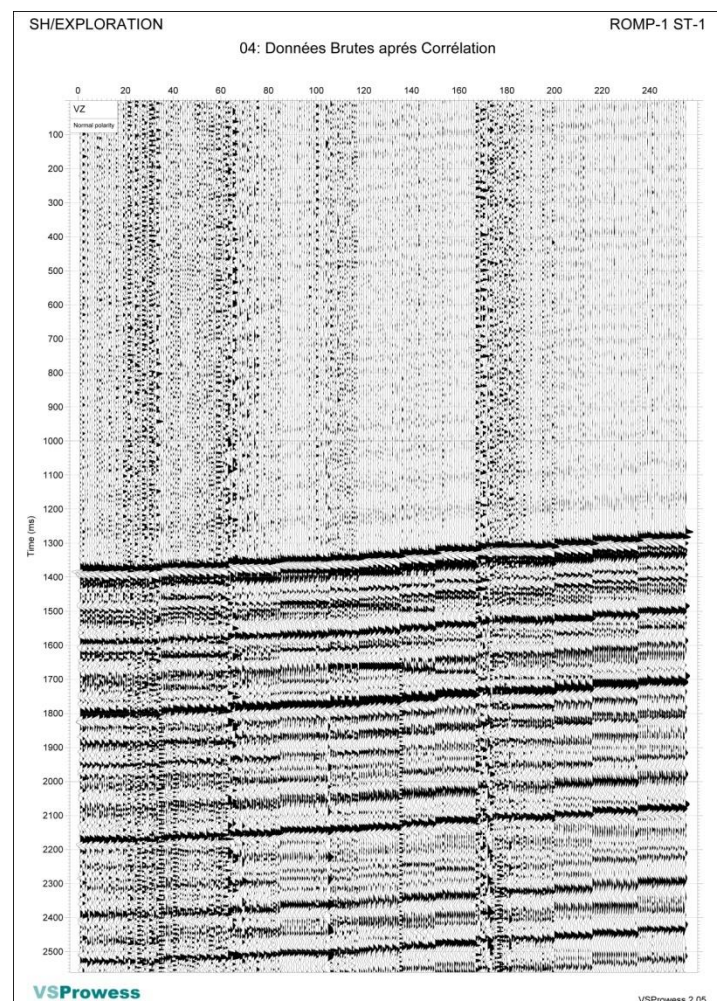
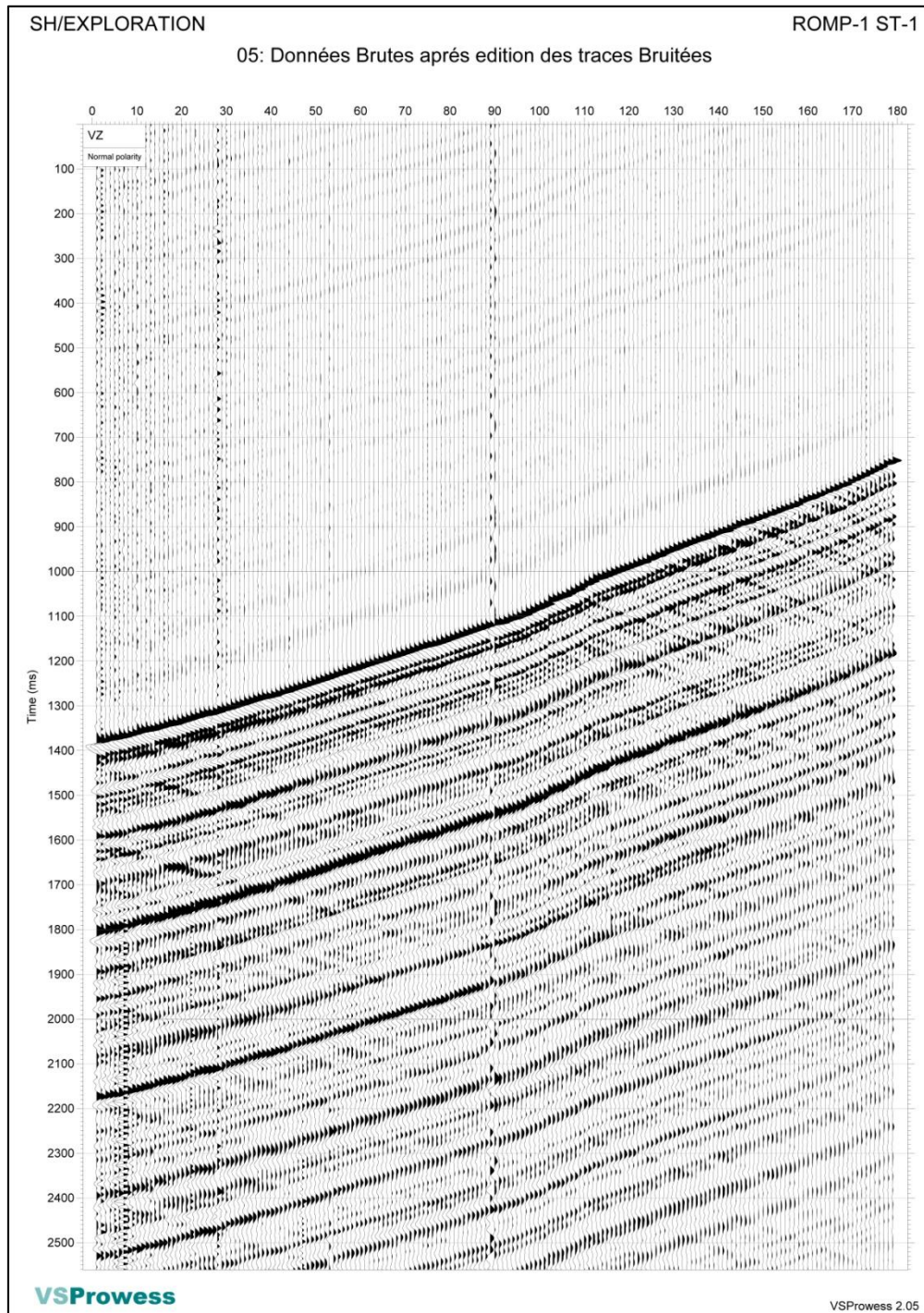


Planche 04 : Donnée brutes après corrélation

L'opération de corrélation.

III-4-3-2) L'édition :

Cette séquence a pour but de supprimer les traces bruitées et sélectionner les traces de bonne qualité, ainsi elle consiste à éliminer les traces mortes et changer toutes les traces de polarités inversées. La planche 05 représente les données brutes après l'édition.

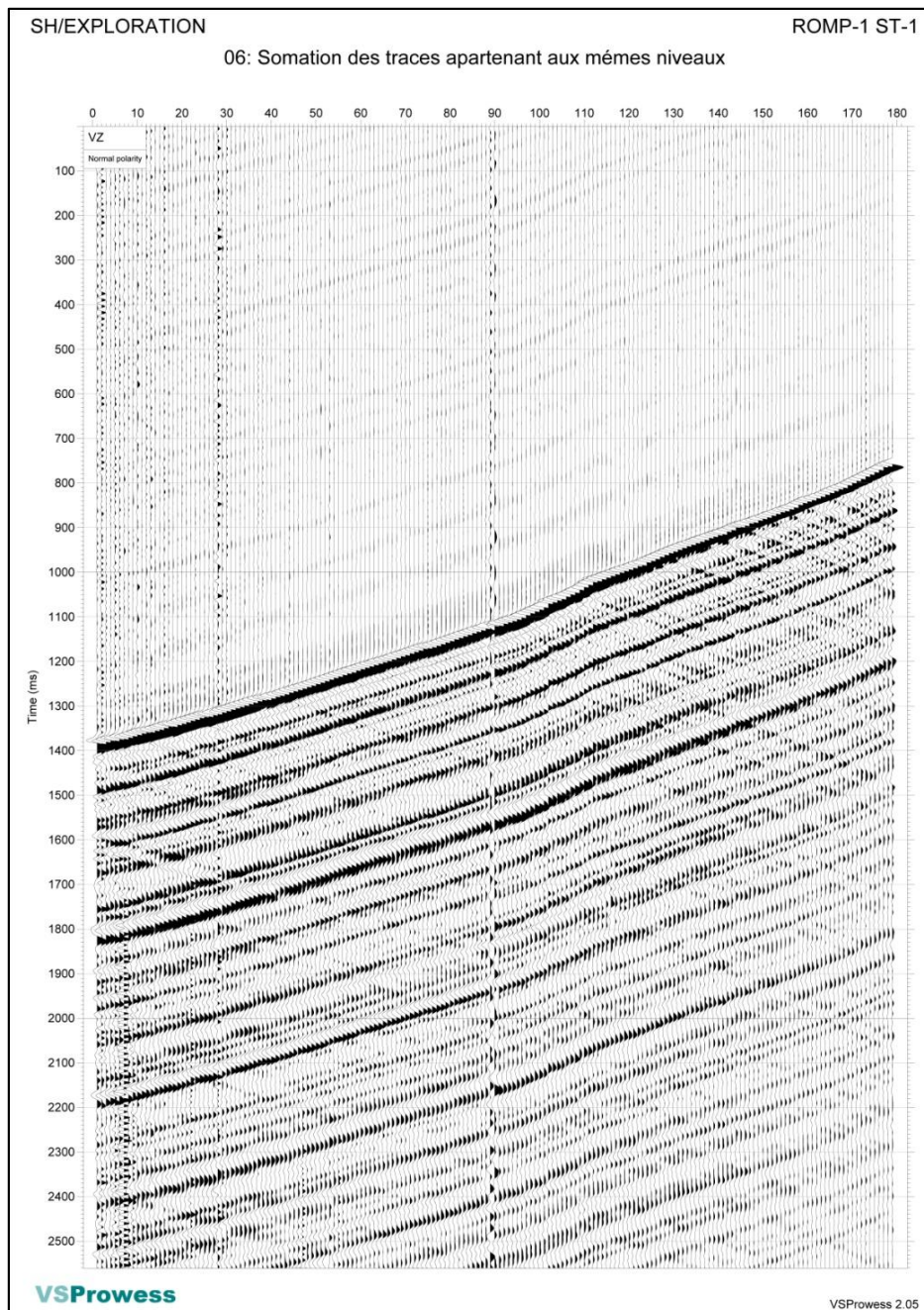


La planche 5 : Les données brutes après l'édition.

III-4-3-3) La sommation :

Cette séquence de traitement est désignée par « **Stack** » sur VSProwess. Sommation des traces appartenant aux mêmes niveaux (addition verticale).

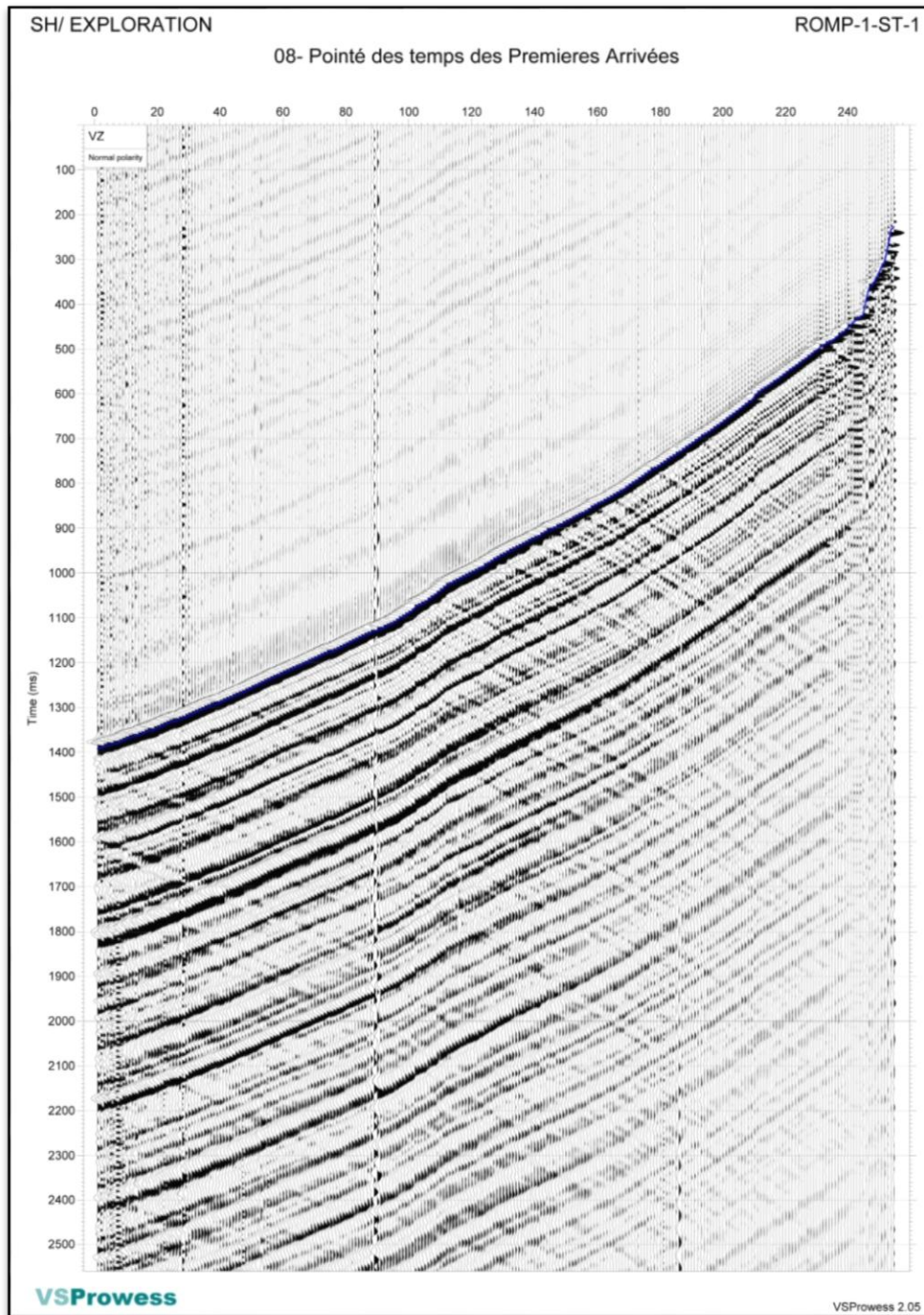
Nous avons représenté sur la planche 06 une trace somme pour chaque niveau, Sur cette planche, on remarque les différents types d'ondes (l'onde directe, les réflexions primaires, les multiples montants et descendants), on a une bonne amélioration du rapport signal sur bruit par rapport aux traces non sommées.



La planche 6 : Les données bruitées après la sommation des traces.

III-4-3-4) Le pointé des temps des premières arrivées :

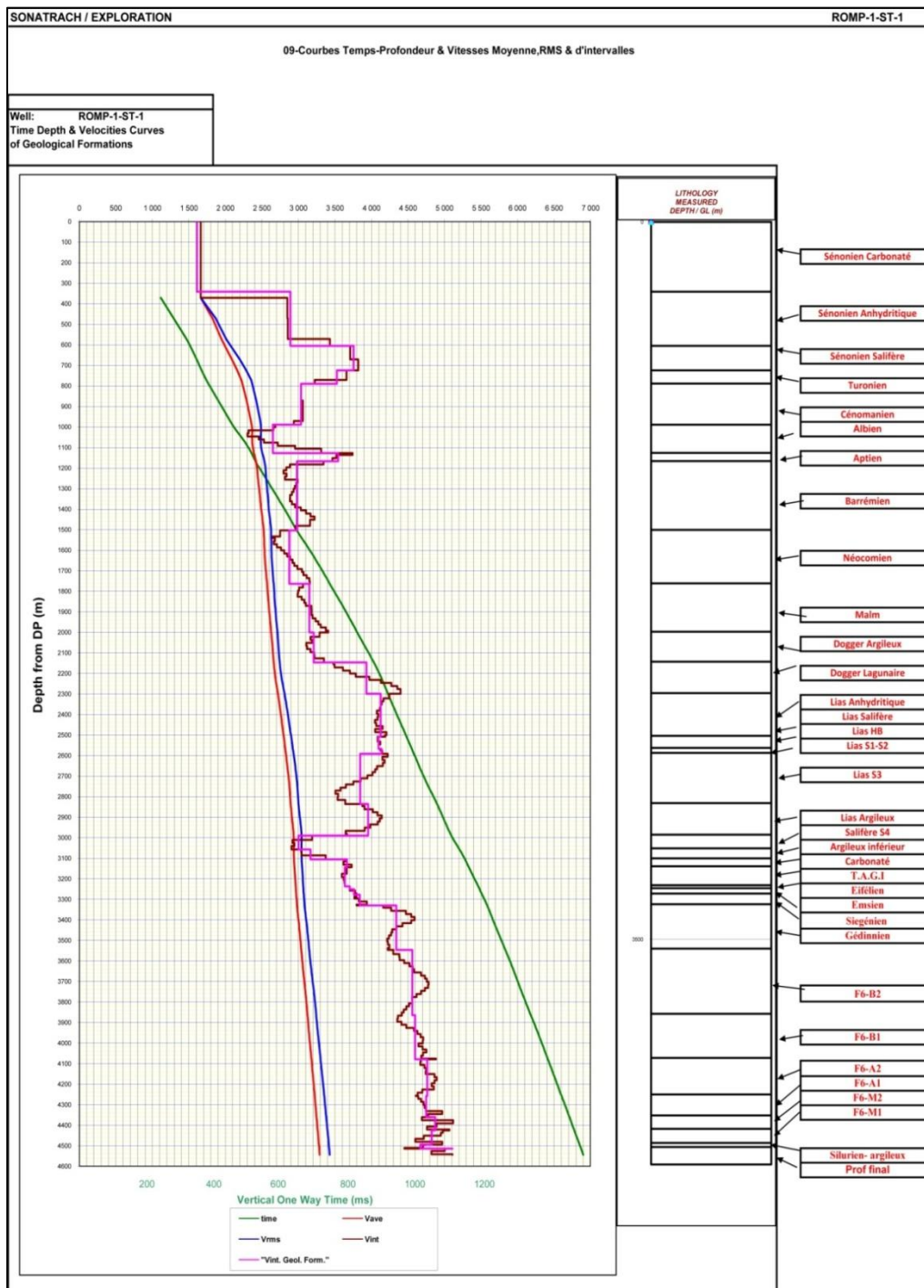
Cette séquence de traitement est désignée par **Auto-pick** sur le VSProwess. Cette étape consiste à pointer les temps des premières arrivées (**planche 7**), Ces valeurs de temps pointées fournissent une loi temps – profondeur, elles sont utilisé pour l'établissement d'une courbe $T=f(H)$. Cette courbe est parfois utilisée pour calculer les différentes vitesses (vitesse intervalle, vitesse RMS et vitesse moyenne), et le pointé sera utilisé pour l'horizontalisation des champs d'ondes montantes et descendantes.



La planche 7 : le pointé des temps des premières arrivées.

- **calcul des vitesses :**

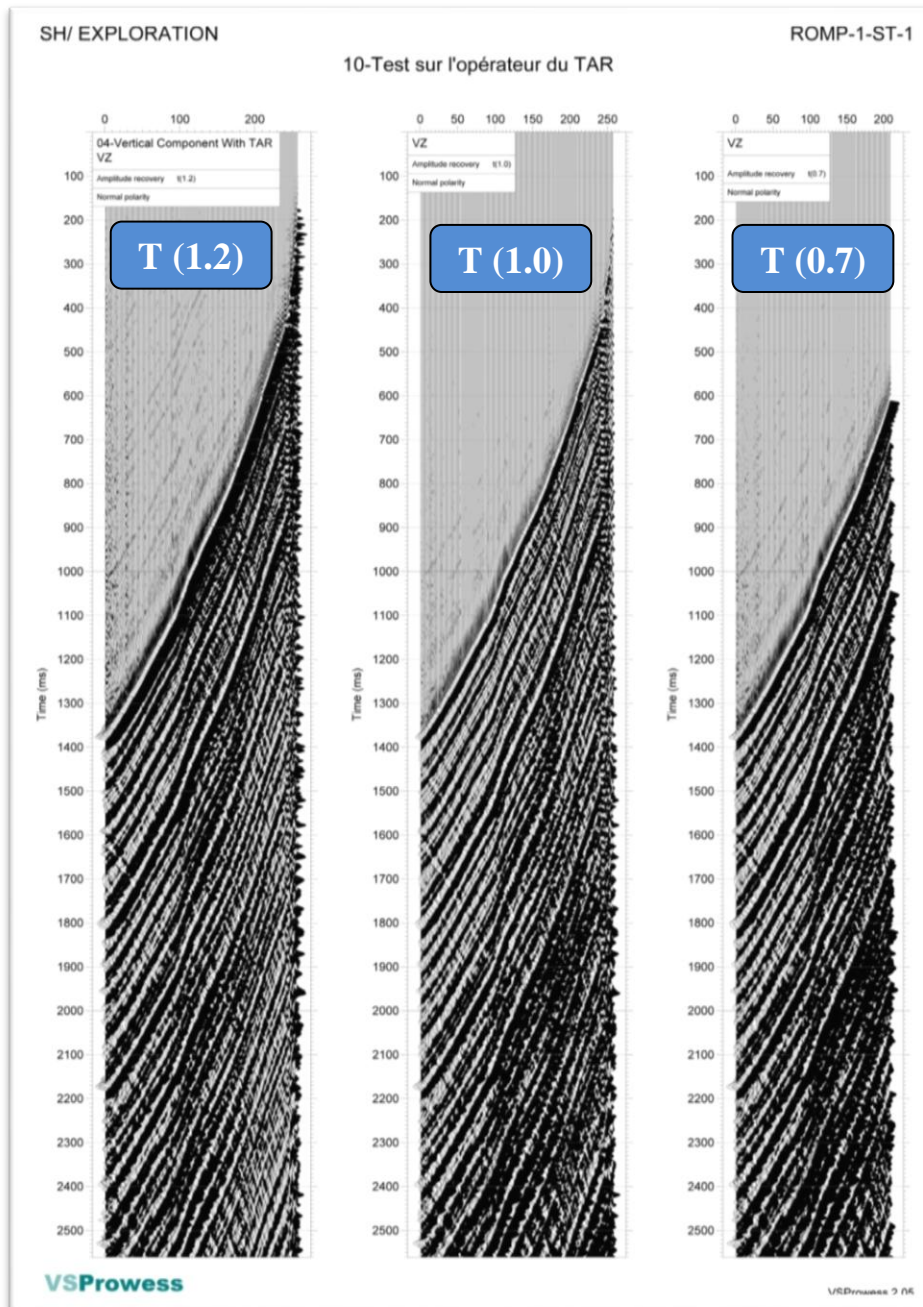
Les temps observés des premières arrivées pour chaque niveau sont convertis en temps verticaux (correction d'obliquité), ramenés au niveau de la surface (ground level GL = élévation de la tête de puits) situé à 219.18 m au-dessus du niveau moyen de la mer (MSL). Les temps et les profondeurs corrigés au même plan de référence (**planche 08**) seront utilisés pour le calcul des vitesses moyennes, vitesses RMS et d'intervalle (**tableau 2- annexe I**).



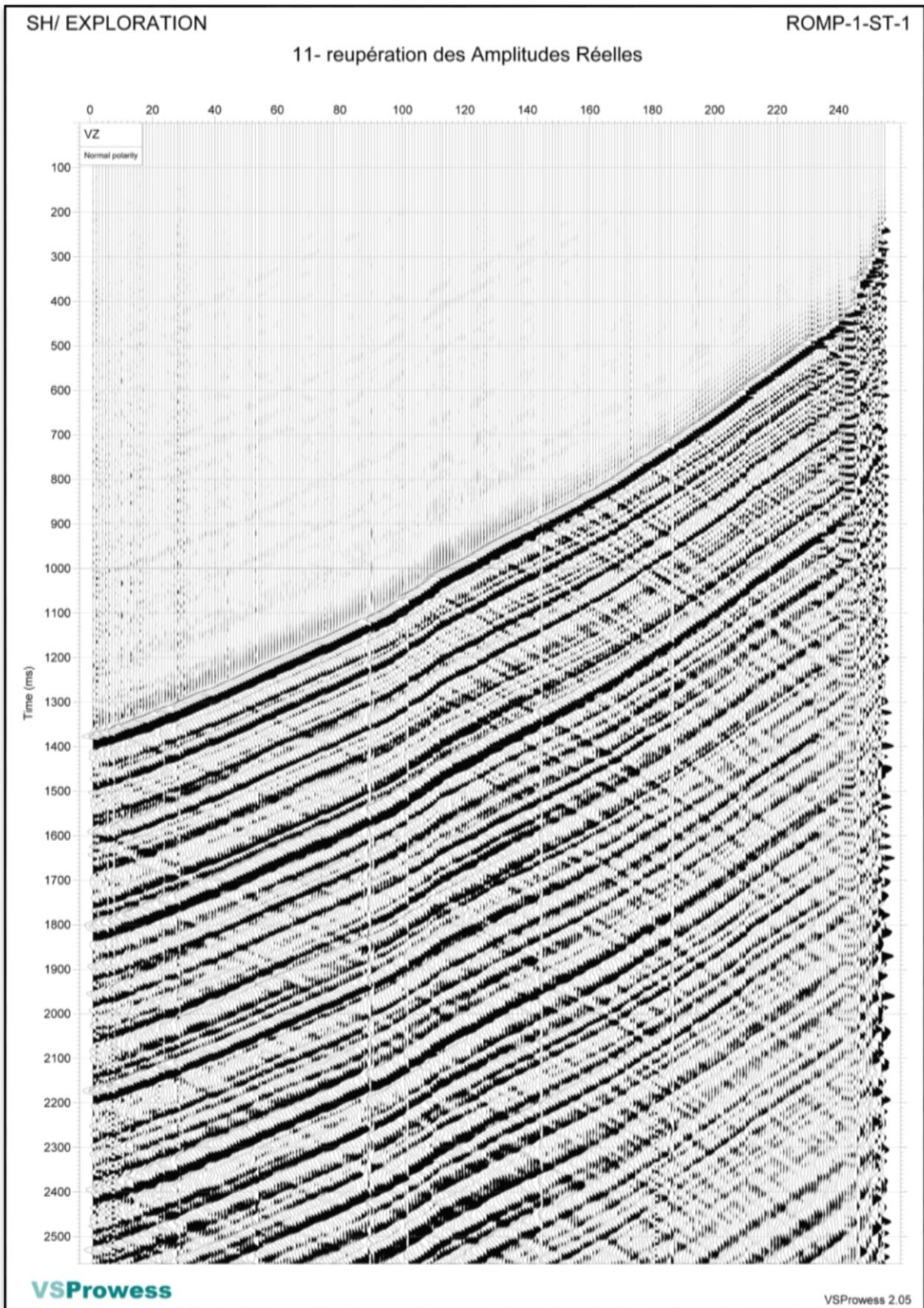
La planche 08 : le pointé des premières arrivées.

III-4-3-5) Récupération des amplitudes réelles (TAR) :

La séquence (TAR) est appliquée pour la compensation des pertes d'énergies due à la divergence sphérique et à l'absorption afin de récupérer les amplitudes réelles. Pour cela nous avons appliqué plusieurs tests pour avoir une meilleure visualisation en utilisant une courbe de gain définie par la fonction T^n , tel que la constante n varie entre (0.7, 1.0, 1.2). La planche 9 représente les différents résultats des tests. Nous avons choisi l'exposant $n=1.2$ représenté sur la planche 10. Cette séquence de traitement est désignée par **Tramp** sur le **VSProwess**.



La planche 9 : les résultats des tests TAR

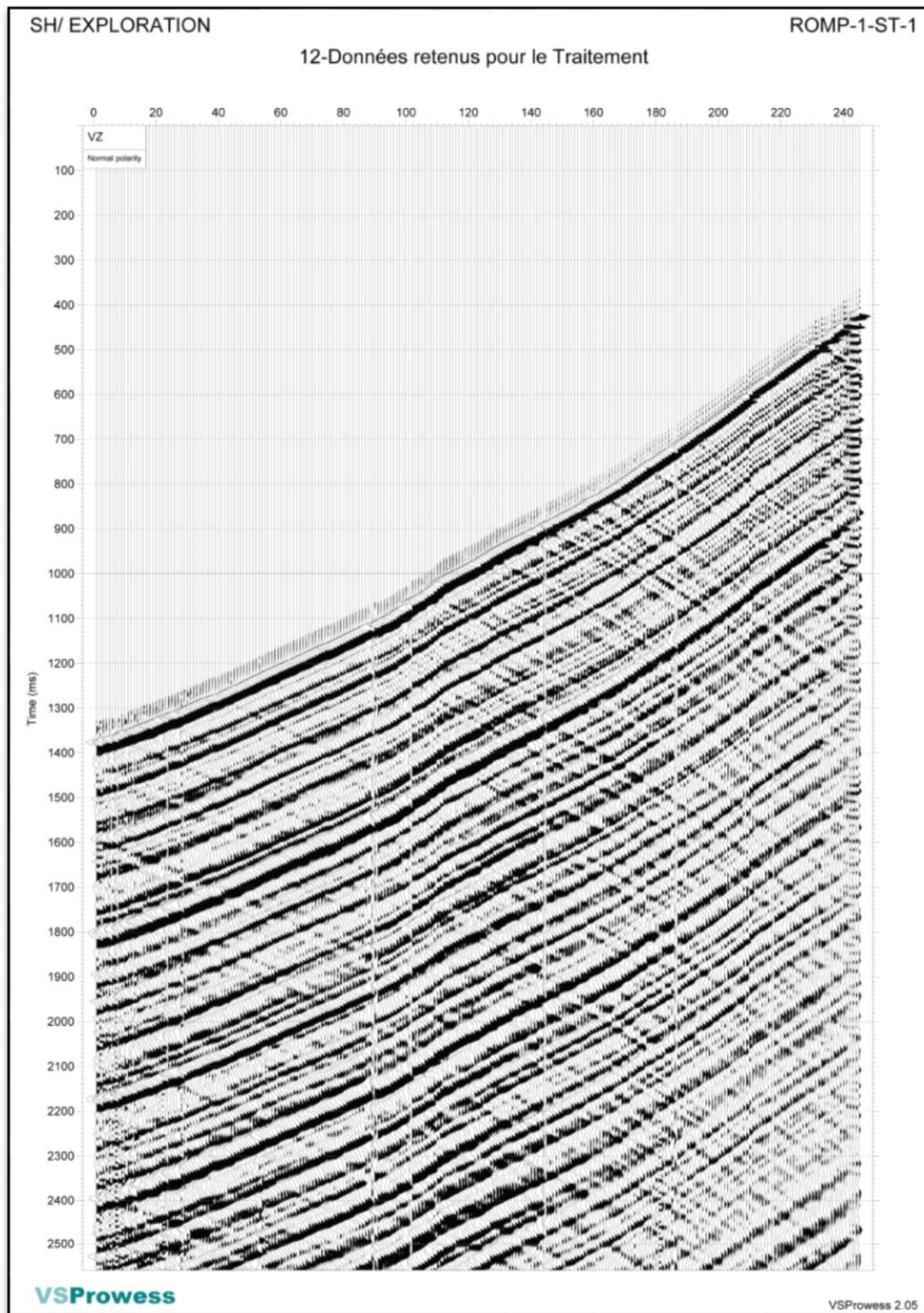


La planche 10 : récupération des amplitudes réelles.

Chapitre III : Application sur des données réelles

Les 243 niveaux répartis entre 1018m et 4573m sont enregistrés avec un pas de 15m. Par contre l'intervalle entre 800m et 225m devient plus large est variable. Nous sommes intéressés aux niveaux supérieurs à 1018m. Donc nous avons les données prêtes pour les différentes séquences de traitement.

La planche 11 représente les données retenues pour le traitement.



La planche 11 : représente les données retenues pour le traitement.

III-4-4) Séparation des champs d'ondes :

La séparation des ondes montantes et descendantes peut être réalisée par deux manières :

- Filtre médian.
- Filtre f-k.

III-4-4-1) La séparation des champs d'ondes par le filtre médian :

- L'horizontalisation des ondes descendantes :

Pour l'aligner le champ d'ondes descendantes, Chaque trace est décalée par la valeur de temps de la première arrivée du signal de référence correspondant (soustraire le temps de première arrivée de toute trace du PSV). Cette séquence de traitement est désignée par **Tshift** sur le **VSProwess**. La planche 12 représente le champ d'ondes total aligné selon les ondes descendantes.

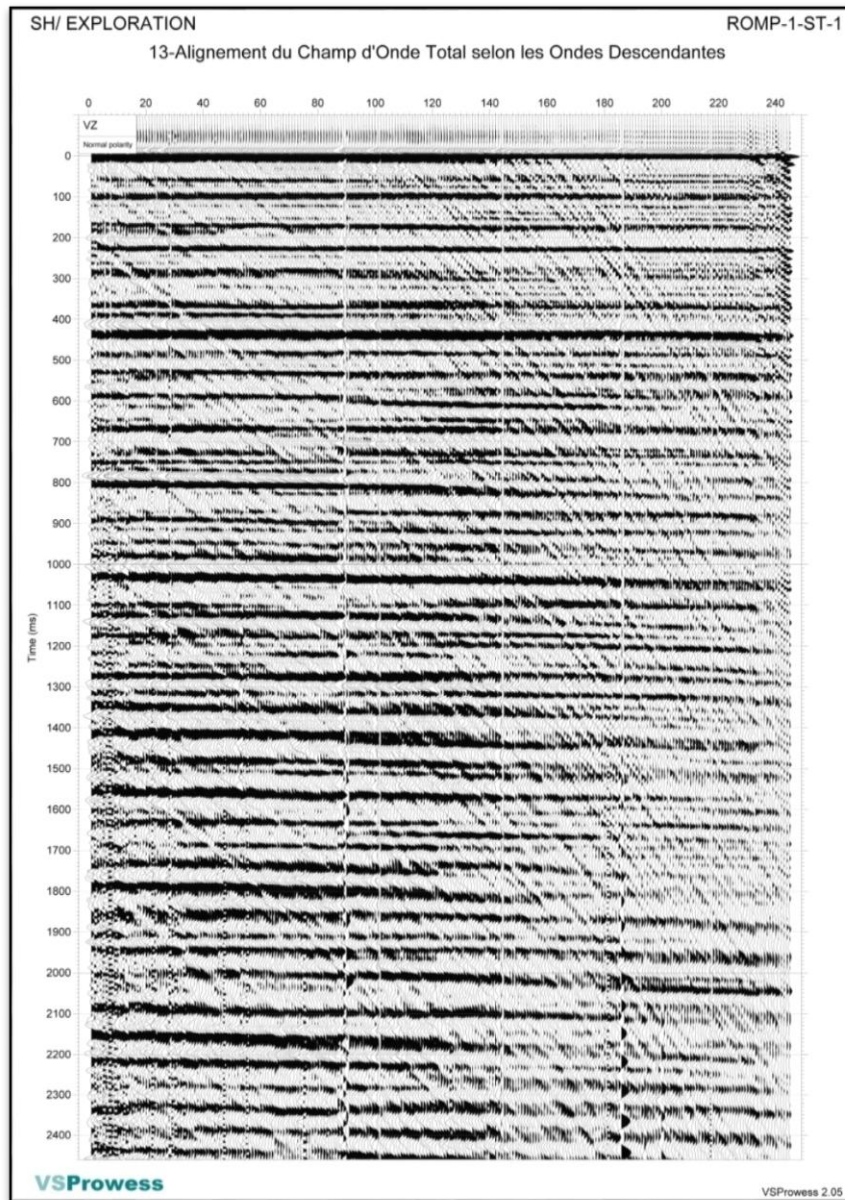


Planche 12 : le champ d'ondes total alignés.

- **L'application du filtre médian :**

Le filtre médian favorise les événements horizontaux, donc nous l'avons appliqué pour mettre en phase le champ des ondes descendantes horizontales et pour éliminer les ondes montantes, avec une fenêtre de 11 traces. Cette séquence de traitement est désignée par **Enhance** sur le **VSProwess**. Les résultats sont représentés sur la planche 13.

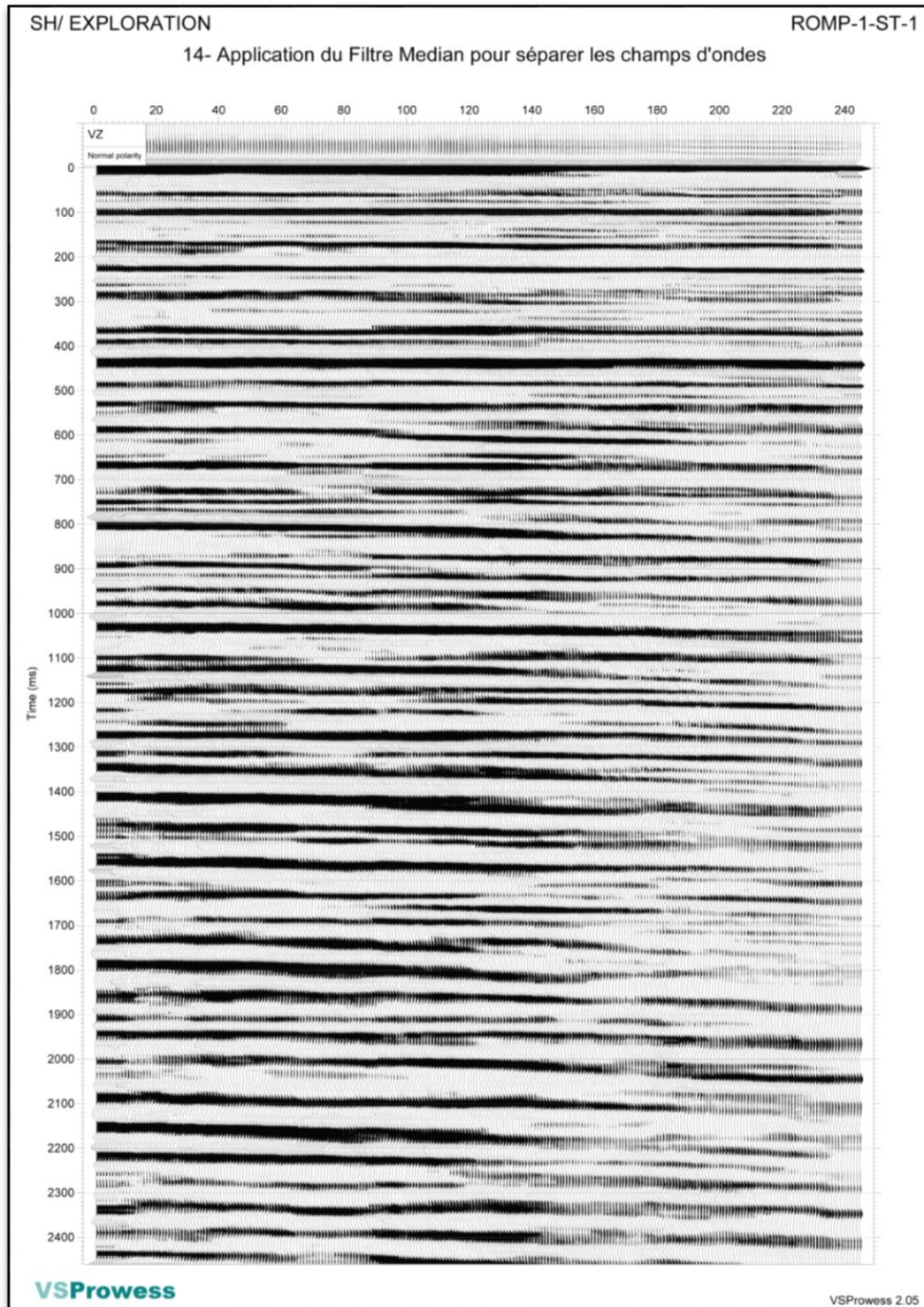


Planche 13 : L'application de filtre médiane.

- **Extraction du champ d'ondes montantes :**

La soustraction des ondes descendantes du champ d'ondes total aligné nous donnera le champ d'ondes montantes. Cette séquence de traitement est désignée par **subtract** sur le **VSProwess**. Les résultats sont représentés sur la planche 14.

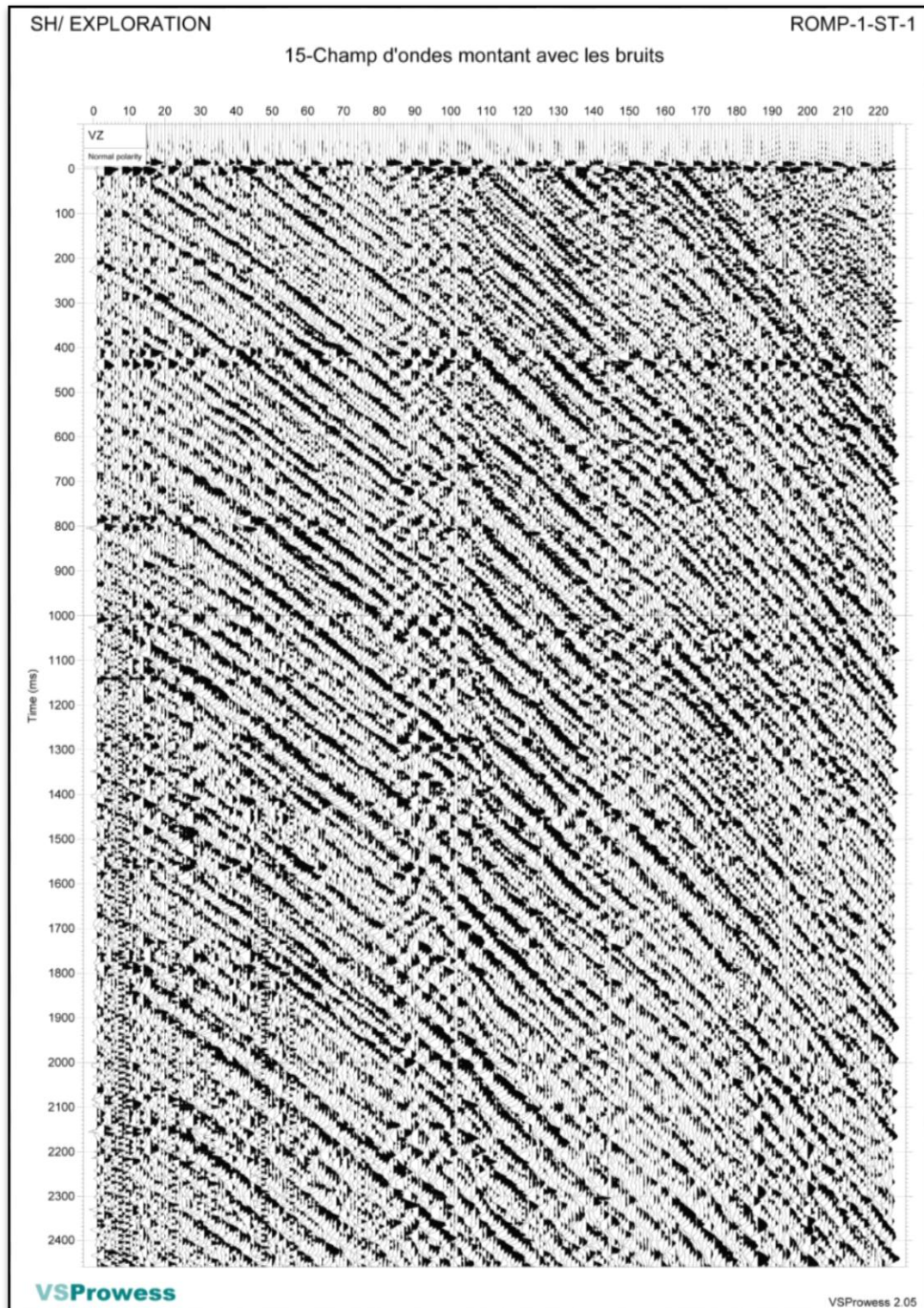


Planche 14 : champ d'ondes montantes avec bruits

III-4-4-2) L'application de filtre f-k :

- Représentation dans le Domaine f-k :

La planche 15 montre la représentation de PSV stacké dans le domaine (f-k). Les ondes descendantes sont caractériser par un contenu fréquentiel riche et une amélioration de la résolution sur les horizons surtout les plus profonds.

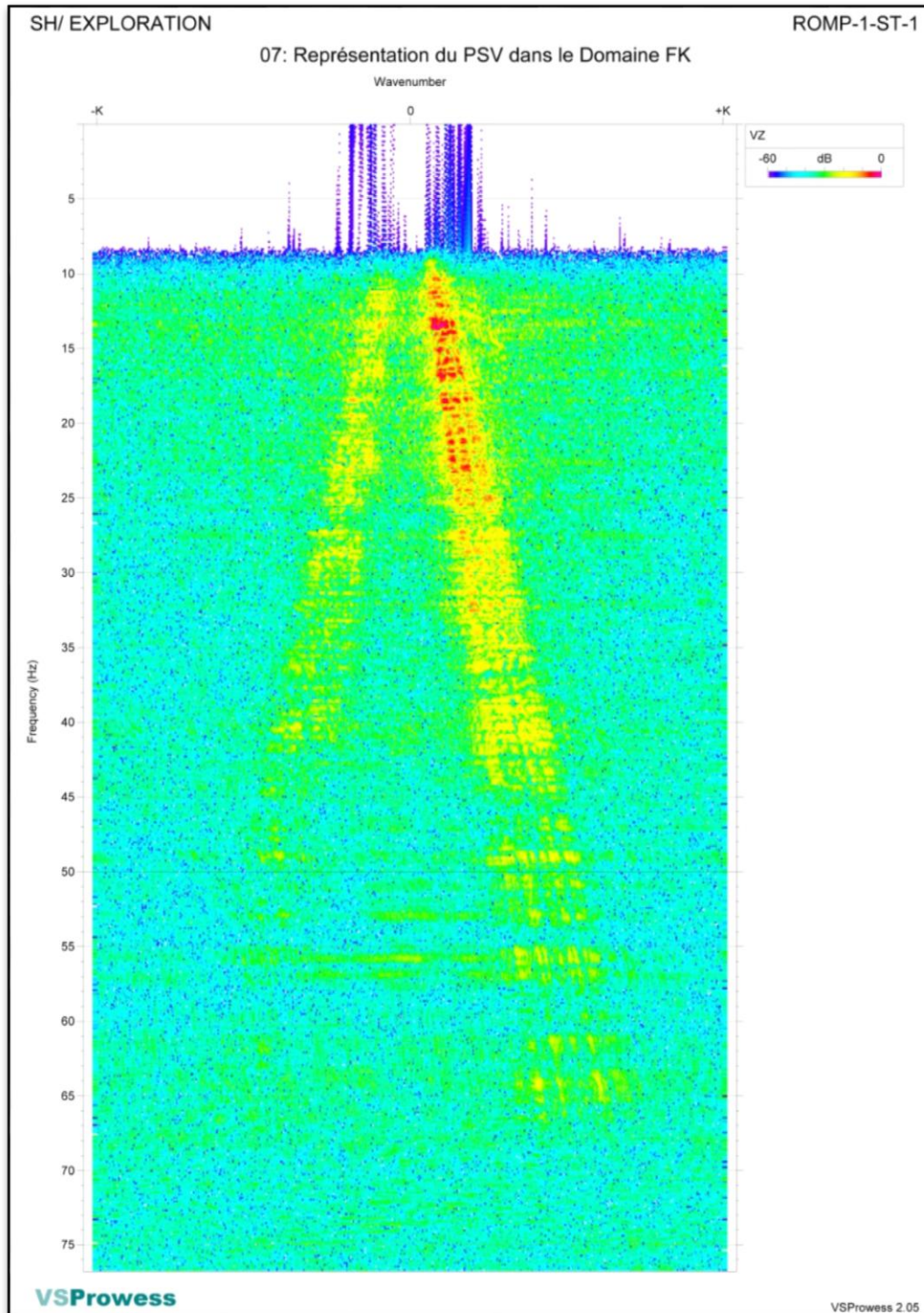


Planche 15 : représentation de PSV dans le domaine F-K

- **Alignement des ondes descendantes :**

Les ondes descendantes alignées sont déjà représentées dans la planche 13. On retranche à toute trace du PSV le temps de première arrivée.

- **Passage du domaine (t, z) au domaine (f,k) :**

On applique la transformée de Fourier 2D après l'alignement des ondes descendantes. Pour passer du domaine (t,z) au domaine (f,k), Cette séquence de traitement est exécutée par TXtoFX puis FXtoFK. La planche 16 montre la représentation du champ total dans le domaine f-k.

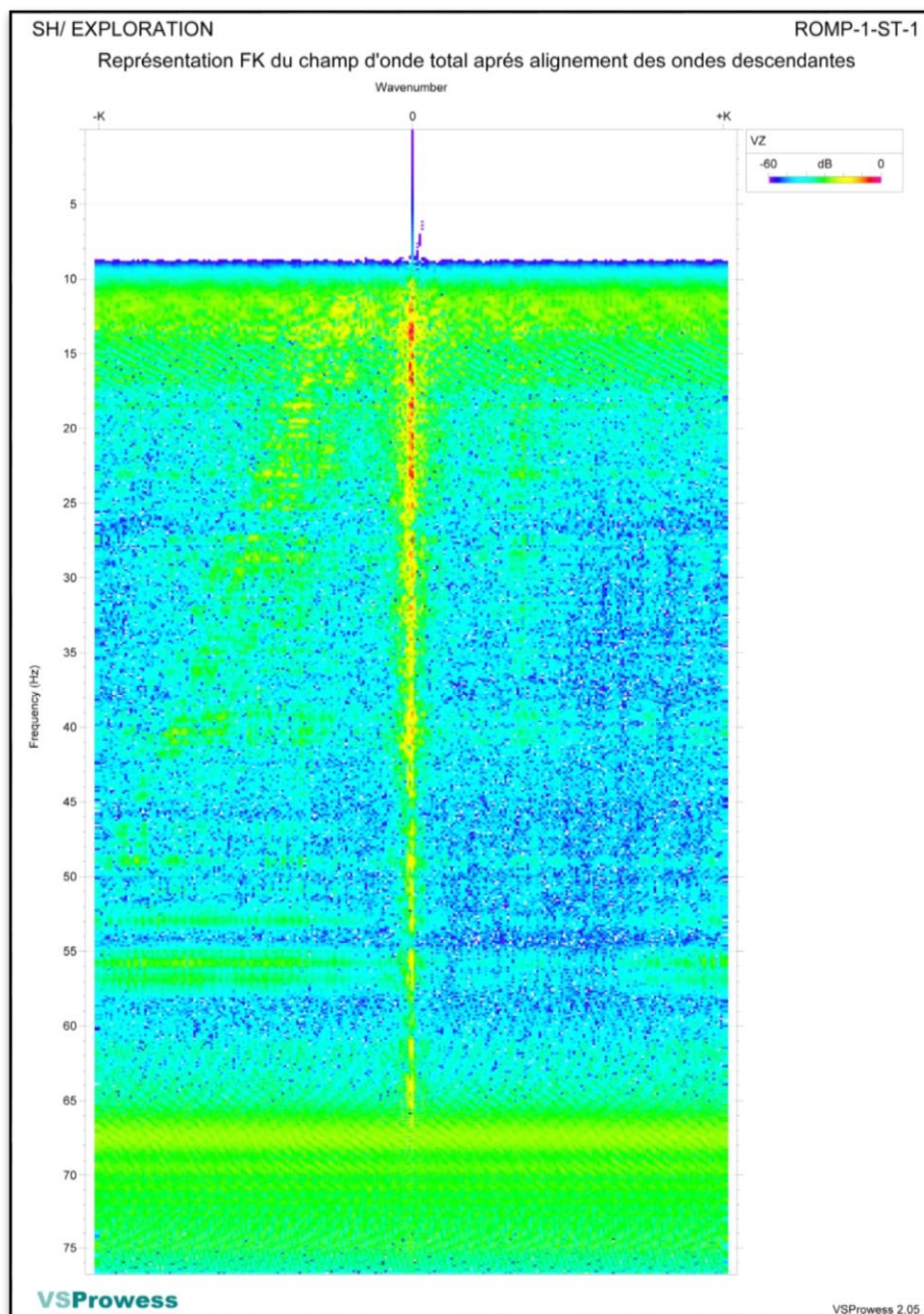


Planche 16 : représentation f-k du champ d'ondes total après l'alignement des ondes descendantes

- **Extraction du champ d'onde descendant :**

Extraction du champ d'onde descendant se fait par la multiplication de leurs amplitudes par l'unité (apparaît dans le demi-plan des nombres d'ondes positifs) et les amplitudes du champ d'onde montant par zéro pour le demi plan des nombres d'ondes négatifs). Il nous reste que les ondes descendantes alignées dans le domaine (f-k). Ce résultat est représenté sur la planche 17. La séquence est désignée par **FKfilter** dans le VSPROWESS.

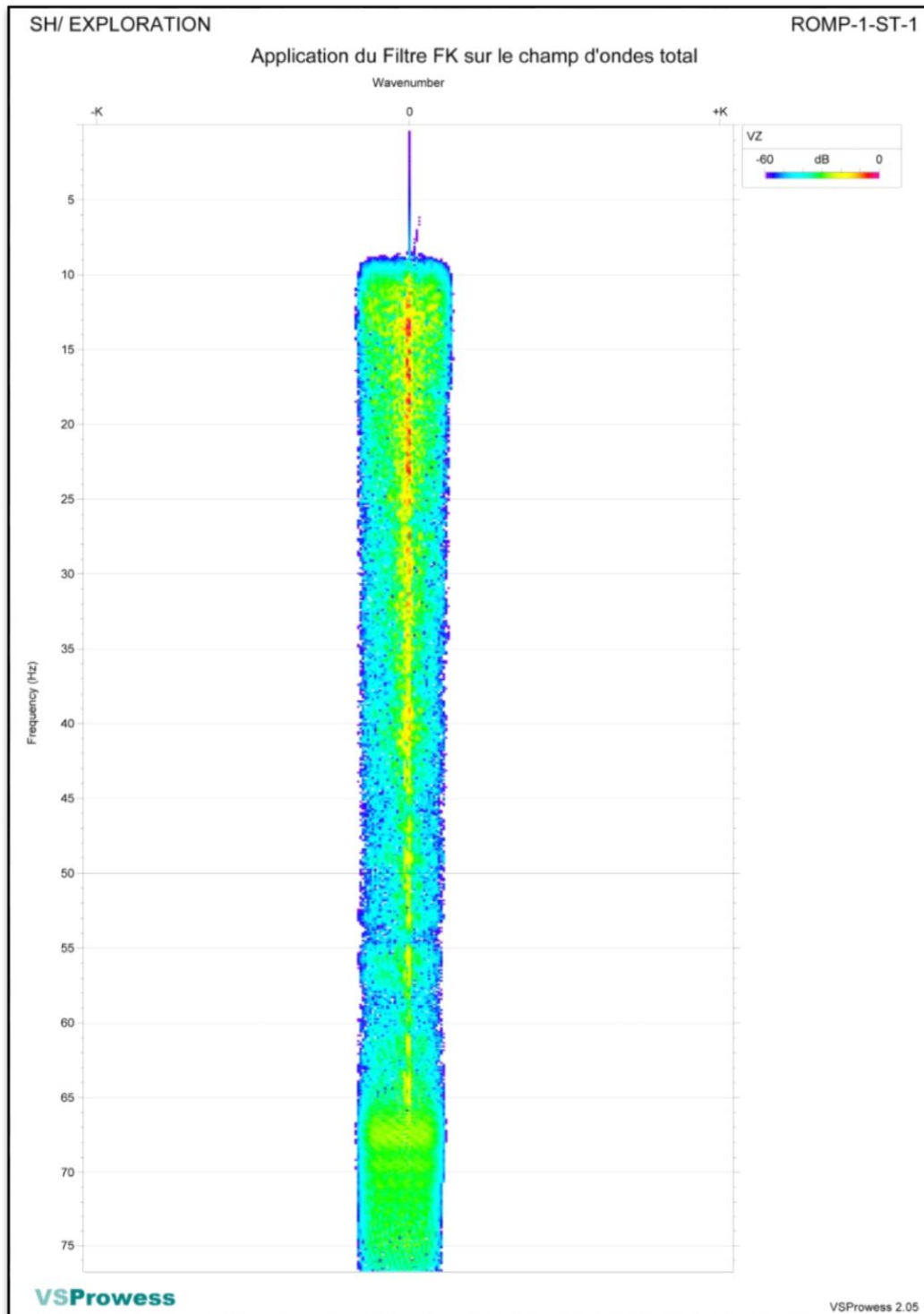


Planche 17 : application de filtre f-k sur le champ total.

- **La transformé de Fourier inverse TF^{-1} :**

Tous les événements montants maintenant sont atténués, il nous reste que les événements descendants mais dans le domaine f-k, donc l'application de la transformée de Fourier inverse nous permet de revenir du domaine f-k au domaine z-t. La planche 18 représente les champs d'ondes montantes obtenues par le filtre f-k. La séquence est désignée par FKtoFX puis FXtoTX sur le VSPowess.

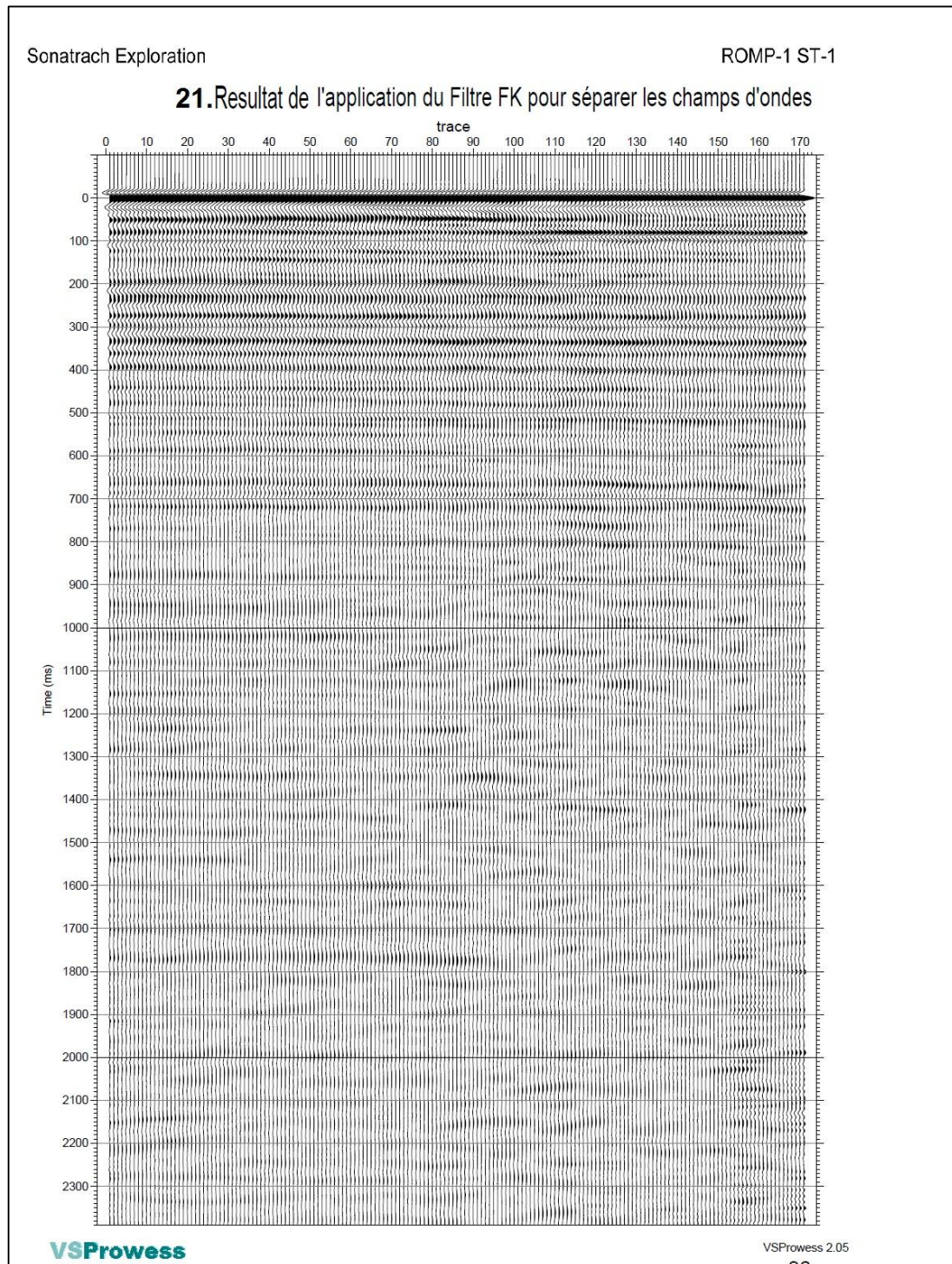
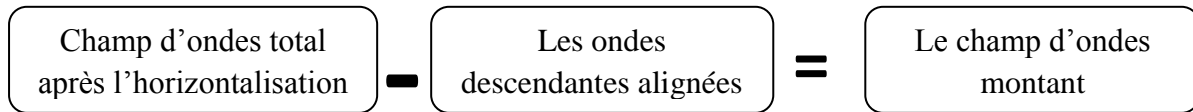


Planche 18 : résultat de l'application du filtre f-k pour séparer les champs d'ondes.

- **Extraction du champ d'ondes montantes :**

Pour obtenir le champ d'onde montant, on soustrait les ondes descendantes alignées du champ d'ondes total après l'horizontalisation. Le résultat est les ondes montantes avec les bruits.



Le résultat est représenté dans la planche 19.

La séquence est désignée par **Subtract** dans le VSPowess.

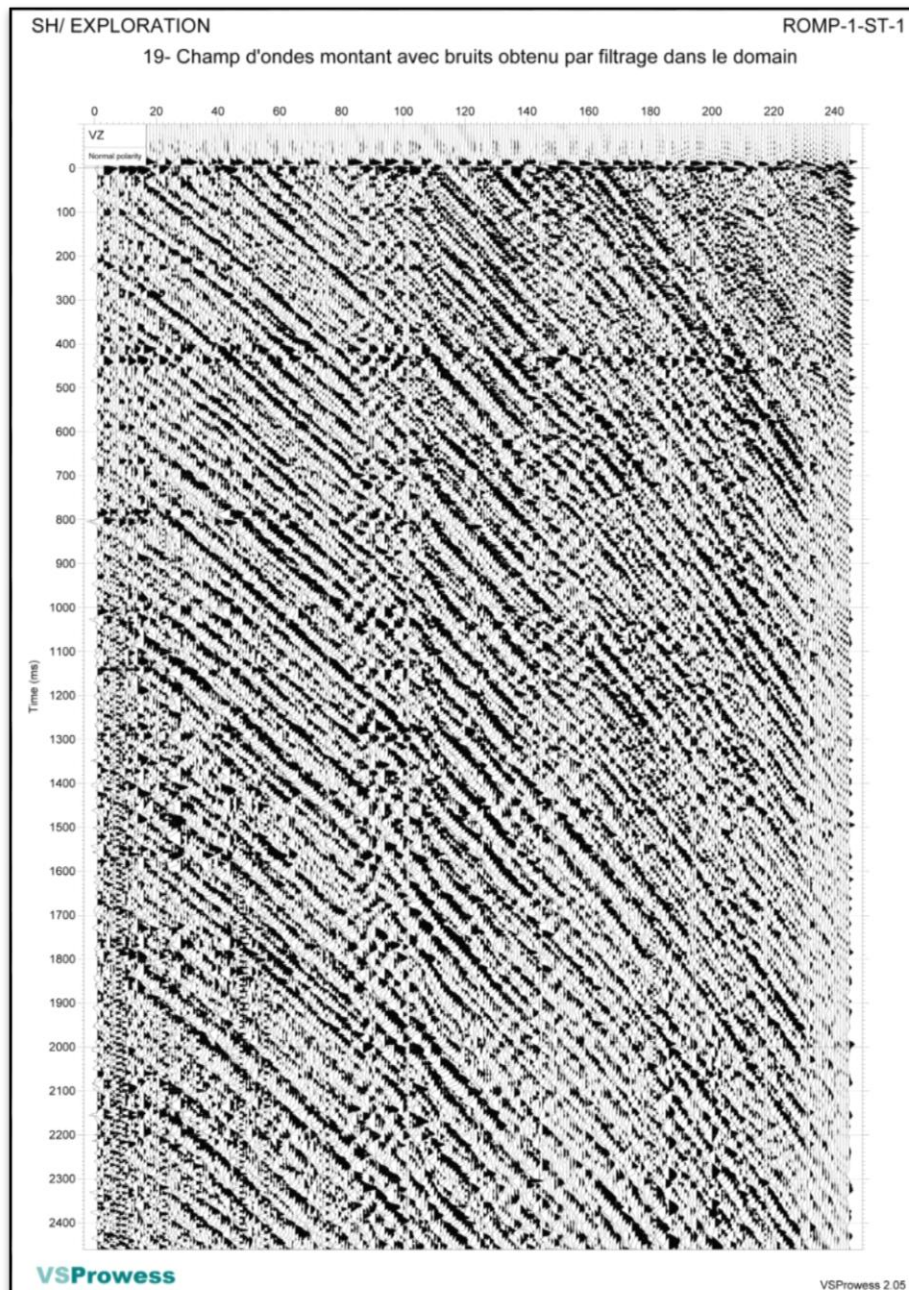


Planche 19 : les champs d'ondes montantes obtenues par le filtre f-k.

- **Alignement des ondes montantes :**

L'alignement des ondes montantes se fait en ajoutant à chaque trace deux fois le temps de sa première arrivées. On obtient une trace PSV en temps double semblable a la sismique de surface. La séquence est exécutée par **Tshift** sur le **VSPowess**. (Planche 20).

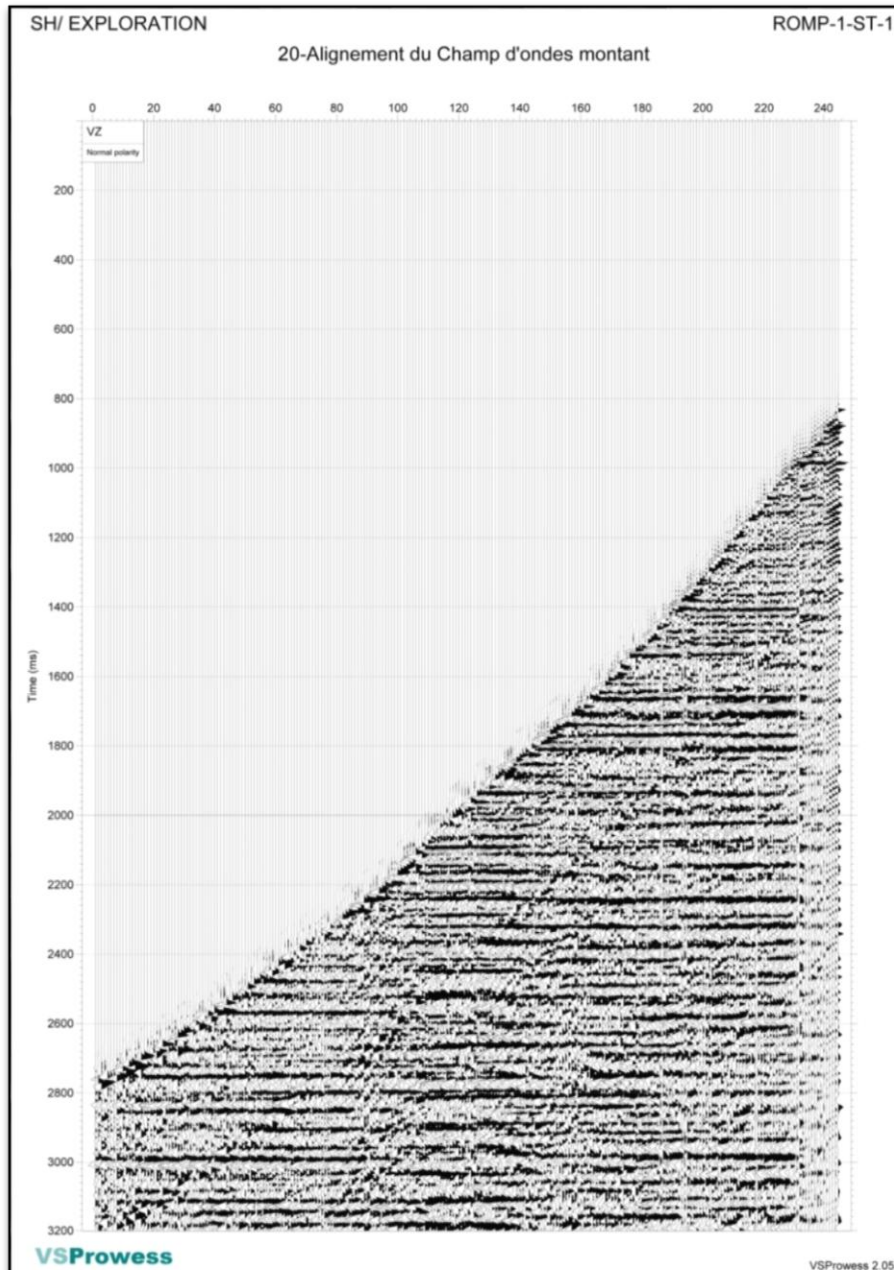
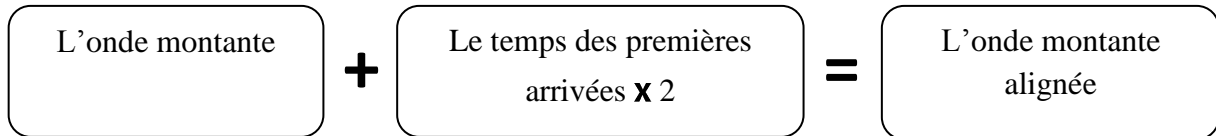


Planche 20 : Les ondes montantes alignées.

Afin d'améliorer le rapport signal sur bruit, on applique un autre filtre médian. Le résultat est représenté sur la planche 21.

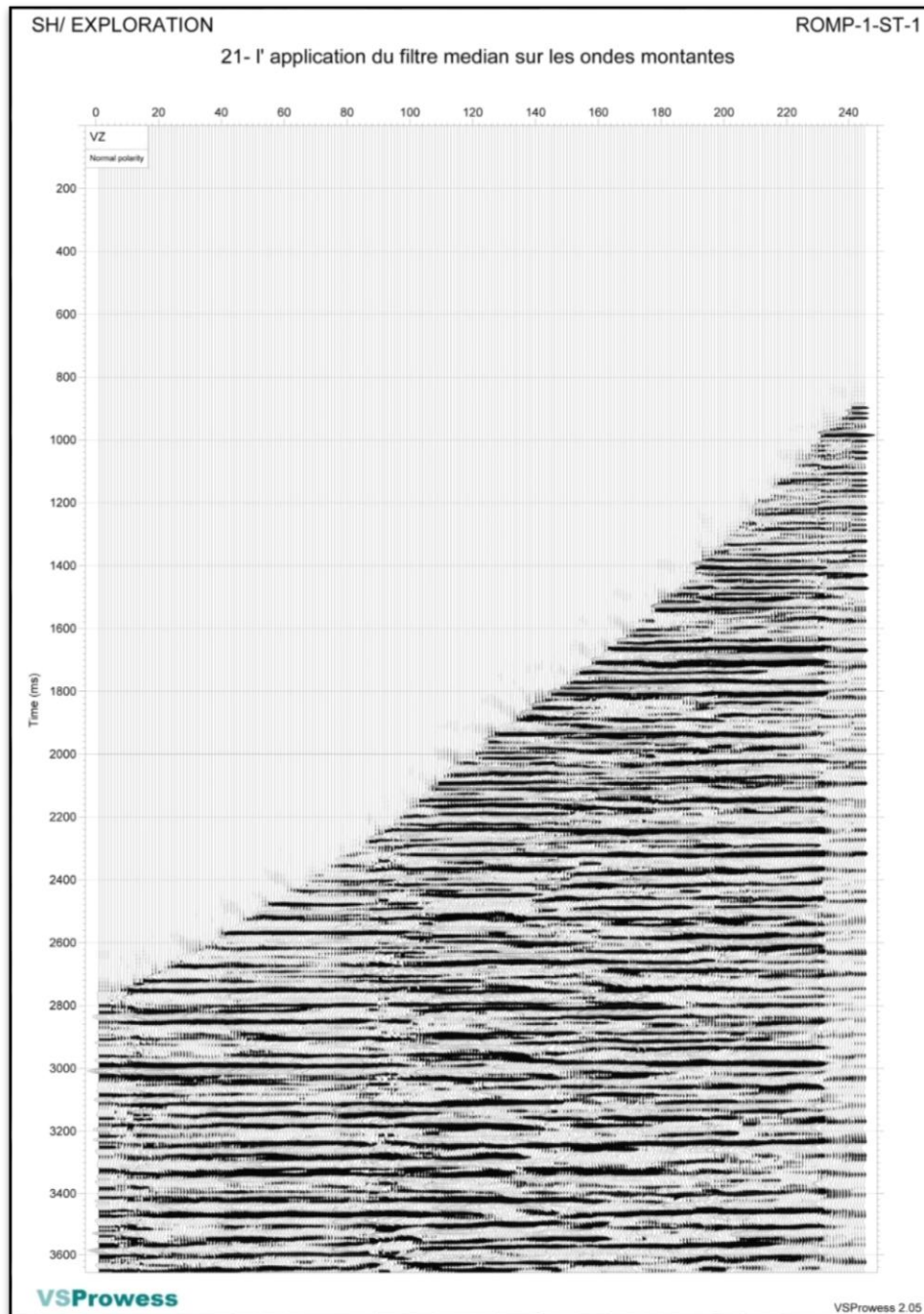


Planche 21 : application de filtre médiane.

III-4-5) Déconvolution :

La déconvolution permet de comprimer l'ondelette émise, et atténuer les réverbérations et les multiples, ainsi elle permet d'augmenter la résolution verticale et donne une meilleure représentation de réflecteur.

Après l'alignement d'ondes descendantes, on va calculer l'opérateur de déconvolution en utilisant les ondes descendantes horizontalités, mais avant cela on délimite sur les ondes descendantes une fenêtre de déconvolution de 1200 ms au voisinage de l'onde directe, afin de

l'appliquer sur les ondes montantes. A la même fenêtre précédente, on calcule le filtre inverse correspondant aux différents niveaux enregistrés.

Finalement, on applique la déconvolution aux ondes montantes. Le résultat de la déconvolution est une ondelette à zéro phase centrée au niveau des différents réflecteurs. Les ondes montantes déconvoluées sont représentées sur la planche 22. L'exécution de la séquence par **Deconvolve** sur VSProwess.

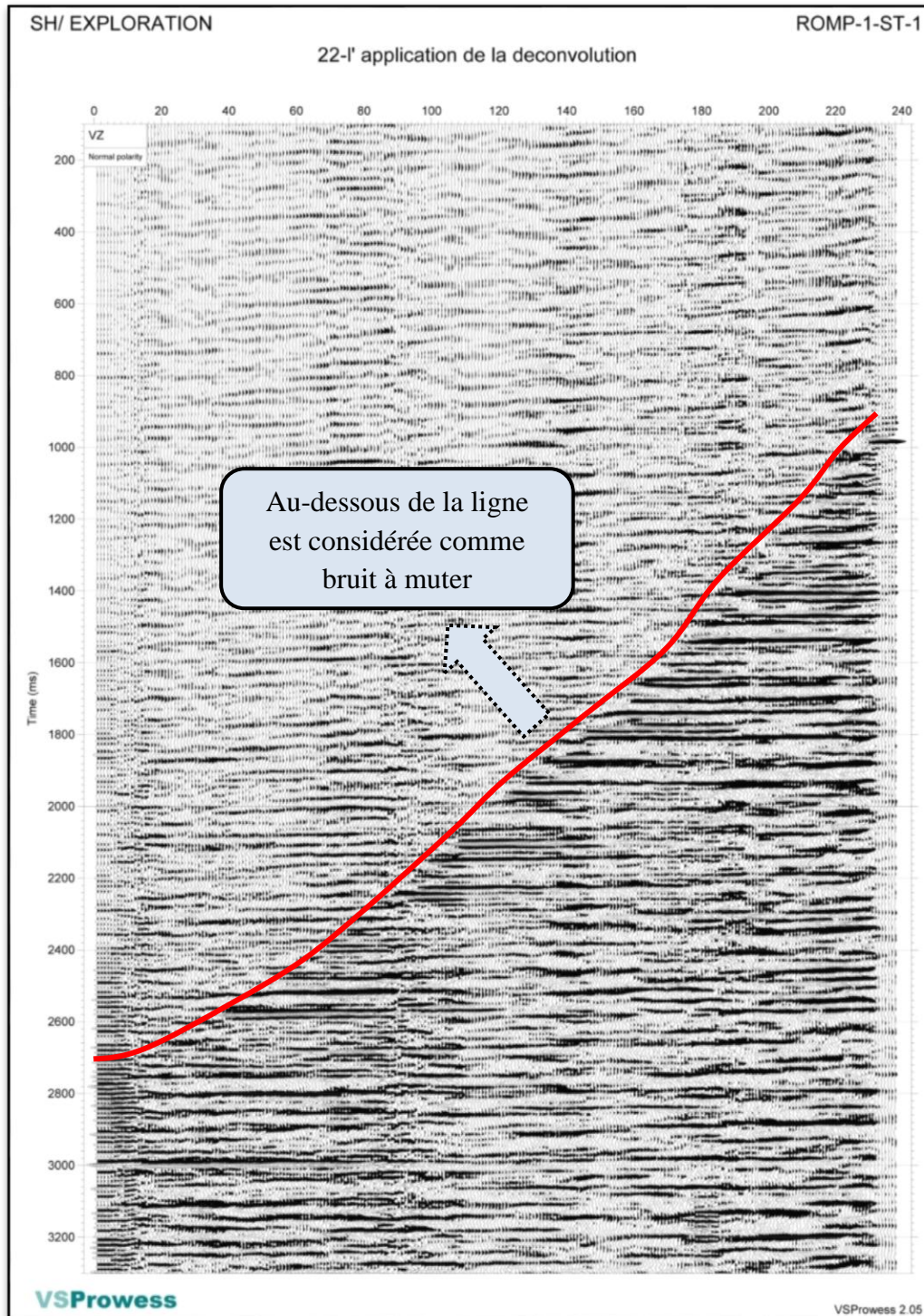


Planche 22 : l'application de déconvolution.

III-5-6) Mute :

Avant de choisir un couloir de sommation, nous avons appliqué :

- un top mute afin de mettre à zéro les amplitudes des traces avant les arrivées premières. La séquence est désignée par **FrontBlank** sur VSProwess.
- Un filtre passe-bande [8-12-70-80] Hz, pour obtenir des ondelettes zéro phase centrée au niveau des différents réflecteurs.

Le résultat est représenté sur la planche 23.

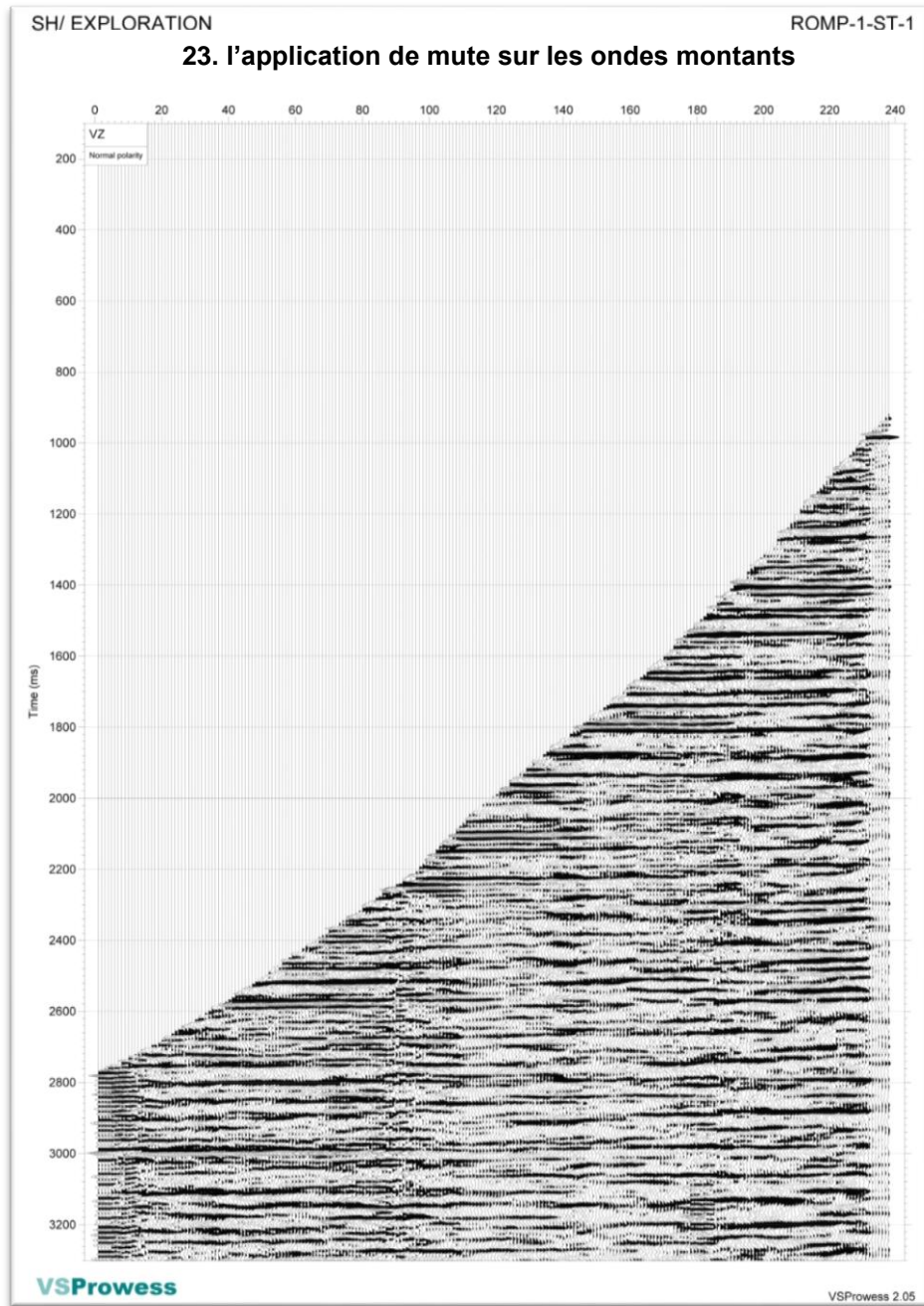


Planche 23 : Application de mute sur les ondes montantes

III-4-7) Couloir de sommation (corridor stack) :

Après la déconvolution et l'horizontalisation des ondes montantes, un couloir est choisi directement après les arrivées premières est sommée (200ms). La trace sommée ainsi obtenue peut renfermer les multiples montants.

La sélection du couloir doit conserver que le signal réfléchi reçu directement après la première arrivée afin d'éliminer les effets des multiples montants, sur le VSProwess on applique ce bottom mute par **RearBlank**. (Planche 24). Après la sommation de cette fenêtre on obtient une trace somme qui sera dupliquée. La séquence de sommation est désignée par **StackAll**. (Planche 25).

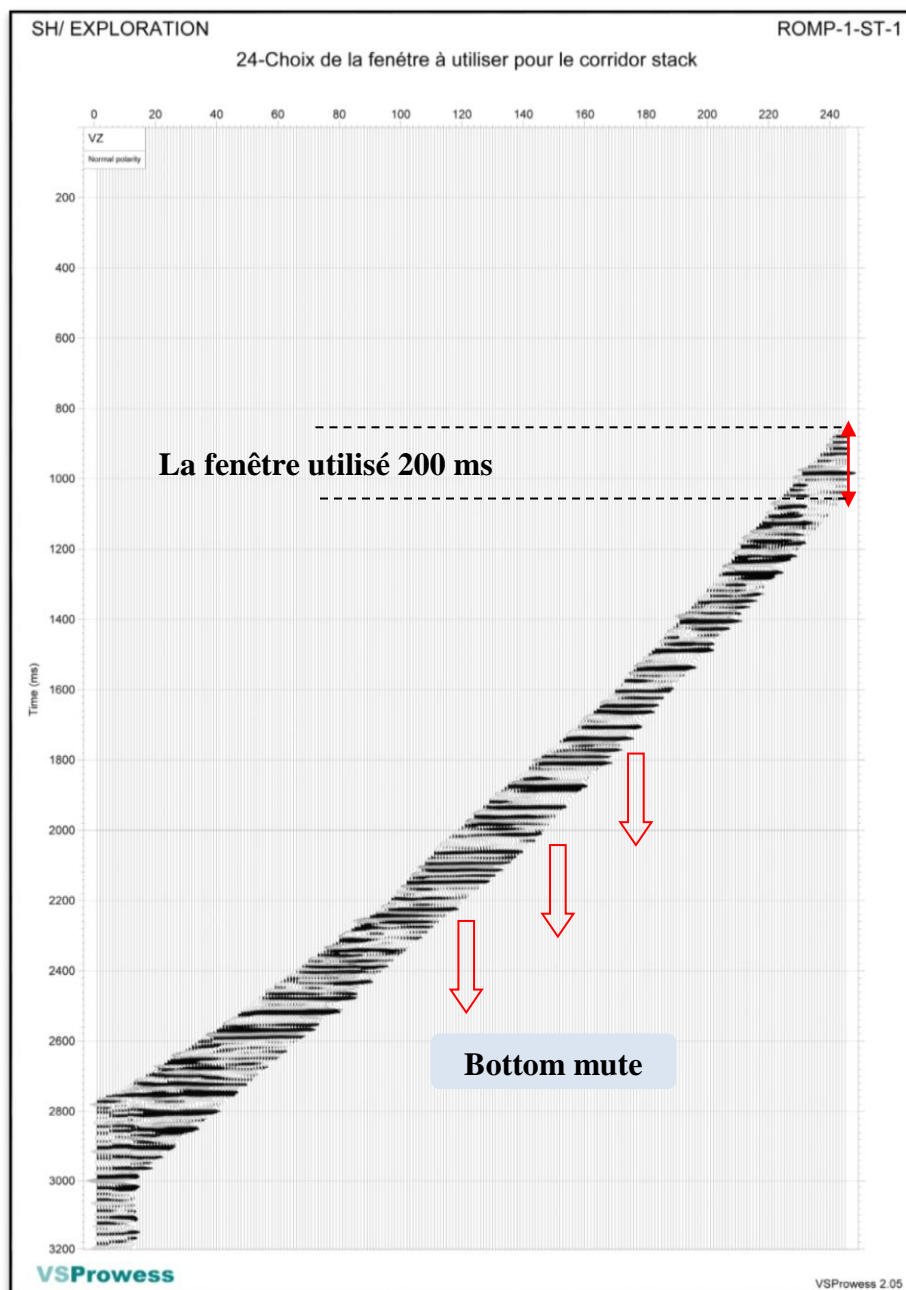


Planche 24 : choix de fenêtre utilisée pour le couloir.

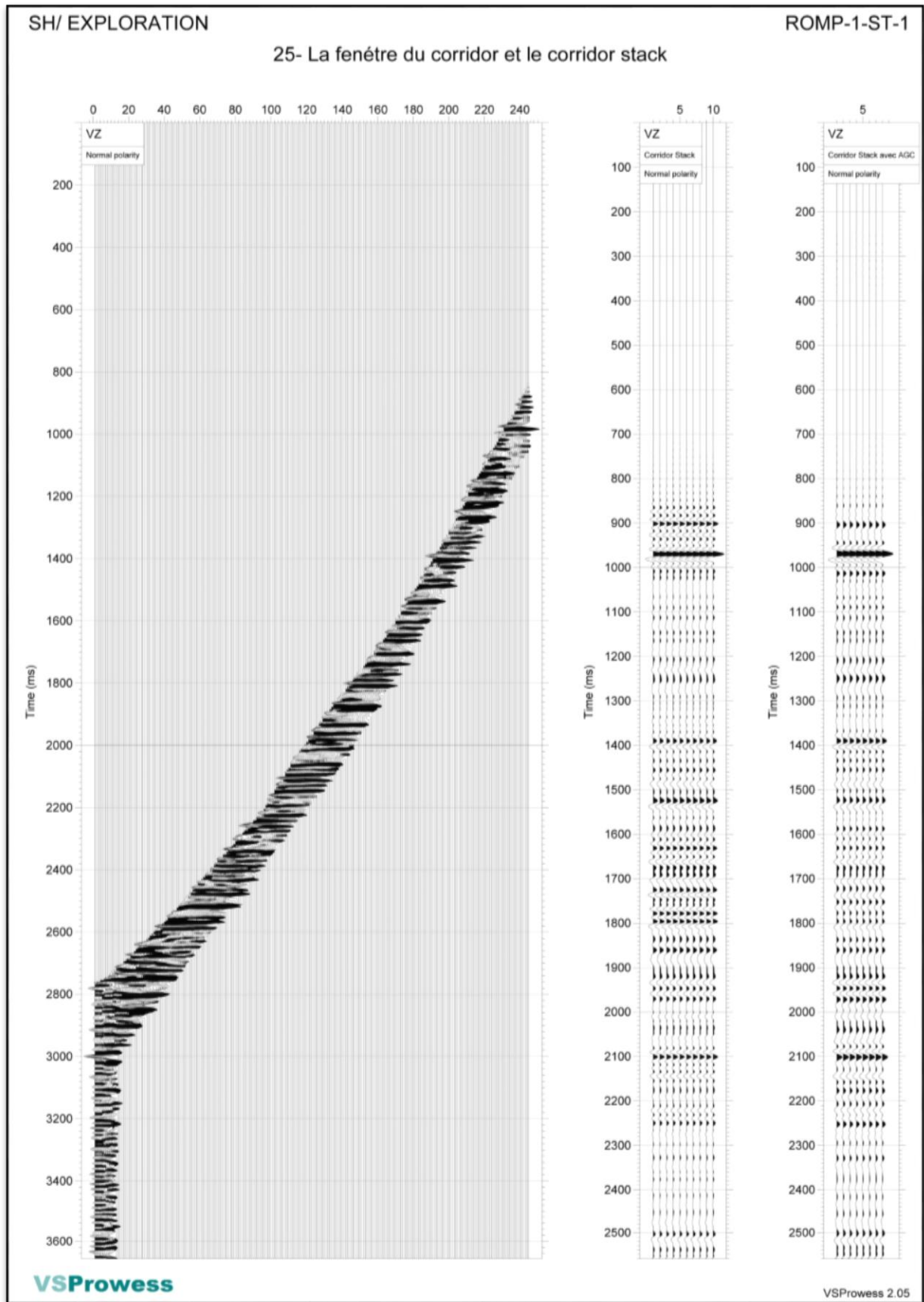


Planche 25 : La fenêtre du corridor et le corridor stack.

III-9) Les séquences de traitement exécuté sur VSProwess :

a- Prétraitement :

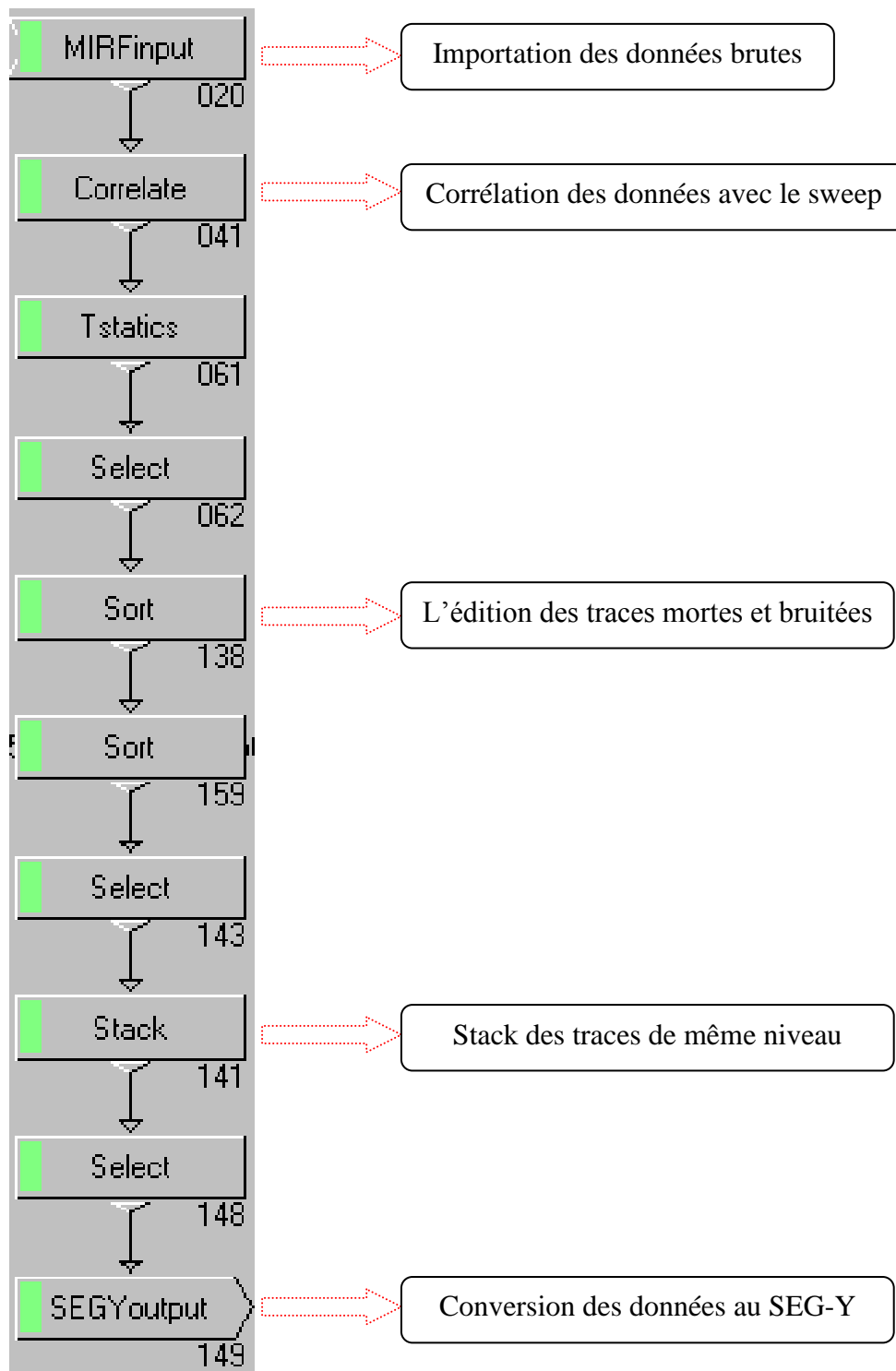


Figure III-1 : les étapes de prétraitement sur VSProwess.

b- Récupération des amplitudes réelles TAR :

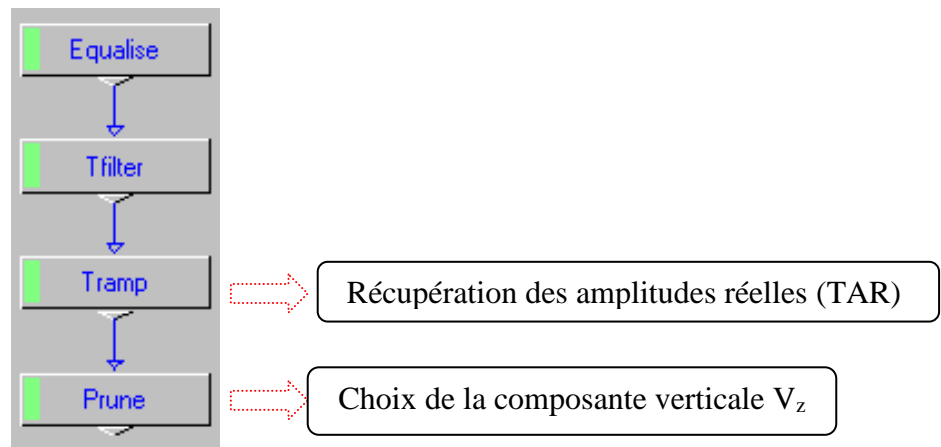


Figure III-2 : Récupération des amplitudes sur VSProwess.

c- Le pointé des temps des premières arrivées :

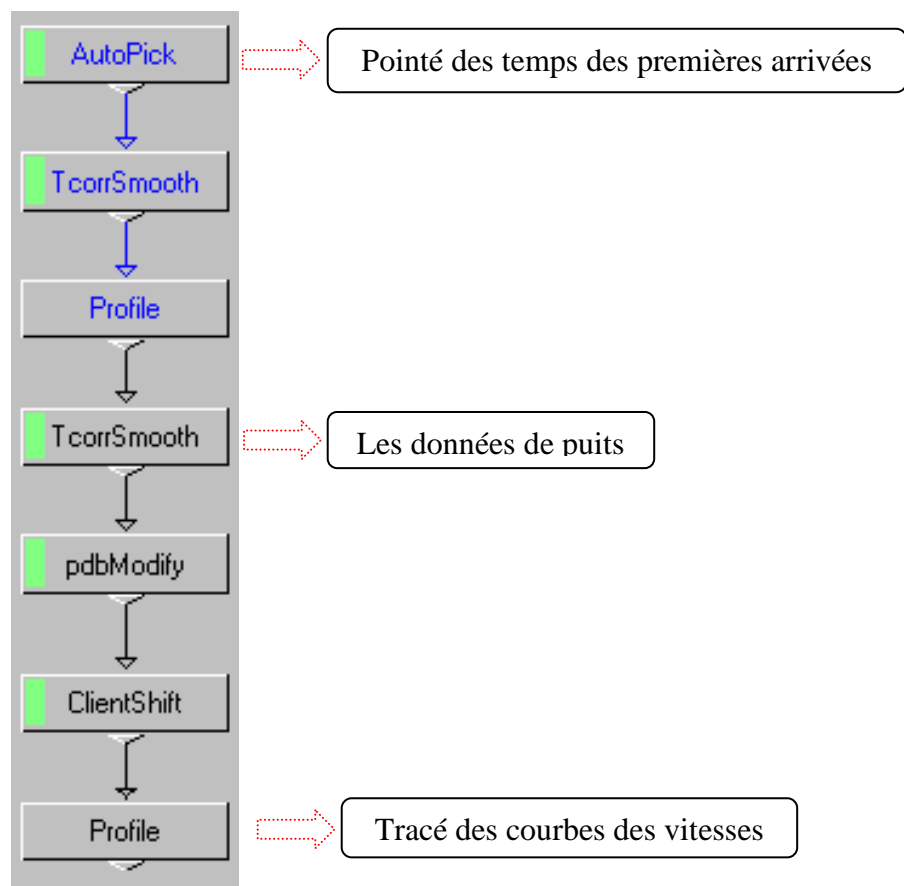


Figure III-3 : Le pointé des temps des premières arrivées sur VSProwess.

b-Séparation des champs d'ondes par filtre Médian et Déconvolution :

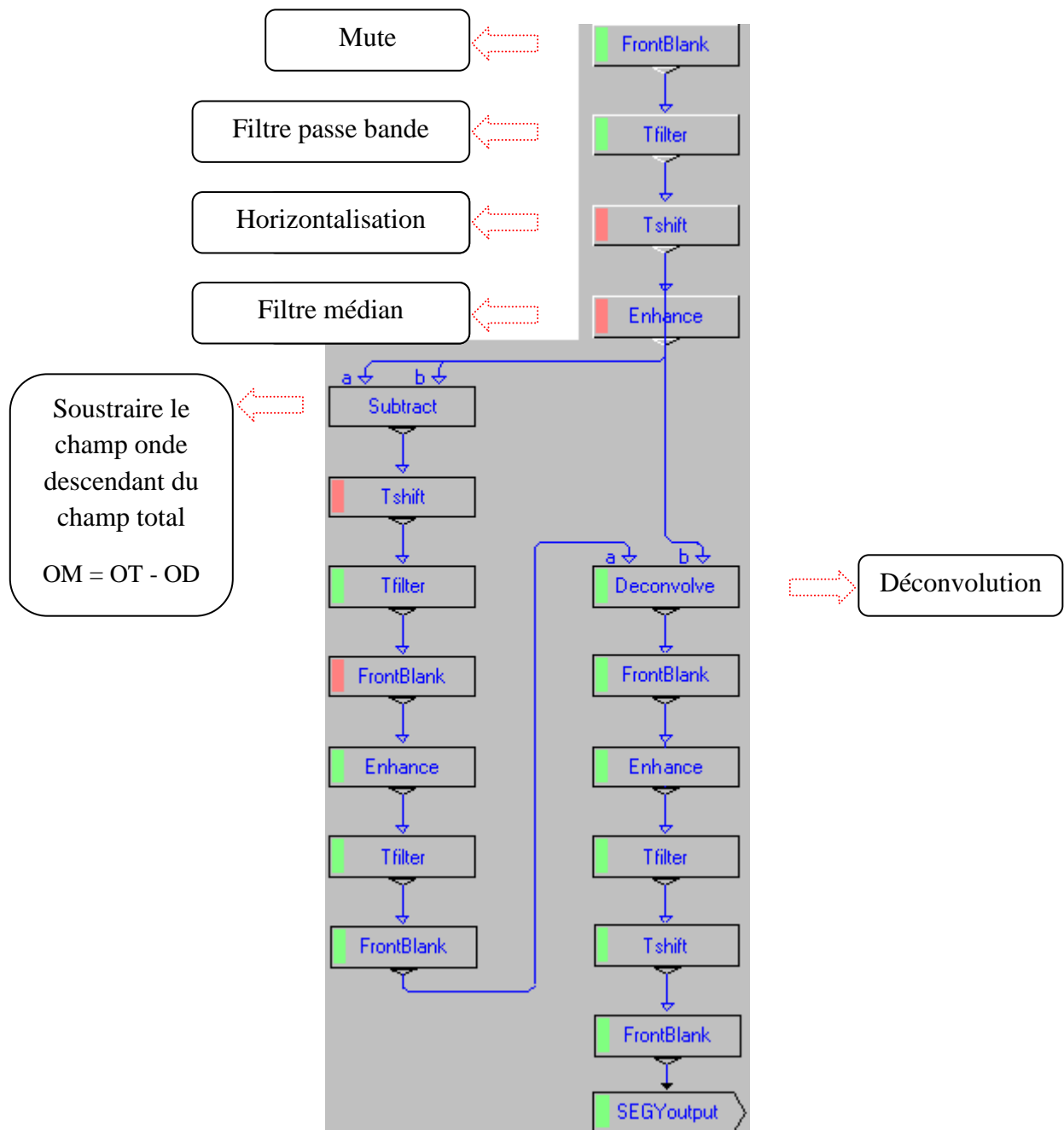


Figure III-4 : les étapes de traitement sur VSProwess.

Conclusion générale

Le PSV est un outil précieux pour le calage de la sismique de surface, la détermination des paramètres de traitement (loi de vitesse,...etc), l'identification et l'élimination des réflexions multiples.

Il est de plus en plus utilisé pour l'investigation des fractures et l'évaluation des propriétés pétrophysiques des réservoirs.

L'obtention de la trace somme PSV nécessaire au calage de la sismique de surface fait appel à des techniques de séparation d'ondes qui permettent l'isolation des ondes montantes et l'amélioration du rapport signal sur bruit.

Parmi les techniques de séparation d'ondes existantes, on a utilisé le filtre médian et le filtrage f-k. Ces deux techniques se sont avérées être des outils de séparation très puissants, néanmoins on a privilégié le filtre médian pour sa simplicité et sa rapidité.

Le filtre médian est la moyen la plus utilisé et la plus rapide par rapport aux autre méthodes de filtrage, ainsi qu'il est efficace et ne fait aucune hypothèse sur l'espacement entre les différents niveaux d'enregistrements. Cependant il ne peut pas conserver les amplitudes.

Le filtrage f-k nécessite un pas d'échantillonnage régulier en temps et en profondeur, ce qui le rend rarement utilisé car les données sismiques sont prises souvent avec un pas d'échantillonnage irrégulier.

On peut voir la différence entre le filtre médian et le filtre f-k, et sur cette base on a choisi le filtre médian à cause du changement de pas d'enregistrement, mais malgré ça on a obtenue de bon résultat et une bonne séparation des événements.

Le travail que nous avons effectué, nous a permis d'approfondir nos connaissance en sismique, plus précisément en sismique de puits. Tous au long de ce mémoire nous avons vu les différents étapes de traitement sismique et leurs difficultés (choix des paramètres à utiliser).

Annexe 01 :

Elévation du puits :

Z_{KB} (Table de rotation)	228.62 m au-dessus du niveau moyen de la Mer.
Z_{GL} (Elévation de source)	219.18 m au-dessus du niveau moyen de la Mer.
MD	Profondeur mesuré.
MD-GL	Profondeur mesuré par rapport à la source.
T-pick	Temps de premières arrivées. (m/s).
T_v	Temps vertical. (m/s).
V_{AVE}	Vitesse moyenne. (m/s).
V_{RMS}	Vitesse RMS. (m/s).
V_{INT}	Vitesse d'intervalle. (m/s).
$V_{INT-GEOL}$	vitesse d'intervalle des formations géologiques (m/s).

MD (m)	MD-GL (m)	Tpick (ms)	Tv (ms)	Vave (m/s)	Vrms (m/s)	Vint (m/s)	Vint geol
225	215,560	178,600	171,85	1254	1254,33822	1254	1254
300	290,560	202,517	198,20	1466	1562,53521	2847	
370	360,560	224,901	221,75	1626	1766,45045	2972	2906
400	390,560	235,783	232,96	1677	1820,68161	2676	
500	490,560	270,124	268,06	1830	1985,85426	2849	
600	590,560	304,702	303,09	1948	2104,68477	2855	
633	623,560	314,199	312,71	1994	2157,68231	3431	2891
700	690,560	332,063	330,78	2088	2269,88229	3708	
753	743,560	345,806	344,65	2157	2352,11741	3820	3757
800	790,560	358,550	357,49	2211	2411,43854	3661	
818	808,560	364,105	363,07	2227	2425,96988	3222	3528
900	890,560	391,002	390,09	2283	2473,01787	3035	
1000	990,560	423,578	422,78	2343	2523,1963	3059	
1018	1008,560	429,691	428,91	2351	2529,57627	2936	3038
1030	1020,560	434,154	433,38	2355	2531,20269	2683	
1045	1035,560	439,787	439,03	2359	2532,86013	2657	
1060	1050,560	446,251	445,50	2358	2529,8512	2317	
1075	1065,560	452,755	452,01	2357	2526,72167	2303	
1090	1080,560	458,849	458,12	2359	2525,80701	2457	

1105	1095,560	464,775	464,06	2361	2525,81827	2527	
1120	1110,560	470,282	469,57	2365	2528,16647	2718	
1135	1125,560	475,347	474,65	2371	2533,11088	2955	
1156	1146,560	481,674	480,99	2384	2544,91011	3311	2649
1165	1155,560	484,073	483,40	2390	2552,24754	3740	
1180	1170,560	488,321	487,66	2400	2562,30293	3522	
1196	1186,560	492,924	492,27	2410	2572,26452	3467	3546
1211	1201,560	497,398	496,76	2419	2580,27513	3345	
1226	1216,560	502,588	501,96	2424	2583,61669	2885	
1240	1230,560	507,520	506,90	2428	2586,1728	2834	
1255	1245,560	512,874	512,26	2431	2588,47123	2797	
1270	1260,560	518,152	517,55	2436	2591,13593	2838	
1285	1275,560	523,470	522,87	2440	2593,52846	2816	
1300	1290,560	528,480	527,89	2445	2597,57265	2989	
1315	1305,560	533,520	532,94	2450	2601,36665	2972	
1330	1320,560	538,596	538,02	2454	2604,88567	2951	
1345	1335,560	543,700	543,13	2459	2608,18263	2935	
1360	1350,560	548,844	548,29	2463	2611,20067	2912	
1375	1365,560	554,032	553,48	2467	2613,92855	2887	
1390	1380,560	559,224	558,68	2471	2616,58309	2885	
1405	1395,560	564,372	563,83	2475	2619,41396	2910	
1420	1410,560	569,444	568,91	2479	2622,58507	2954	
1435	1425,560	574,380	573,85	2484	2626,41208	3035	
1450	1440,560	579,208	578,69	2489	2630,74808	3103	
1465	1455,560	583,942	583,43	2495	2635,51803	3164	
1480	1470,560	588,593	588,09	2501	2640,66181	3221	
1495	1485,560	593,335	592,84	2506	2645,21798	3159	
1510	1500,560	598,076	597,58	2511	2649,70024	3160	
1532	1522,560	605,498	605,01	2517	2653,74334	2961	2980
1562	1552,560	616,398	615,92	2521	2655,47383	2750	
1570	1560,560	619,416	618,94	2521	2655,43995	2649	
1585	1575,560	625,014	624,55	2523	2655,63644	2677	
1600	1590,560	630,643	630,18	2524	2655,69857	2663	
1615	1605,560	636,183	635,72	2526	2656,13544	2705	
1630	1620,560	641,608	641,15	2528	2657,05523	2763	
1645	1635,560	646,948	646,50	2530	2658,32588	2807	
1660	1650,560	652,212	651,77	2532	2659,90547	2847	
1675	1665,560	657,400	656,96	2535	2661,79166	2889	
1690	1680,560	662,532	662,10	2538	2663,89376	2920	
1705	1695,560	667,624	667,19	2541	2666,1387	2943	
1720	1710,560	672,644	672,22	2545	2668,66718	2985	
1735	1725,560	677,561	677,14	2548	2671,61811	3048	
1750	1740,560	682,447	682,03	2552	2674,66378	3067	
1765	1755,560	687,263	686,85	2556	2677,98095	3112	
1780	1770,560	692,022	691,61	2560	2681,50919	3149	
1792	1782,560	695,820	695,41	2563	2684,3362	3157	2876
1810	1800,560	701,694	701,29	2567	2687,72155	3062	

1825	1815,560	706,674	706,28	2571	2690,12897	3010	
1840	1830,560	711,677	711,28	2574	2692,40322	2996	
1855	1845,560	716,689	716,30	2577	2694,60628	2991	
1870	1860,560	721,612	721,22	2580	2697,15171	3045	
1885	1875,560	726,476	726,09	2583	2699,91127	3082	
1900	1890,560	731,308	730,93	2587	2702,7681	3102	
1915	1905,560	736,024	735,65	2590	2706,08501	3178	
1930	1920,560	740,736	740,36	2594	2709,37331	3181	
1945	1935,560	745,448	745,08	2598	2712,61636	3181	
1960	1950,560	750,140	749,77	2602	2715,90116	3195	
1975	1965,560	754,773	754,41	2605	2719,39626	3235	
1990	1980,560	759,351	758,99	2609	2723,08401	3274	
2005	1995,560	763,885	763,53	2614	2726,91571	3306	
2020	2010,560	768,327	767,97	2618	2731,10516	3374	
2029	2019,560	770,967	770,62	2621	2733,7061	3407	3151
2050	2040,560	777,345	777,00	2626	2738,73909	3290	
2065	2055,560	782,083	781,74	2629	2741,51638	3164	
2080	2070,560	786,789	786,45	2633	2744,38812	3185	
2095	2085,560	791,613	791,27	2636	2746,74956	3108	
2110	2100,560	796,419	796,08	2639	2749,15147	3119	
2125	2115,560	801,156	800,82	2642	2751,79562	3165	
2140	2130,560	805,820	805,49	2645	2754,69836	3214	
2155	2145,560	810,474	810,15	2648	2757,60501	3221	
2175	2165,560	816,439	816,12	2653	2762,40614	3351	3209
2185	2175,560	819,310	818,99	2656	2765,25266	3481	
2200	2190,560	823,598	823,28	2661	2769,5604	3496	
2215	2205,560	827,751	827,43	2666	2774,41418	3609	
2230	2220,560	831,796	831,48	2671	2779,70412	3706	
2245	2235,560	835,756	835,45	2676	2785,33085	3785	
2260	2250,560	839,530	839,22	2682	2791,79923	3972	
2275	2265,560	843,160	842,85	2688	2798,93444	4129	
2290	2280,560	846,668	846,37	2695	2806,6458	4273	
2305	2295,560	850,110	849,81	2701	2814,63869	4354	
2328	2318,560	855,334	855,04	2712	2827,02834	4399	3931
2350	2340,560	860,511	860,22	2721	2837,70308	4246	
2365	2355,560	864,110	863,82	2727	2844,52252	4165	
2380	2370,560	867,729	867,44	2733	2851,16684	4142	
2395	2385,560	871,361	871,08	2739	2857,67491	4127	
2410	2400,560	875,000	874,72	2744	2864,07928	4119	
2425	2415,560	878,680	878,40	2750	2870,21326	4074	
2440	2430,560	882,340	882,06	2756	2876,38162	4096	
2455	2445,560	886,012	885,74	2761	2882,4273	4082	
2470	2460,560	889,716	889,44	2766	2888,25588	4047	
2485	2475,560	893,402	893,13	2772	2894,1111	4067	
2500	2490,560	897,011	896,74	2777	2900,28112	4154	
2515	2505,560	900,710	900,44	2783	2905,95424	4053	
2530	2520,560	904,274	904,01	2788	2912,22446	4206	

2537	2527,560	905,947	905,68	2791	2915,08073	4182	4127
2560	2550,560	911,571	911,31	2799	2923,76169	4087	
2575	2565,560	915,210	914,95	2804	2929,48882	4120	
2596	2586,560	920,333	920,08	2811	2937,27843	4097	4099
2605	2595,560	922,514	922,26	2814	2940,65276	4124	
2620	2610,560	926,129	925,88	2820	2946,32739	4147	4139
2635	2625,560	929,678	929,43	2825	2952,26264	4224	
2650	2640,560	933,290	933,04	2830	2957,84115	4151	
2665	2655,560	936,876	936,63	2835	2963,48873	4181	
2680	2670,560	940,484	940,24	2840	2968,97955	4155	
2695	2685,560	944,160	943,92	2845	2974,10615	4079	
2710	2700,560	947,860	947,62	2850	2979,0764	4052	
2725	2715,560	951,596	951,36	2854	2983,84036	4013	
2740	2730,560	955,396	955,16	2859	2988,28205	3946	
2755	2745,560	959,288	959,05	2863	2992,29502	3852	
2770	2760,560	963,284	963,05	2866	2995,8481	3752	
2785	2775,560	967,392	967,16	2870	2998,92975	3650	
2800	2790,560	971,582	971,35	2873	3001,67195	3579	
2815	2805,560	975,857	975,63	2876	3004,07536	3508	
2830	2820,560	980,087	979,86	2879	3006,61993	3545	
2845	2835,560	984,328	984,10	2881	3009,10046	3536	
2865	2855,560	989,819	989,59	2886	3012,97405	3641	3845
2875	2865,560	992,398	992,17	2888	3015,53848	3876	
2890	2880,560	996,239	996,02	2892	3019,46707	3904	
2905	2895,560	999,970	999,75	2896	3023,81216	4019	
2920	2910,560	1003,641	1003,42	2901	3028,37137	4084	
2935	2925,560	1007,260	1007,04	2905	3033,11293	4143	
2950	2940,560	1010,904	1010,69	2909	3037,70632	4115	
2965	2955,560	1014,574	1014,36	2914	3042,15012	4086	
2980	2970,560	1018,338	1018,12	2918	3046,16833	3984	
2995	2985,560	1022,174	1021,96	2921	3049,86451	3909	
3010	3000,560	1026,284	1026,07	2924	3052,4974	3649	
3019	3009,560	1028,738	1028,53	2926	3054,10934	3666	3955
3040	3030,560	1035,325	1035,12	2928	3054,97568	3187	
3055	3045,560	1040,463	1040,25	2928	3054,31806	2919	
3070	3060,560	1045,555	1045,35	2928	3053,79589	2945	
3086	3076,560	1051,062	1050,86	2928	3053,03402	2905	3001
3101	3091,560	1055,996	1055,79	2928	3052,97086	3039	
3115	3105,560	1060,593	1060,39	2929	3052,93559	3045	
3134	3124,560	1066,226	1066,02	2931	3054,71041	3372	3165
3145	3135,560	1069,237	1069,03	2933	3056,55794	3652	
3160	3150,560	1073,383	1073,18	2936	3058,92108	3617	
3173	3163,560	1076,868	1076,67	2938	3061,32812	3729	3664
3205	3195,560	1085,600	1085,40	2944	3066,64755	3664	
3220	3210,560	1089,770	1089,57	2947	3068,84893	3596	
3235	3225,560	1093,912	1093,72	2949	3071,12557	3620	
3250	3240,560	1098,043	1097,85	2952	3073,42021	3630	

3265	3255,560	1102,167	1101,97	2954	3075,71938	3636	3636
3286	3276,560	1107,838	1107,65	2958	3079,25169	3702	3702
3301	3291,560	1111,809	1111,62	2961	3082,02339	3776	
3316	3306,560	1115,761	1115,57	2964	3084,83875	3795	
3325	3315,560	1118,148	1117,96	2966	3086,46265	3769	
3340	3330,560	1122,064	1121,88	2969	3089,36754	3829	
3355	3345,560	1125,874	1125,69	2972	3092,62455	3936	
3359	3349,560	1126,927	1126,74	2973	3093,35868	3798	3823
3370	3360,560	1129,570	1129,38	2976	3096,2869	4161	
3385	3375,560	1133,081	1132,90	2980	3100,61631	4271	
3400	3390,560	1136,435	1136,25	2984	3105,55225	4471	
3415	3405,560	1139,734	1139,55	2989	3110,68408	4545	
3430	3420,560	1143,000	1142,82	2993	3115,91962	4591	
3445	3435,560	1146,300	1146,12	2998	3120,97122	4544	
3460	3450,560	1149,688	1149,51	3002	3125,61988	4426	
3475	3465,560	1153,140	1152,96	3006	3129,97709	4344	
3490	3480,560	1156,640	1156,46	3010	3134,11405	4284	
3505	3495,560	1160,152	1159,98	3013	3138,17431	4270	
3520	3510,560	1163,688	1163,51	3017	3142,11305	4241	
3535	3525,560	1167,243	1167,07	3021	3145,95118	4218	
3550	3540,560	1170,792	1170,62	3025	3149,78397	4225	
3565	3555,560	1174,324	1174,15	3028	3153,65301	4246	
3575	3565,560	1176,691	1176,52	3031	3156,17054	4224	4339
3580	3570,560	1177,853	1177,68	3032	3157,50611	4302	
3595	3585,560	1181,341	1181,17	3036	3161,48606	4299	
3610	3600,560	1184,763	1184,59	3039	3165,69159	4382	
3625	3615,560	1188,182	1188,01	3043	3169,87905	4386	
3640	3630,560	1191,552	1191,38	3047	3174,22872	4450	
3655	3645,560	1194,868	1194,70	3051	3178,76285	4522	
3670	3660,560	1198,152	1197,99	3056	3183,39465	4566	
3685	3675,560	1201,424	1201,26	3060	3188,04318	4583	
3700	3690,560	1204,628	1204,46	3064	3192,9395	4680	
3715	3705,560	1207,796	1207,63	3068	3197,95334	4734	
3730	3720,560	1210,948	1210,79	3073	3203,0008	4758	
3745	3735,560	1214,084	1213,92	3077	3208,08206	4782	
3760	3750,560	1217,224	1217,06	3082	3213,11224	4776	
3775	3765,560	1220,392	1220,23	3086	3217,99125	4734	
3790	3780,560	1223,596	1223,44	3090	3222,68915	4680	
3805	3795,560	1226,844	1226,69	3094	3227,1778	4617	
3820	3810,560	1230,136	1229,98	3098	3231,46239	4555	
3835	3825,560	1233,424	1233,27	3102	3235,73417	4561	
3850	3840,560	1236,744	1236,59	3106	3239,85348	4517	
3865	3855,560	1240,092	1239,94	3109	3243,83853	4479	
3880	3870,560	1243,468	1243,31	3113	3247,69175	4442	4566,225928
3895	3885,560	1246,864	1246,71	3117	3251,44513	4416	
3910	3900,560	1250,300	1250,15	3120	3255,02707	4365	
3925	3915,560	1253,744	1253,59	3123	3258,55647	4354	

3940	3930,560	1257,144	1256,99	3127	3262,2229	4411	
3955	3945,560	1260,492	1260,34	3131	3266,05762	4479	
3970	3960,560	1263,764	1263,61	3134	3270,15468	4583	
3985	3975,560	1267,004	1266,85	3138	3274,34868	4629	
4000	3990,560	1270,212	1270,06	3142	3278,6404	4675	
4015	4005,560	1273,396	1273,25	3146	3282,99909	4710	
4030	4020,560	1276,584	1276,44	3150	3287,31462	4704	
4045	4035,560	1279,812	1279,67	3154	3291,44784	4646	
4060	4050,560	1283,003	1282,86	3157	3295,69819	4700	
4075	4065,560	1286,159	1286,01	3161	3300,05902	4752	
4090	4080,560	1289,346	1289,20	3165	3304,27172	4706	
4105	4095,560	1292,548	1292,40	3169	3308,4005	4684	
4108	4098,560	1293,162	1293,02	3170	3309,32753	4885	4587,045744
4120	4110,560	1295,728	1295,59	3173	3312,59103	4676	
4135	4125,560	1298,938	1298,80	3176	3316,63828	4672	
4150	4140,560	1302,112	1301,97	3180	3320,79848	4725	
4165	4155,560	1305,270	1305,13	3184	3324,99505	4749	
4180	4170,560	1308,432	1308,29	3188	3329,15068	4743	
4195	4185,560	1311,516	1311,38	3192	3333,58602	4863	
4210	4200,560	1314,580	1314,44	3196	3338,07433	4894	
4225	4215,560	1317,664	1317,53	3200	3342,4564	4863	
4240	4230,560	1320,771	1320,63	3203	3346,72212	4827	
4255	4245,560	1323,860	1323,72	3207	3351,03276	4855	
4270	4260,560	1327,052	1326,92	3211	3354,92379	4698	
4285	4275,560	1330,290	1330,15	3214	3358,62159	4632	
4287	4277,560	1330,724	1330,59	3215	3359,1047	4607	4764,450667
4300	4290,560	1333,525	1333,39	3218	3362,30843	4640	
4315	4305,560	1336,730	1336,60	3221	3366,08347	4679	
4330	4320,560	1339,911	1339,78	3225	3369,92508	4715	
4345	4335,560	1343,082	1342,95	3228	3373,78132	4729	
4360	4350,560	1346,242	1346,11	3232	3377,65599	4746	
4375	4365,560	1349,420	1349,29	3235	3381,44138	4719	
4389	4379,560	1352,386	1352,25	3239	3384,95508	4719	4707,80967
4390	4380,560	1352,599	1352,47	3239	3385,20114	4694	
4405	4395,560	1355,753	1355,62	3242	3389,03139	4755	
4420	4410,560	1358,905	1358,78	3246	3392,84698	4758	
4435	4425,560	1361,973	1361,84	3250	3396,95656	4888	
4450	4440,560	1365,036	1364,91	3253	3401,06187	4896	
4454	4444,560	1365,859	1365,73	3254	3402,12908	4859	4823,554726
4465	4455,560	1368,130	1368,00	3257	3405,02637	4843	
4480	4470,560	1371,241	1371,11	3261	3408,90477	4821	
4495	4485,560	1374,406	1374,28	3264	3412,5627	4738	
4510	4500,560	1377,615	1377,49	3267	3416,04187	4674	
4523	4513,560	1380,439	1380,31	3270	3418,89045	4603	4731,676035
4525	4515,560	1380,876	1380,75	3270	3419,31865	4576	
4540	4530,560	1384,198	1384,07	3273	3422,36777	4515	
4543	4533,560	1384,844	1384,72	3274	3423,03893	4643	4539,562534

4555	4545,560	1387,548	1387,42	3276	3425,30783	4437	
4570	4560,560	1390,917	1390,79	3279	3428,16579	4452	
4573	4563,560	1391,603	1391,48	3280	3428,69553	4373	4437,844506

List des Planches

- Planche 01 : Composante V_z , H_x & H_y du PSV.
- Planche 02 : La composantes V_z brute.
- Planche 03 : Données Brutes avant Corrélation avec traces bruitées.
- Planche 04 : Données Brutes après Corrélation avec traces bruitées.
- Planche 04 : Données Brutes après édition des traces Bruitées.
- Planche 06 : Les données après la sommation des traces appartenant aux mêmes niveaux.
- Planche 07 : Pointé des temps des Premières Arrivées.
- Planche 08 : Courbes Temps-Profondeur & Vitesses Moyenne, RMS & d'intervalles.
- Planche 09 : Test sur l'opérateur du TAR.
- Planche 10 : Résultat après la récupération des Amplitudes Réelles.
- Planche 11 : Données retenus pour le Traitement.
- Planche 12 : le champ d'ondes total alignés selon les Ondes Descendantes.
- Planche 13 : Application du Filtre Médian.
- Planche 14 : Champ d'ondes montant avec les bruits.
- Planche 15 : représentation de PSV dans le domaine f-k.
- Planche 16 : Représentation f-k du champ total après alignement des ondes descendantes.
- Planche 17 : Application du Filtre f-k sur le champ d'ondes total.
- Planche 18 : Résultat de l'application du Filtre FK pour séparer le champ d'ondes.
- Planche 19 : Champ d'ondes montant avec bruits obtenu par filtrage dans le domaine f-k.
- Planche 20 : Alignement du Champ d'ondes montant.
- Planche 21 : Résultat de l'application du filtre médian sur les ondes montantes.
- Planche 22 : Résultat de l'application de la deconvolution.
- Planche 23 : Application de mute sur les ondes montants.
- Planche 24 : Choix de la fenêtre à utiliser pour le corridor stack.
- Planche 25 : La fenêtre du corridor et le corridor stack.

Bibliographie

- **BENHAMA A & GUERCHAAOUI A** (2010), sismique de puits (cours et application sur station Pro Max), SH/IAP/GP/FI/2010.
- **C.C. PRETORIUS, M.A. GIBSON; Q. SNYMAN;** 2010; Development of high-resolution 3D vertical seismic profiles.
- **Djeddi mebrouk** ; géophysique de puits ; 2013 ; <http://www.djeddimabrouk.fr.gd>.
- **GERARD T. Schuster;** lessons on « Basics of Seismic Wave Theory »; University of Utah, 2007.
- **Ione L. Taylor;** 2004; Methods of Exploration and production of petroleum resources. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, USA,
- **James W. Rector, Maria-Daphne Mangriotis** ; Vertical Seismic Profiling ; Department of Civil and Environmental Engineering, University of California at Berkeley, Berkeley, CA, USA Applied Geophysics, Institute of Engineering Seismology and Earthquake Engineering (ITSAK), Thessaloniki, Greece, 2008.
- **JH Queen,**2016; Surface Reflection Seismic and Vertical Seismic Profile at Brady's Hot Springs, NV, USA,
- **John Blackburn, Geoffrey Hampden-Smith, Henry Menkiti, John Daniels, Scott Leaney Joël Le Calvez, Les Nutt, Adrian Sanchez, Scott Dingwall, Marco Schinelli,**;2007; Borehole Seismic Surveys: Beyond the vertical Profile Oilfield Review (schlumberger);.
- **Kiran Kumar Talagapu** ; 2005; 2D and 3D Land Seismic Data Acquisition and Seismic Data Processing ; M.Sc(Tech.) Geophysics Andhra University.
- **MARI J.L, COPPENS F** (1989), Sismique de puits (Première partie).
- **Mari, J.-L. (2010).** Sismique de puits. Université de Lausanne Institut Français du Pétrole. Cours online http://www-ig.unil.ch/cours/c_sisf.htm.
- Offset Borehole Seismic Surveys : Salt flank positioning, fracture orientation, seismic imaging, and velocity control. (schlumberger) www.slb.com/boreholeseismic 2007.
- **R.C. Ronald Clifford Hinds, Neil Lennart Anderson, Richard Dwight Kuzmiski** ; 1996 ; Interpretive Processing: Theory and Practice ; University of Pretoria.