

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Minier

Laboratoire de Génie Minier et de Développement

Mémoire de master en Génie Minier

Etude d'un profil sismique vertical

Zéro Offset

Réalisé par :

Aissa Mohamed Abd-Allah

Sous la direction de :

Mme. Nadia Boumbar

Présenté et soutenu publiquement le : **20/06/2017**

Composition du Jury :

Président : Mr. Larouci Chanane Dr. Enseignant Chercheur, ENP, Alger

Promoteur : Mme. Nadia Boumbar Dr. 3^{ème} Cycle, ENP, Alger

Examineur : Mr. Rezki Akkal Docteur, ENP, Alger

ENP 2017

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Minier

Laboratoire de Génie Minier et de Développement

Mémoire de master en Génie Minier

Etude d'un profil sismique vertical

Zéro Offset

Réalisé par :

Aissa Mohamed Abd-Allah

Sous la direction de :

Mme. Nadia Boumbar

Présenté et soutenu publiquement le : **20/06/2017**

Composition du Jury :

Président : Mr. Larouci Chanane Dr. Enseignant Chercheur, ENP, Alger

Promoteur : Mme. Nadia Boumbar Dr. 3^{ème} Cycle, ENP, Alger

Examineur : Mr. Rezki Akkal Docteur, ENP, Alger

ENP 2017

Dédicaces

*Je dédie ce présent mémoire aux êtres les plus chers à Mon cœur,
ma chère Maman, mon cher père ainsi qu'à mes sœurs
Asmaa, Maroua, Khaoula, Rayhana et Fatima.*

*Je le dédie aussi à tous mes cousins, mes cousines, mes oncles et
mes tantes ainsi qu'à tous mes amis.*

*Je le dédie également à tous mes camarades et amis de la promotion
2017, Génie Minier: Hamza, Majid, Islam sans oublier Mehdi et Ameer.*

Remerciements

Avant tout, je remercie ALLAH de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de venir à bout de ce modeste travail.

Mes remerciements vont ensuite à mes parents, qui m'ont soutenus et épauler aux moments les plus dures. Ainsi qu'a mes sœurs sans qui, tout cela n'aurait pas pu être possible.

Je tiens plus particulièrement à remercier Mme. Boumbar mon encadreur au prés de l'ENP, d'Alger, pour ces précieux conseils et son professionnalisme.

En ces moments mémorables ou mon travail tire à sa fin je voudrais remercier tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce travail.

Mohamed Abd-Allah AISSA.

ملخص:

مرتبطا بتجارب الزلزالية السطحية، التجارب الزلزالية الأنبوبية هي أداة ممتازة في مجال التنقيب الزلزالي. عملها ينص على توليد إشارة من مصدر الزلازل على السطح، وكشف عن وصول الموجات الزلزالية المختلفة عن طريق الجيوفون الذي يتواجد في البئر.

هذه التقنية تختلف عن التجارب الزلزالية السطحية حيث يقع الجيوفون و المصدر معا في السطح.

التسجيلات الزلزالية الأنبوبية هي الوسيلة المثلى لتصحيح معطيات التجارب الزلزالية السطحية، مما يسمح بتحديد التكوينات العميقة.

الكلمات الدالة: ملف الزلزالي العامودي, الآبار, جيوفون, موجة, ممر المجموع.

Summary:

Associated with surface seismic, well seismic is an excellent tool in seismic exploration. It consists in generating a signal from a surface seismic source, and in detecting the different seismic arrivals by geophones located in a well after their propagation in the basement.

This technique is different from that of surface seismic where the receiver and the source are all located on the surface of the ground.

The well seismic is the means of calibrating the records of the surface seismic at the well, which allows the deep identification of the seismic markers.

Key words: Vertical seismic profil, well, geophone, waves, corridor Stack.

Résumé:

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.

Cette technique de mise en œuvre est différente de celle 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.

Mots clé: Profil sismique vertical, puits, géophone, ondes, Couloir de sommation.

TABLE DES MATIERES

Liste des figures	
Introduction générale	8

Chapitre 1: Principe et mise en oeuvre

1.a. Introduction	10
1.b. Principe d'un profil sismique vertical (PSV)	10
1.c. Différents types de sismique de puits	11
1.c.1. La sismique de puits à puits	11
1.c.2. Tirs dans le puits	11
1.c.3. Tirs en surface	11
Profil sismique à offset nul (zéro offset VSP)	12
1.d. Les différentes ondes enregistrées en sismique de puits	13
1.d.1. Les ondes de volume	13
a- Cas d'un champ d'ondes montant	14
b- Cas d'un champ d'ondes descendant	16
1.d.2. Les bruits	17
a- Les ondes de câble	17
b- Les ondes de boue	18
1.e. Acquisition des données PSV	20
1.f. Chaîne d'acquisition	21

Chapitre 2: Traitement d'un PSV Zéro Offset

2.a. Introduction	24
2.b. Prétraitement des données	25
2.b.1. Préparation des données	25
2.b.2. L'édition	25
2.b.3. Le pointé des premières arrivées	25
2.b.4. La récupération des amplitudes réelles	26
a- Divergence sphérique	26
b- L'absorption	27
2.c. La séparation des ondes	28
2.c.1. Filtre médian	28
2.c.2. Filtre f-k	29
2.d. Traitement d'imagerie sismique	31
2.d.1. La déconvolution	31
2.d.2. Horizontalisation des ondes montantes	32
2.d.3. Couloir de sommation	32
Conclusion générale	36
Bibliographie	37

LISTE DES FIGURES

Chapitre 1: Principe et mise en oeuvre

Figure 1.1: Profil sismique à offset nul.....	12
Figure 1.2: Trajet des ondes descendantes et montantes.....	14
Figure 1.3: Trajet des ondes montantes.....	15
Figure 1.4: Trajet des ondes descendants.....	16
Figure 1.5: Technique de réduction de l'onde de câble.....	17
Figure 1.6: Onde de boue.....	18
Figure 1.7: Techniques de réduction des ondes de boue.....	19
Figure 1.8: Une Sonde.....	21
Figure 1.9: Mise en œuvre d'un VSP.....	22

Chapitre 2: Traitement d'un PSV Zéro Offset

Figure 2.1: Divergence sphérique.....	27
Figure 2.2: L'absorption.....	28
Figure 2.3: Filtre médian.....	29
Figure 2.4: Principe du filtre f-k.....	30
Figure 2.5: Modèle implicite des ondes montantes.....	32
Figure 2.6: Corridor stack en temps.....	33
Figure 2.7: Calage avec la section sismique.....	34



Introduction générale

Introduction générale:

Le point culminant d'un projet de recherche pétrolier est le forage, non seulement pour découvrir les hydrocarbures, mais également pour comprendre la structure du sous sol. La nécessité de mieux connaître les réservoirs pour les exploiter a conduit les géophysiciens à développer des techniques pétrolières, telle que la sismique de puits qui a une plus haute résolution que la sismique de surface.

Dans le passé, la sismique de puits consistait uniquement à effectuer une opération de **carottage sismique** afin d'obtenir un modèle de vitesse (courbe $T=f(z)$). Ce modèle est utilisé essentiellement pour corrélérer la géologie observée au niveau du puits avec les événements de la sismique de surface.

L'espacement entre les niveaux d'enregistrement d'une opération de carottage sismique est de l'ordre de 100 à 200 mètres, la courbe est donc obtenue avec très peu de précision. En réduisant l'espacement entre les niveaux d'enregistrement jusqu'à environ 20 mètres, on obtient un modèle de vitesse avec une meilleure précision. Cette dernière est la nouvelle technique de la sismique de puits qui est appelée **PSV zéro offset**.

Les travaux effectués par Fessenden (1917) apparaissent comme un premier document énonçant le principe du PSV Zéro offset. D'autres chercheurs géophysiciens se référant à ces travaux, développèrent cette nouvelle technique en exploration pétrolière. La première application du PSV zéro offset a été effectuée vers les années 50 par l'union Soviétique.

Dans notre travail, composé de deux parties, on a d'abord donnée des généralités concernant le Profil Sismique à zéro offset, puis on a expliqué les différentes phases de traitement des données.

Le premier chapitre de ce document présente le principe d'un PSV, les différents types d'ondes enregistrées, les bruits enregistrés et les procédures utilisées pour leurs atténuations, ainsi que le matériel utilisé et la géométrie d'acquisition.

Le second chapitre est consacré aux différentes phases de traitement à savoir : le prétraitement, la séparation des champs d'ondes, et le traitement de l'imagerie sismique.



Chapitre 1:

*Principe et mise en
œuvre*

1.a. Introduction

La méthode géophysique la plus utilisée pour déterminer les structures du sous-sol est la sismique (Lavergne, 1986). La mise en œuvre la plus répandue est celle du type couverture multiple en sismique réflexion. Cette technique fournit une échographie du sous-sol en 2D ou en 3D.

Associée à la sismique de surface, le profil sismique vertical (PSV) permet une haute résolution en matière de description des réservoirs. Il consiste à émettre un signal à l'aide d'une source située à la surface du sol afin de l'enregistrer par un géophone placé dans le puits.

La sismique de puits est une technique de meilleure résolution que la sismique de surface, elle permet d'extraire des informations plus détaillées sur les formations géologiques.

La sismique de puits a pour but d'améliorer l'interprétation structurale et stratigraphique de la sismique de surface.

1.b. Principe d'un profil sismique vertical (PSV)

Le profil sismique vertical (PSV) est une opération de la sismique de puits pour laquelle un signal est émis à la surface du sol et enregistré par un géophone situé successivement à différentes profondeurs dans le puits.

Le PSV sert fondamentalement à enregistrer et analyser l'ensemble du champ d'ondes sismiques en fonction de la profondeur de sondage.

C'est donc l'enregistrement que l'on obtiendrait en descendant un dispositif sismographique dans un forage profond et en tirant en surface. Les signaux réfléchis et transmis arrivent au géophone, sont détectés dans le puits sous forme d'une superposition complexe d'ondes descendantes et ascendantes (Mari & Coppens, 2000).

Parmi les principales applications du profil sismique vertical on note:

- ✓ La corrélation avec la profondeur de la sismique réflexion.

- ✓ La mesure des vitesses des ondes.
- ✓ La prévision des zones compactées.
- ✓ L'identification des réflexions primaires et multiples.
- ✓ L'estimation du pendage des réflecteurs.
- ✓ La localisation des plans de faille.
- ✓ L'obtention d'une sismique de détail au voisinage du puits.

1.c. Différents types de sismique de puits

On distingue trois types de sismique de puits (Benhama & Guerchaoui, 2005):

- ✓ Tir dans le puits avec récepteurs dans un autre puits (cross well seismic).
- ✓ Tir dans le puits avec récepteurs en surface (reverse VSP).
- ✓ Tir en surface avec récepteurs dans le puits (VSP).

1.c.1. La sismique de puits à puits

Dans ce type, l'émission est faite dans le puits et la réception dans un autre puits adjacent. Les propagations des ondes sont extrêmement complexes puisqu'il existe, des propagations directes, des réflexions et des réfractions sur les couches au dessus et au dessous de la source et du récepteur.

La sismique de puits à puits peut fournir des images des formations entre les puits sous forme de sections en sismique réflexion. Elle est généralement utilisée dans le domaine minier ou de génie civil.

1.c.2. Tirs dans le puits

Dans ce type de sismique de puits, l'émission est faite dans le puits, la réception en surface. Le dispositif de réception est un ensemble de géophones disposés en ligne ou en nappe.

Cette mise en œuvre permet d'obtenir un ensemble de PSO en deux ou en trois dimensions, en un temps minimal d'occupation de puits, ce qui est déterminant pour l'étude des réservoirs.

1.c.3. Tirs en surface

On distingue quatre 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 (ensemble de PSO).
- ✓ Le PSV walkaround.

Profil sismique à offset nul (zéro offset VSP)

Dans ce type de dispositif, la source est proche de la tête de puits (faible offset), le trajet de l'onde est plus ou moins vertical (faible angle d'incidence). Et dans le cas d'un puits dévié, la source occupe des positions variables de façon à préserver le couple émetteur-récepteur sur la même verticale (Fig.1.1).

Les hypothèses faites pour le cas d'un PSV zéro offset sont :

- ✓ Le sous-sol est constitué de roches homogènes et isotropes.
- ✓ Le déport est faible (trajet verticaux).
- ✓ Les réflecteurs sont plans et horizontaux.
- ✓ On suppose que le puits est vertical.
- ✓ On ne considère que les ondes de compression (ondes P).

D'après ces hypothèses, on peut noter que pour le cas d'un puits vertical, les points miroir des ondes réfléchies enregistrées par toutes les positions de la sonde seront localisés sur la verticale de puits.

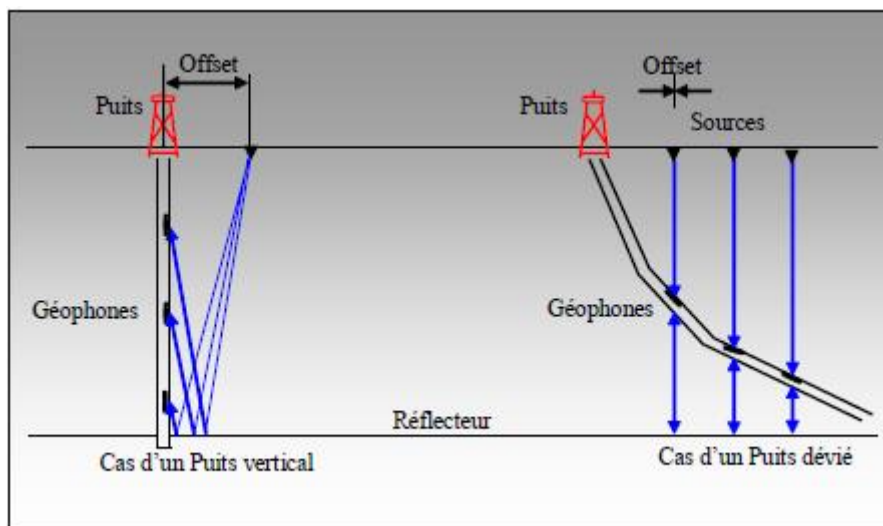


Figure 1.1: Profil sismique à offset nul (Bouhafs, 1998).

1.d. Les différentes ondes enregistrées en sismique de puits

Un enregistrement de sismique de puits comprend deux types d'ondes (Benhama & Geurchaoui, 2005) :

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

1.d.1. Les ondes de volume

L'étude des ondes de volume peut être faite en utilisant les temps de parcours. L'étude de ces temps de parcours d'une onde émise à la surface, et enregistrée par un géophone placé dans le puits, met en évidence des événements principaux, (Fig1.2).

- ✓ L'onde directe: Cette onde est enregistrée directement par les géophones, elle ne subit aucune réflexion.
- ✓ Les réflexions primaires: Ce type d'ondes est le résultat d'une réflexion sur différents horizons du champ d'ondes émis par la source.
- ✓ Les réflexions multiples: Ce sont des arrivées d'énergie qui au cours de leurs trajets ont subi plusieurs réflexions. D'après l'enregistrement brut on peut facilement distinguer les arrivées des multiples et celles de la réflexion simple. Elles se produisent lorsque le contraste d'impédance acoustique est important entre une couche et les autres couches adjacentes. Les réflexions multiples engendrent :
 - Les multiples montants: Ils sont parallèles aux ondes primaires, ils prennent naissance à l'aplomb des marqueurs qui les ont créés. Ils sont visibles uniquement par les géophones situés au dessus de ces marqueurs.
 - Les multiples descendants: Ils sont parallèles à l'arrivée directe, ils prennent naissance à l'aplomb des marqueurs qui les ont créés. Ils sont visibles uniquement par les géophones situés au dessous de ces marqueurs.

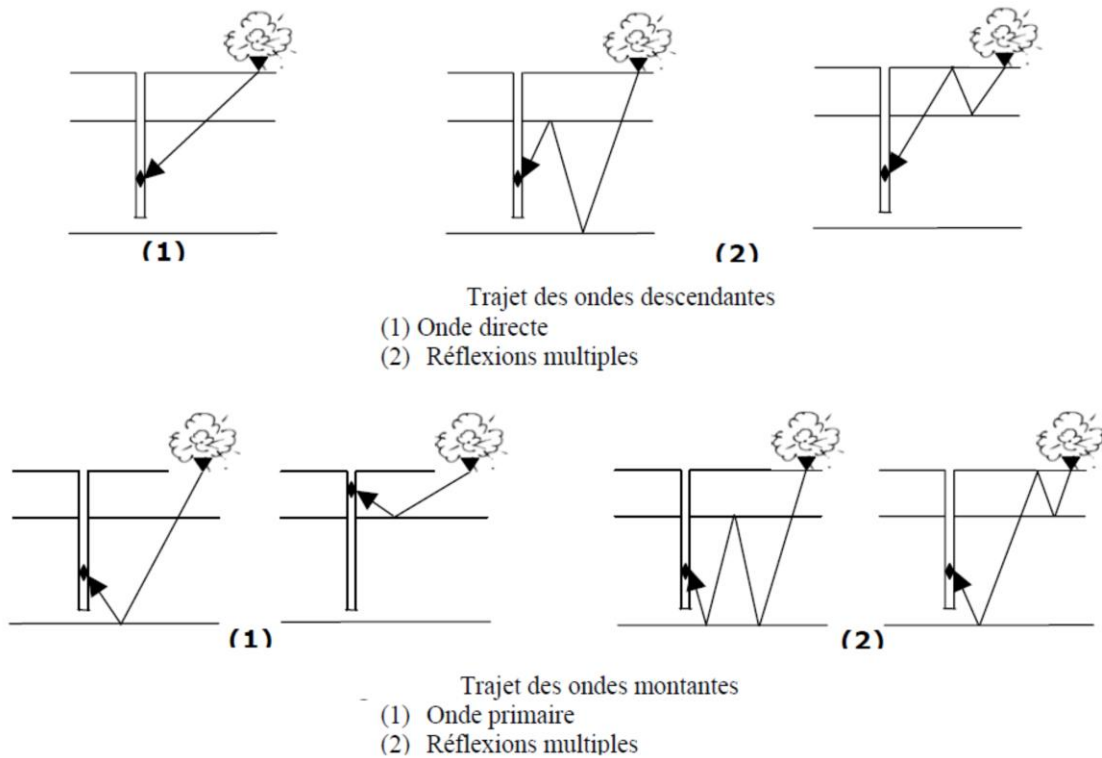


Figure 1.2: Trajet des ondes descendantes et montantes (Mahiout, 2004).

a- Cas d'un champ d'ondes montant :

L'étude des temps de parcours d'une onde émise à la surface enregistrée par un géophone de puits localisé à différentes profondeurs permet de mettre en évidence les principaux types d'ondes rencontrés lors de l'acquisition d'un profil sismique vertical, le puits est supposé foré verticalement.

Considérons un modèle géologique tabulaire composé de deux couches planes horizontales (Fig.1.3).

Tsg : temps d'arrivées de l'onde (SG) au géophone (G) (onde directe).

Tsrg: temps d'arrivée de l'onde (SR) au géophone(G) après une réflexion sur l'horizon.

Tg : temps d'arrivée de l'onde (SA) au géophone (G) après une réflexion sur l'horizon.

TSbcdg: temps d'arrivée du multiple montant au géophone (G).

Alors :

$$\left\{ \begin{array}{l} T_g = T_{SA} + (T_{SA} - T_{sg}) = 2 \cdot T_{SA} - T_{sg} \\ T_{srg} = T_{SR} + (T_{SR} - T_{sg}) = 2 \cdot T_{SR} - T_{sg} \\ T_{Sbcdg} = T_{SA} + 3(T_{SA} - T_{SR}) + (T_{SR} - T_{sg}) = 2 \cdot T_{SA} + 2 \cdot (T_{SA} - T_{SR}) - T_{sg} \end{array} \right.$$

Ces expressions ont la forme suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Temps des évènements} \\ \text{montants au géophone} \\ \text{à partir des interfaces} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Temps double de} \\ \text{l'arrivée des évènements} \\ \text{en surface} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Temps simple de l'arrivée} \\ \text{de l'onde directe à la} \\ \text{profondeur du géophone} \end{array} \right\}$$

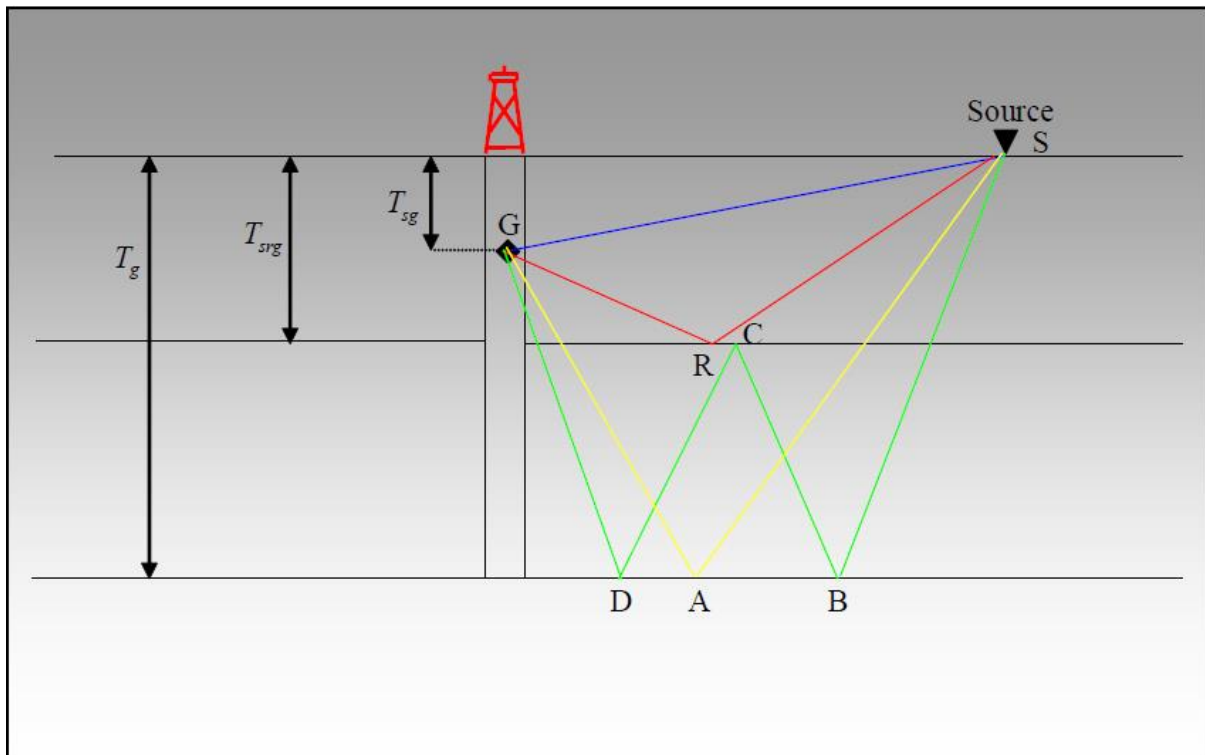


Figure 1.3: Trajet des ondes montantes (Bouhafs, 1998)..

a- Cas d'un champ d'ondes descendant :

Selon la figure 1.4 on peut écrire les équations des temps d'arrivées au géophone (G) comme suit :

$$\begin{cases} TS_{adg} = 2.TS_a + T_g \\ TS_{bcg} = 2.TS_b + T_g \\ TS_{efg} = TS_a + (TS_a - TS_b) + (T_g - TS_b) = 2.(TS_a - TS_b) + T_g \end{cases}$$

Ces expressions ont la forme suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Temps des évènements} \\ \text{descendants à la} \\ \text{position du géophone} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Temps double de} \\ \text{réflexion d'évènement} \\ \text{entre les horizons} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Temps simple de l'arrivée} \\ \text{de l'onde directe à la} \\ \text{profondeur du géophone} \end{array} \right\}$$

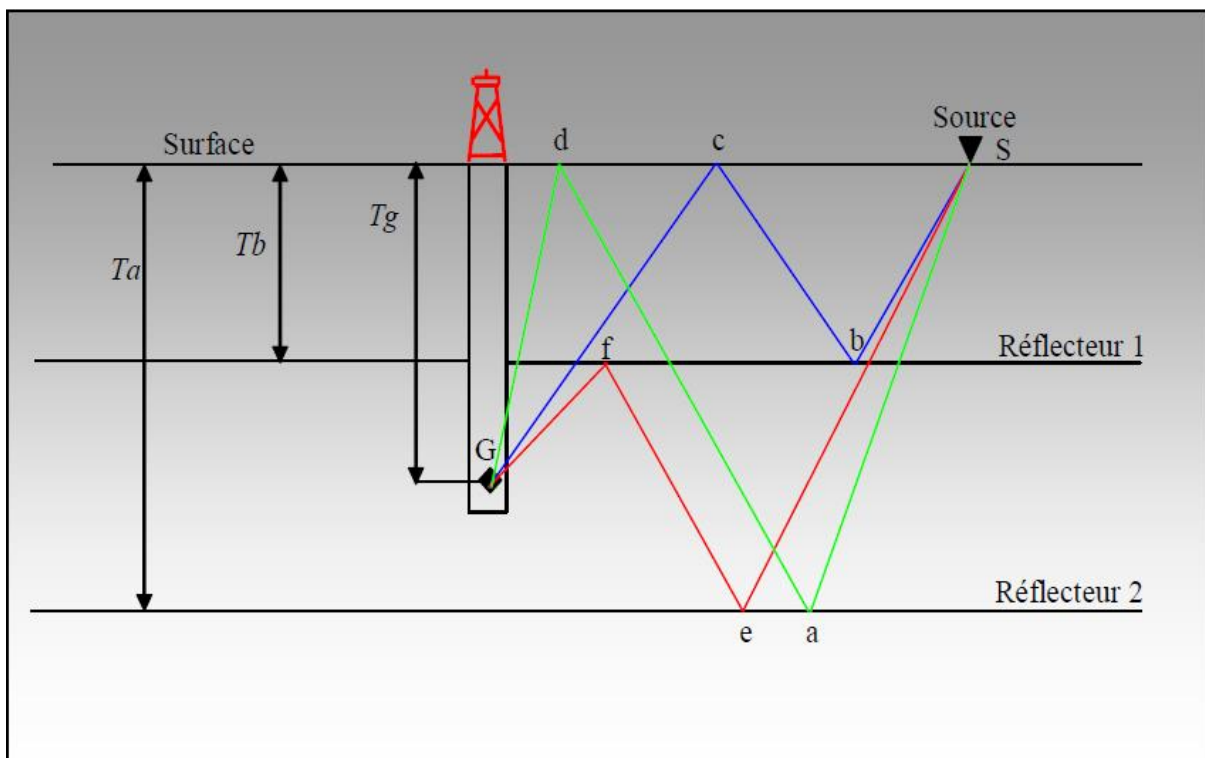


Figure 1.4: Trajet des ondes descendantes (Bouhafs, 1998)..

1.d.2. Les bruits

Deux types d'ondes sont considérés comme des bruits dans l'enregistrement de la sismique de puits.

a- Les ondes de câble :

Ce sont des ondes qui sont provoquées par les vibrations du câble générées par le vent ; le bruit des engins donne naissance à une onde qui excite le géophone de puits et provoque un fort niveau de bruit sur le PSV (Mari & Coppens, 2000).

L'onde de câble se propage avec une vitesse allant de 2500m/s jusqu'à 3500m/s, elle devient très gênante dans le cas des puits à faibles profondeurs, forés dans des zones où la vitesse de propagation de l'onde sismique est faible.

L'atténuation de ce type d'onde consiste à donner du mou au câble (Fig.1.5).

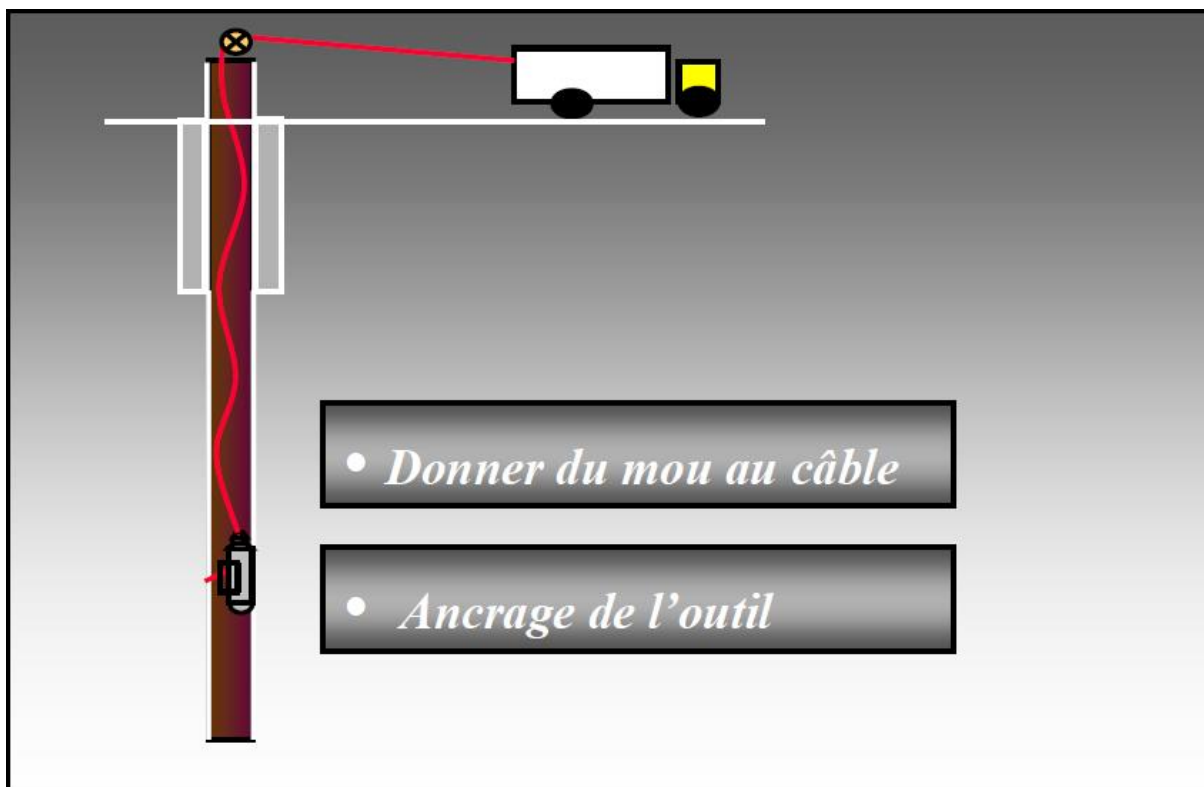


Figure 1.5: Technique de réduction de l'onde de câble (Mahiout, 2004).

b- Les ondes de boue :

Origine : Les ondes de tube, ou les ondes de boue, sont les bruits les plus gênants qui peuvent exister dans un enregistrement de sismique de puits. Ils sont créés lorsque'il y a mise en mouvement des particules de la colonne de boue qui remplit le puits.

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 acoustiques ou au niveau des discontinuités du trou (cave, sabot de tubage, fond du puits...).

Caractéristiques : Elle 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.

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 (Fig.1.6).

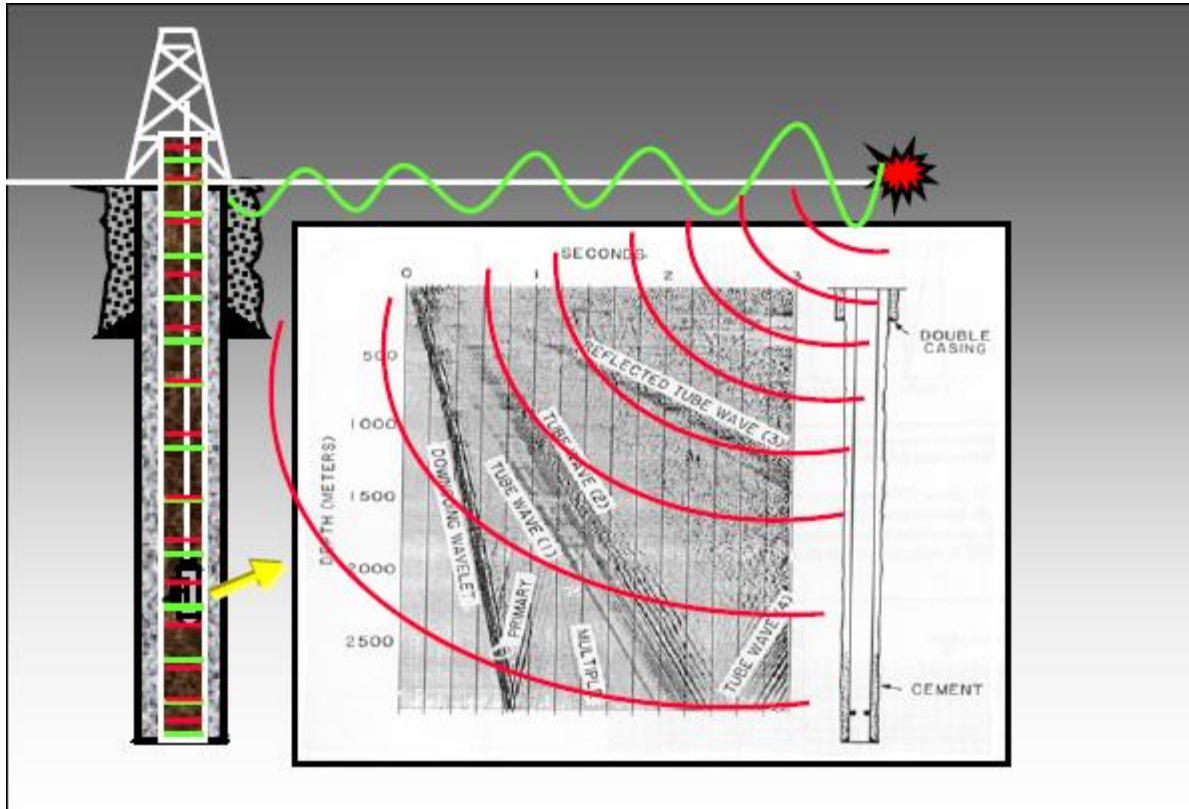


Figure 1.6: Onde de boue (Mahiout, 2004).

Atténuation : L'atténuation des ondes de tube consiste à abaisser le niveau de la boue de telle sorte que l'amplitude de l'onde de surface soit la plus faible possible, à titre d'exemple, si on abaisse la longueur de la colonne de boue sur une hauteur égale à la demi-longueur fondamentale ($\lambda/2$) des ondes de surface leurs amplitude ne représenteraient que 5% de l'amplitude initiale (Mari & Coppens, 2000)..

Une autre façon d'atténuer ce type d'onde, consiste à creuser entre la source et le puits une tranchée (Ditch) distante d'une demi-longueur d'onde de la source (Fig.1.7).

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

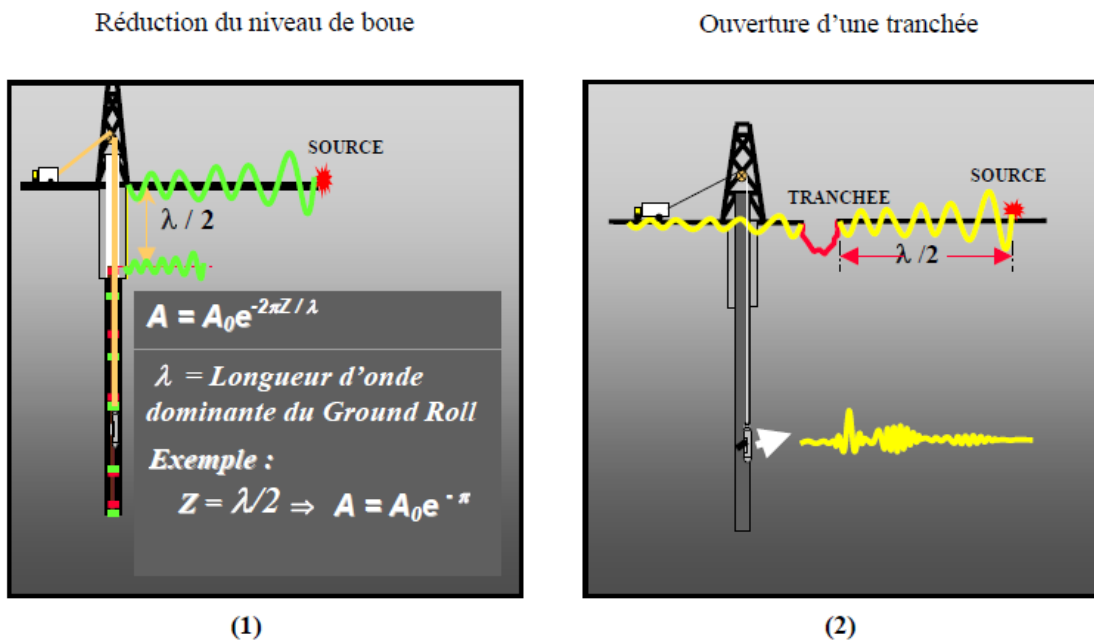


Figure 1.7: Techniques de réduction des ondes de boue (Mahiout, 2004).

1.e. Acquisition des données PSV

La mise en œuvre d'une sismique de puits nécessite au minimum un puits, un câble et un treuil, un système de réception composé d'un ou plusieurs capteurs, une source sismique, une sonde signature ou des géophones de surface, une chaîne d'acquisition ou laboratoire sismique.

Le puits : En raison des considérations faites sur les ondes de tube, on préfère utiliser un puits cimenté et revêtu avec un tubage unique sur toute la longueur du puits, ou un puits non tubé, pour un meilleur couplage du géophone avec la profondeur.

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.

Les sources généralement utilisées en sismique de puits sont la dynamite, la chute de poids, le canon à air, le canon à eau et le vibreur vertical. La source la plus utilisée de nos jours est le camion vibreur (vibrois).

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.

Le système de réception : Le système de réception peut être un géophone, une sonde (géophone de puits), ou une antenne de capteurs.

La sonde contient des géophones à 3 composantes (Fig.1.8), des amplificateurs et dans les outils récents ont un système de digitalisation, de démultiplexage et de télémétrie. La sonde doit être conçue pour :

- ✓ minimiser les effets des ondes de tube.
- ✓ assurer un meilleur couplage de l'outil avec la formation, le calage est obtenue en minimisant la masse de l'outil, en maximisant la surface de contact avec la paroi de puits.
- ✓ avoir un système de contrôle de la profondeur.
- ✓ résister aux hautes températures et pressions.

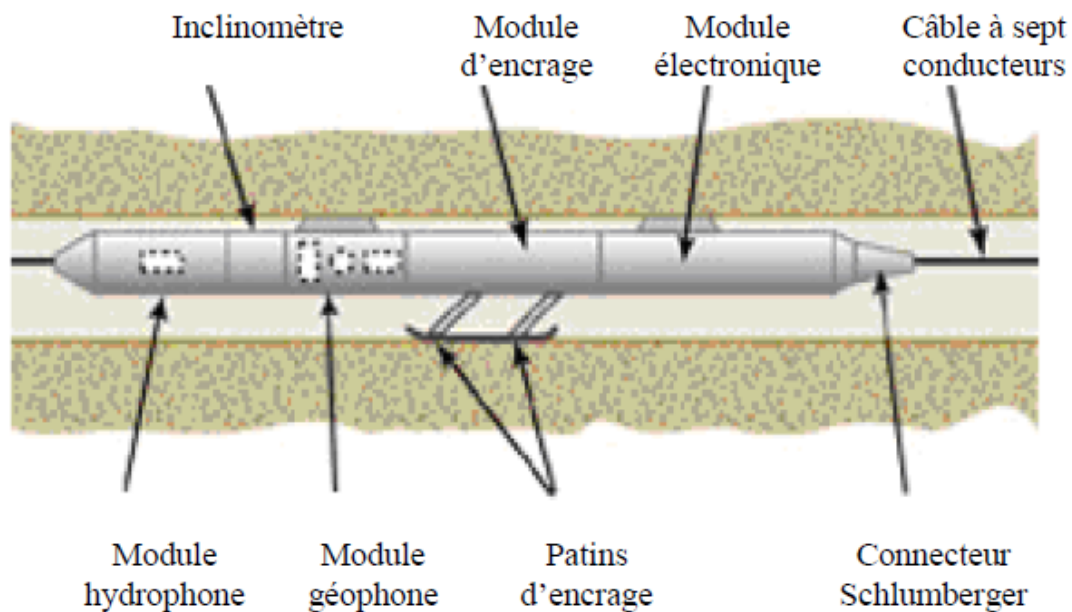


Figure 1.8: Une Sonde (Mahiout, 2004)..

1.f. Chaîne d'acquisition

L'acquisition est un ensemble d'opérations de terrain qui conduit à l'enregistrement des données sismiques. L'acquisition du PSV est réalisée du fond de puits vers la surface pour une meilleure commodité d'acquisition, (Fig.1.9).

L'enregistrement PSV est un enregistrement à deux dimensions en temps et en profondeur. Les performances d'un laboratoire utilisé dans l'enregistrement des PSV doivent être identiques à celles des laboratoires sismiques. Ces laboratoires consistent à :

- ✓ positionner la sonde dans le puits.
- ✓ actionner et contrôler l'encrage de la sonde.
- ✓ visualiser en temps réel les enregistrements après chaque tir afin de permettre un contrôle de qualité.

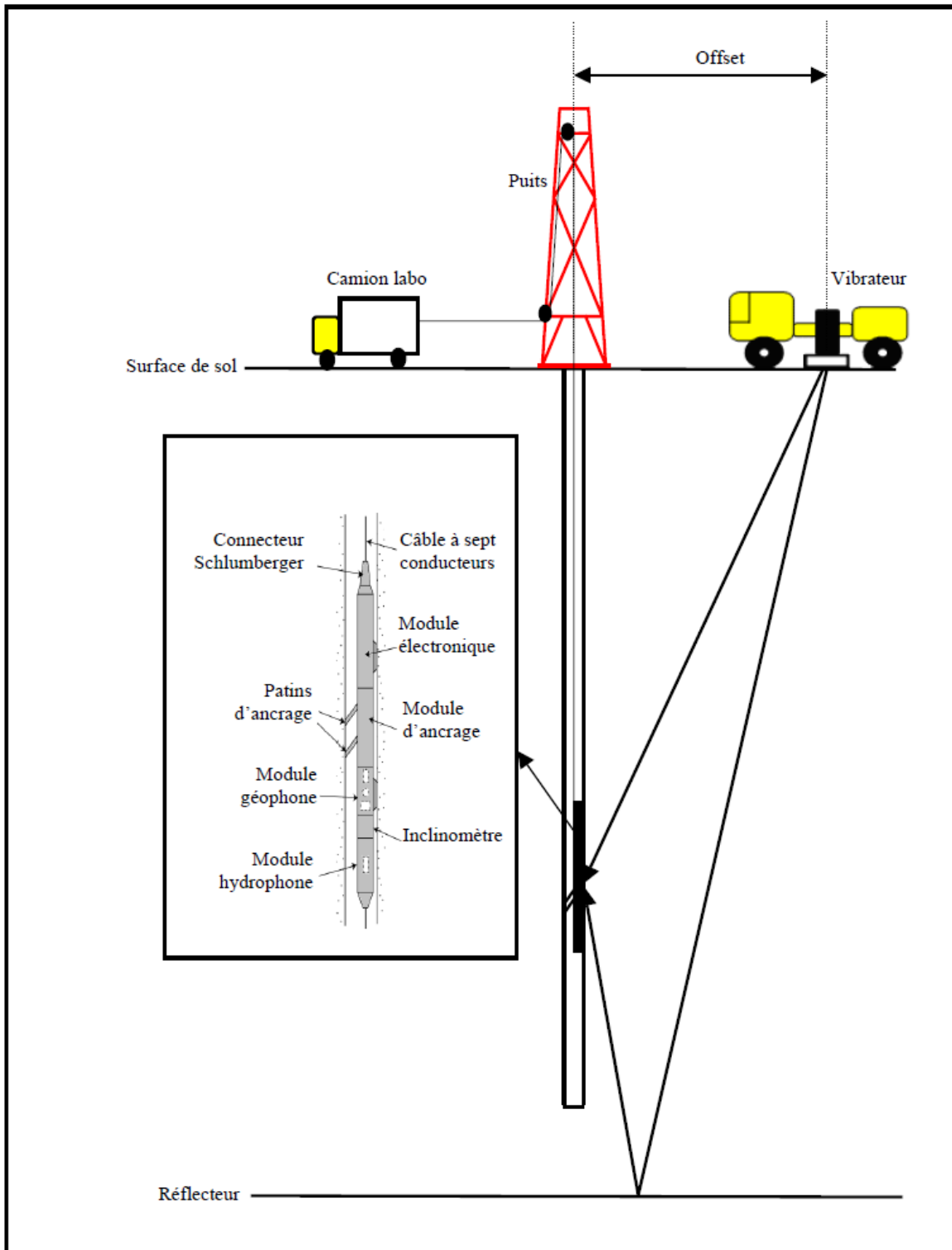


Figure 1.9: Mise en œuvre d'un VSP.



Chapitre 2:

Traitement d'un PSV

Zéro offset.

2.a. Introduction

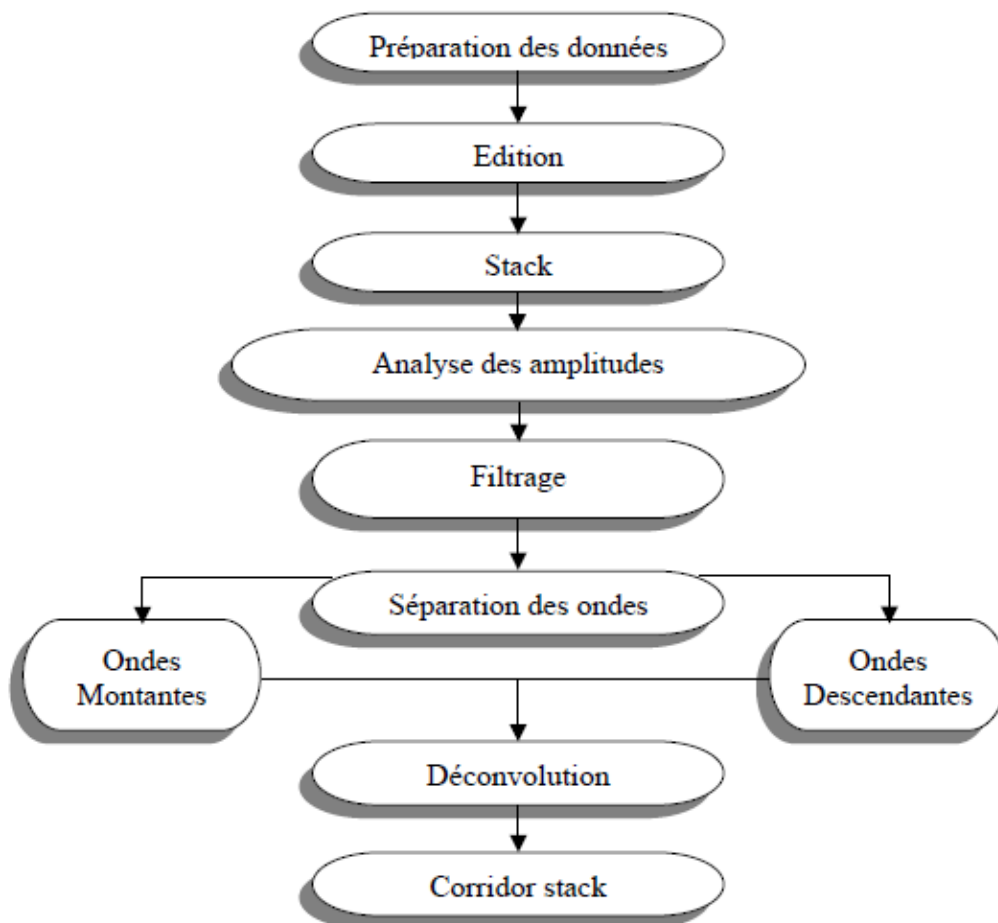
Le traitement proprement dit est fait suite à la préparation des données (édition et pré traitement). Certaines opérations de traitement ont pour objet d'accroître la détectabilité du signal. D'autres visent à reproduire plus exactement les formes des couches.

Le but de traitement d'un PSV à offset nul consiste à obtenir une trace somme comparable à un sismogramme synthétique sans multiple au voisinage du puits.

Le traitement spécifique à l'enregistrement VSP est la séparation du champ d'onde montant du champ d'onde descendant (Mahiout & Benchiri, 2004).

Les différentes phases de traitement :

- ✓ Prétraitement des données.
- ✓ La séparation des ondes.
- ✓ Traitement de l'imagerie sismique.



2.b. Prétraitement des données

2.b.1. Préparation des données

- ✓ **Démultiplexage** : consiste à réorganiser les échantillons sur la bande terrain.
- ✓ **Récupération du gain labo** : Lors de l'enregistrement des données au niveau du laboratoire, un gain est appliqué à chaque échantillon. Cette opération consiste à enlever le gain labo appliqué à l'enregistrement et récupérer l'amplitude vraie des traces.
- ✓ **Correction d'obliquité** : cette opération consiste à ramener les trajets obliques à des trajets verticaux.

2.b.2. L'édition

Elle désigne les opérations qu'il faut faire sur les enregistrements de terrain avant tout prétraitement. Elle consiste à la suppression des mauvaises traces (les traces mortes et les traces à polarité inversée), (Benhama, 2005).

2.b.3. Le pointé des premières arrivées

Cette étape consiste à pointer les temps des premières arrivées, et par la suite d'établir la courbe $T=f(H)$ utilisée dans le sismosondage (carottage sismique). Cette courbe donne les différentes vitesses telle que :

- ✓ vitesses d'intervalles V_i .
- ✓ vitesse moyenne V_m .
- ✓ vitesse quadratique moyenne V_{rms} .

- vitesses d'intervalles V_i :

$$V_{int} = \frac{Z_i - Z_{i-1}}{T_i - T_{i-1}}$$

Avec:

Z : la profondeur de la $i^{\text{ème}}$ couche.

T : Le temps double.

- **Vitesse moyenne V_m :**

$$V_m = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n V_i t_i$$

avec : $T = \sum_{i=1}^n t_i$

V : La vitesse de la i ème couche.

t : Le temps de la i ème couche.

T : Le temps total que met l'onde pour traverser toutes les couches.

N : le nombre de couches.

- **La Vitesse quadratique moyenne V_{rms} (Root Mean Square) :**

$$V_{rms}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n V_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

2.b.4. La récupération des amplitudes réelles

Cette opération consiste à récupérer les amplitudes réelles du signal atténué lors de sa propagation dans le sous sol. A cet effet des corrections ont été faites et parmi lesquelles on peut citer :

- ✓ La divergence sphérique.
- ✓ L'absorption

a- 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. C'est un phénomène qui ne cause aucune perte d'énergie (Fig.2.1).

Cette correction peut être faite en appliquant la formule de Newman (1973)

$$\frac{A_D}{A_1} = \frac{V_0}{V_{rms}^2 T}$$

A : Amplitude de l'onde à la distance D

A₁ : Amplitude de l'onde à la distance d=1

V₀ : Vitesse de premier milieu

V_{rms} : Vitesse quadratique moyenne au temps T.

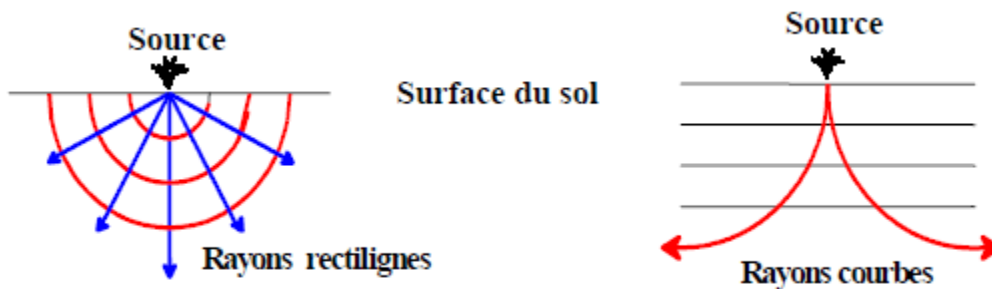


Figure 2.1: Divergence sphérique.

b-L'absorption :

L'absorption est l'une des causes de l'atténuation que les ondes subissent au cours de leurs propagations dans le sol. En effet, Une partie de l'énergie de l'onde est transformée en chaleur car le sol n'est pas parfaitement élastique.

D

Pour une vibration sinusoïdale, elle est représentée par une fonction croissante du nombre de longueur d'onde parcourue. Elle atténue préférentiellement les composantes du spectre des ondelettes qui ont les fréquences les plus élevées.

Une décroissance en exponentiel des hautes fréquences est illustrée par la figure 2.2.

L'absorption provoque l'atténuation des hautes fréquences.

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

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

A₀ : Amplitude initiale.

α : Coefficient d'absorption.

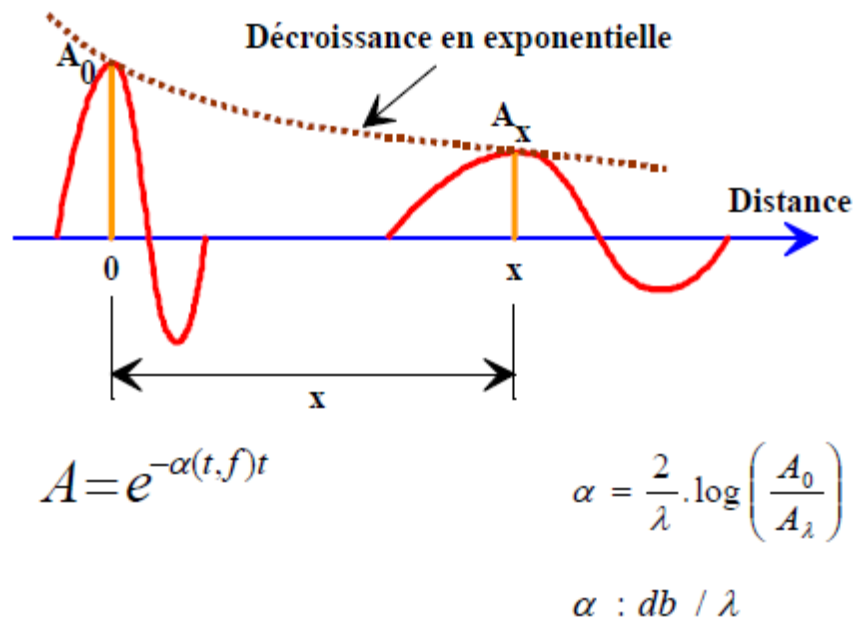


Figure 2.2: L'absorption.

2.c. La séparation des ondes

Un enregistrement PSV comprend les évènements descendants et les évènements montants. La séparation de ces deux évènements, est basée de façon explicite ou implicite dans les différentes méthodes de séparation, sur le fait que les deux types d'ondes ont des vitesses apparentes de signe opposé.

Il existe plusieurs méthodes de séparation d'ondes. On citera principalement :

- ✓ Le filtre médian.
- ✓ Le filtre f-k

2.c.1. Filtre médian

Ce filtre est basé sur la détermination de la valeur médiane; il opère d'une façon glissante soit en temps, soit en distance. Il permet d'éliminer une valeur aberrante isolée. Le nombre de traces prises en compte dans ce filtre est obligatoirement impair et doit être suffisamment grand.

Soit a_1, a_2, a_3, a_4 et a_5 une série d'échantillons de différentes amplitudes. Leur arrangement dans l'ordre croissant par exemple, donne une autre série: a_2, a_1, a_4, a_5 et a_3 .

Le filtre médian prendra alors la valeur médiane qui est a_4 . La figure 2.3 montre l'application de ce filtre.

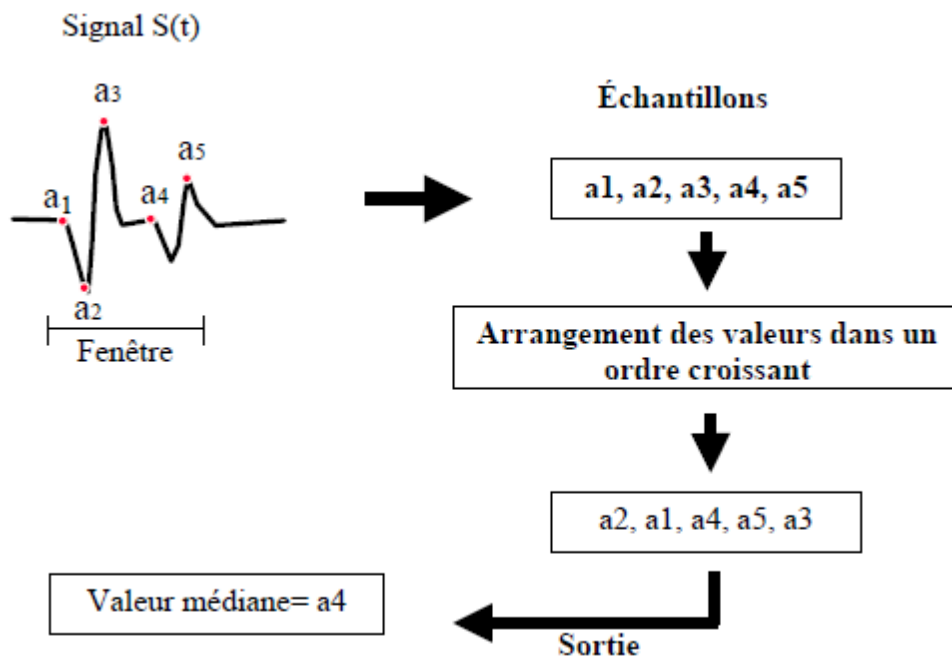


Figure 2.3: Filtre médian.

Le filtre médian est un filtre non linéaire, rapide et efficace, mais qui ne conserve pas les amplitudes.

2.c.2. Filtre f-k

Ce type de filtre est destiné à séparer les ondes montantes et descendantes dans un enregistrement PSV à condition que le pas d'échantillonnage spatial ΔZ soit constant. C'est la différence de signe en vitesse apparente qui caractérise les ondes montantes et les ondes descendantes qui nous permet de les séparer.

Pour passer du domaine (z,t) au domaine (f,k) , on applique la transformée de Fourier. Le champ d'onde descendant apparaît dans le premier quadrant, et le champ d'onde montant apparaît dans le 2ème quadrant.

Pour extraire le champ d'onde descendant, on multiplie leurs amplitudes par l'unité et les amplitudes du champ d'onde montant par zéro, et inversement.

En dernier lieu, on applique la transformé de Fourier inverse pour revenir du plan f-k au plan z-t ou les événements descendants ont été considérablement atténués.

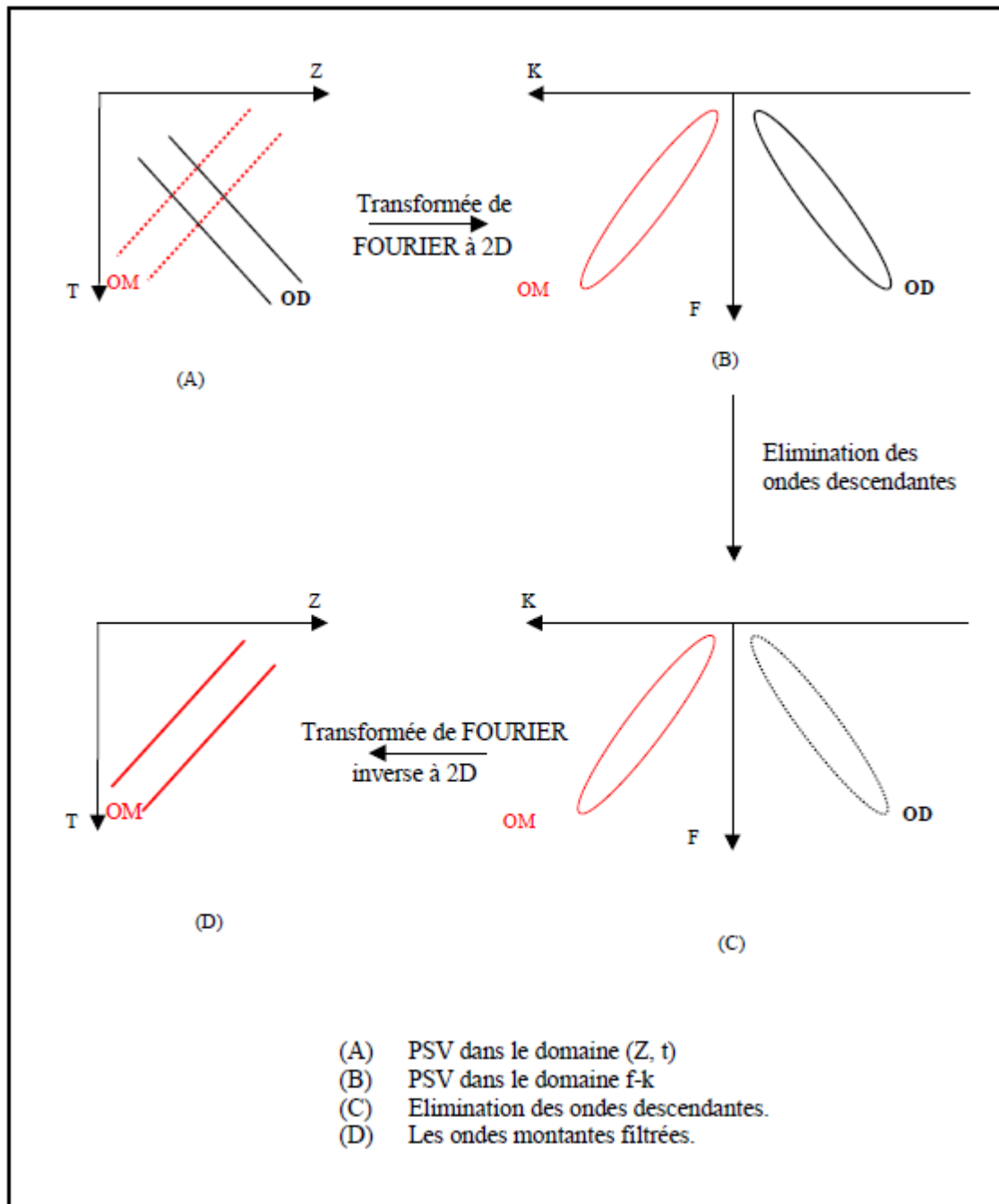


Figure 2.4: Principe du filtre f-k (Mahiout & Benchiri, 2004).

2.d. Traitement d'imagerie sismique

Après séparation des ondes, la séquence de traitement qui aboutit à l'image sismique est la suivante :

2.d.1. La déconvolution

La déconvolution a pour objet de pallier les inconvénients de divers processus qui contribuent à donner aux signaux sismiques un spectre de fréquence mal réparti. Elle égalise les amplitudes des composantes de spectre.

On distingue deux types de déconvolution, (Hardage, 1985):

- ✓ Déconvolution ayant pour but d'atténuer les réflexions multiples.
- ✓ Déconvolution servant à contracter l'impulsion sismique émise pour la ramener à une impulsion brève.

La déconvolution est un filtre inverse. Elle agit par atténuation des composantes du spectre de fréquence les plus énergiques. Elle sert à atténuer les réflexions multiples et à améliorer le pouvoir de résolution.

Dans un enregistrement PSV le niveau d'énergie des ondes descendantes est plus important que celui des ondes montantes.

Le champ d'ondes descendant extrait sera utilisé dans le calcul de l'opérateur de déconvolution qui servira par la suite à l'atténuation des réflexions multiples montantes.

$$M_{(z,t)} = D(z,t) * R_z(t)$$

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

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

$R(t)$: Série des coefficients de réflexion

L'onde montante enregistrée à la côte Z est le résultat de la convolution de l'onde descendante à cette même côte par la suite des coefficients de réflexions situés au dessous de Z . Le modèle implicite des ondes montantes peut se schématiser comme suit :

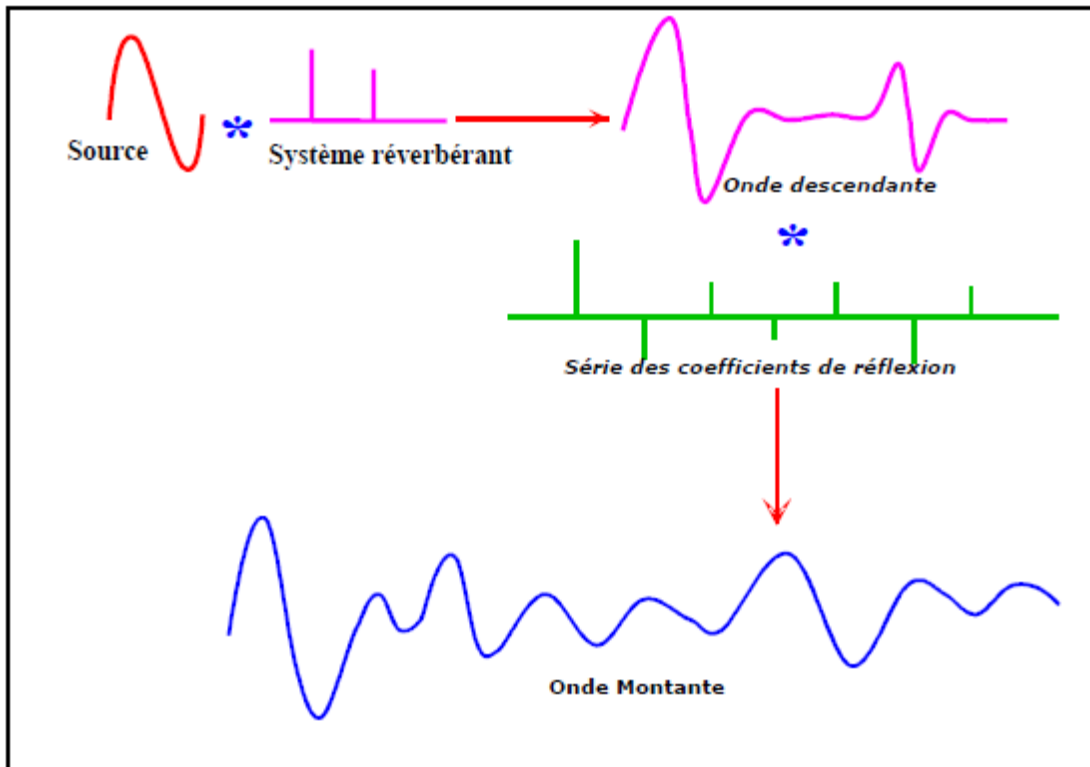


Figure 2.5: Modèle implicite des ondes montantes (Mahiout & Benchiri, 2004).

2.d.2. Horizontalisation des ondes montantes

Cette opération sert à rendre l'enregistrement PSV comparable en temps à un enregistrement de sismique de réflexion, (Mari & Coppens, 2000).

Elle consiste en une série de corrections statiques destinées à ajouter à chaque trace du PSV le temps nécessaire à l'onde pour remonter en surface.

Une fois cette opération réalisée, les temps deviennent doubles comme en sismique de surface.

2.d.3. Couloir de sommation

Afin de faciliter la comparaison de l'onde montante du PSV avec la section sismique, on peut sommer les traces selon l'axe des Z dans un couloir, suivant immédiatement la première arrivée, appelé le corridor stack.

La trace somme ainsi obtenue est comparable à la trace sismique de surface au voisinage du puits. On choisit un couloir de sommation étroit de façon à ne conserver que le signal réfléchi reçu immédiatement après la première arrivée. La trace somme est alors comparable à un film synthétique sans multiples.

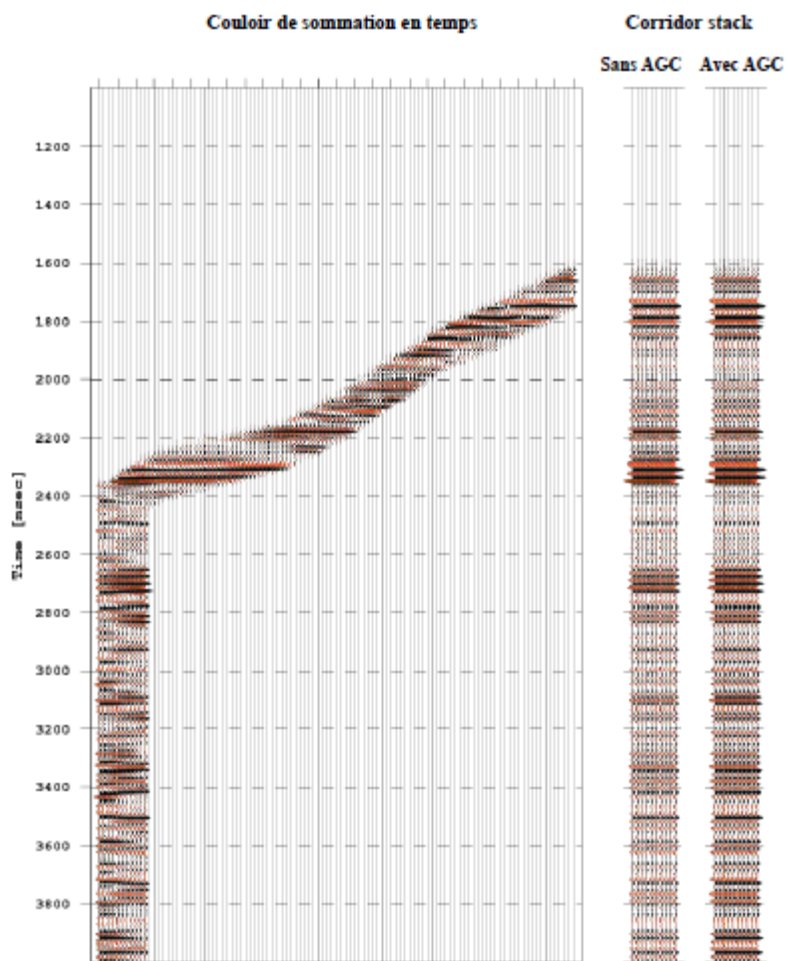
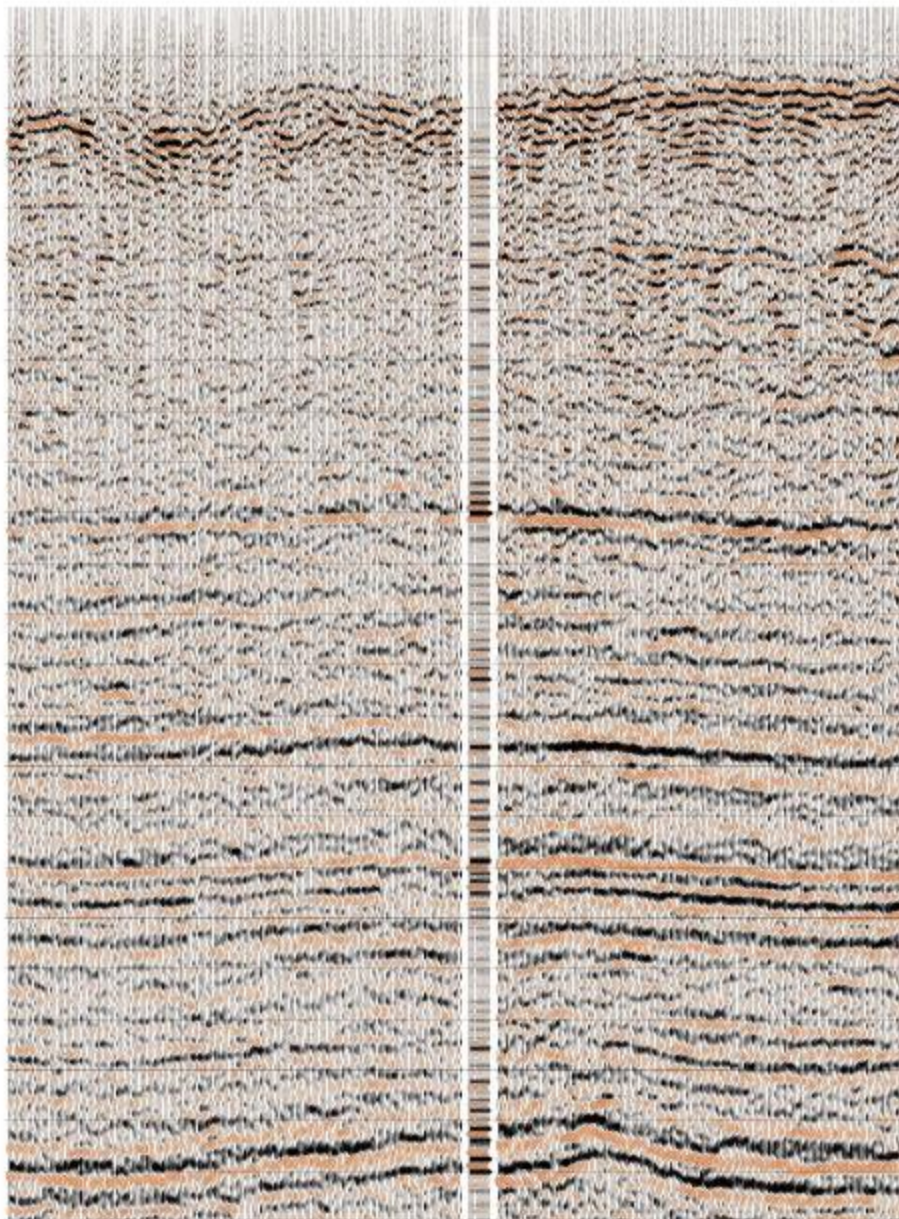



Figure 2.6: Corridor stack en temps, (Document SH, 2009).



Avec le corridor stack

Figure 2.7: Calage avec la section sismique, (Document SH, 2009).



Conclusion générale

Conclusion générale

Le profil sismique vertical est l'outil sismique de gisement actuellement le plus utilisé. Ses principales applications sont :

- ✓ Une meilleure corrélation lithostratigraphique entre l'information de puits et la sismique de surface.
- ✓ La détermination des vitesses de propagation des ondes P et/ou S.
- ✓ L'identification des réflexions primaires et multiples.
- ✓ La prédiction des réflecteurs en dessous du puits.
- ✓ La détection des failles et autre discontinuités au voisinage du puits.
- ✓ L'obtention d'information lithologique.

Bibliographie

Benhama, A. Guerchaoui, A. sismique de puits, Institut algérien du pétrole (IAP). (juin 2005).

Bouhafs, C. Etude et analyse des enregistrements à trois, composantes en sismique de puits, mémoire de fin d'études (diploma d'ingénieur d'Etat), SH/IAP. (juin 1998).

Hardage B.A. Vertical seismic profiling, Principals seismics exploration volume 141 geophysical press Bob. (1985).

Henry, G. Géophysique des bassins sédimentaires, Edition Technip. (1994).

Lavergne, M. Méthodes sismiques, Edition Technip. (1986).

Mari, J.L. Coppens Françoise. La sismique de puits, Edition Technip. (2000).

Mahiout, M. Benchiri, O. Traitement d'un PSV réel zéro offset sur station PROMAX (LANDMARK), mémoire de fin d'études (diplôme d'ingénieur spécialisé), SH/IAP. (Février 2004).