

GEO1303 – Méthodes sismiques

11 - Profilage sismique vertical

Bernard Giroux
(bernard.giroux@ete.inrs.ca)

Institut national de la recherche scientifique
Centre Eau Terre Environnement

Version 1.0.5
Automne 2020

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des
données
Applications
Références

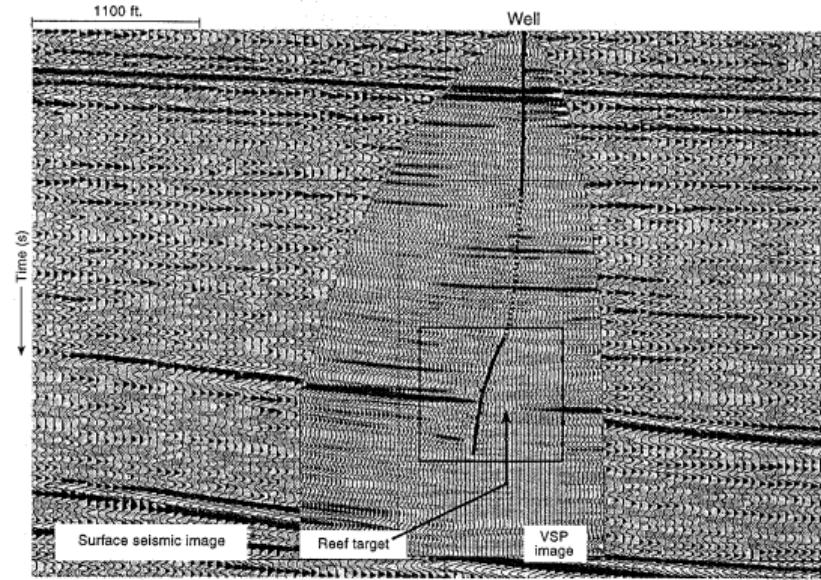
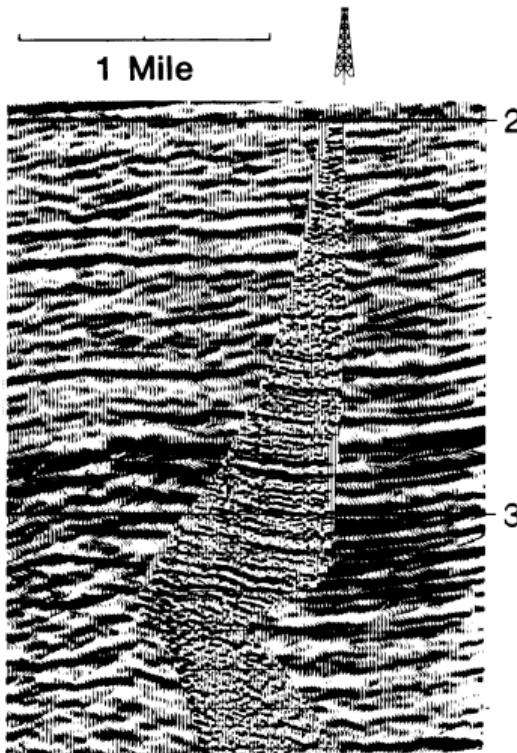
Introduction

Introduction

- Les mesures en forage permettent d'améliorer la résolution verticale :
 - permet d'établir la relation temps-profondeur de façon précise;
 - permet de caler la sismique de surface;
 - fournit une sismique de détail au voisinage d'un puits;
- Elles permettent d'identifier les réflexions primaires et multiples;
- Elles permettent de prédire la présence de réflecteurs ou de zones d'anomalies à l'avant du forage, c'est-à-dire sous le puits pour un forage vertical et à l'avant du front de taille d'un tunnel pour un forage horizontal;
- La sismique en forage est utilisée pour obtenir une meilleure connaissance du gisement en phase d'exploration, mais peut être également utilisée en phase d'exploitation en sismique répétitive pour l'étude du gisement au cours du temps (*monitoring*).

Introduction

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Applications
Références

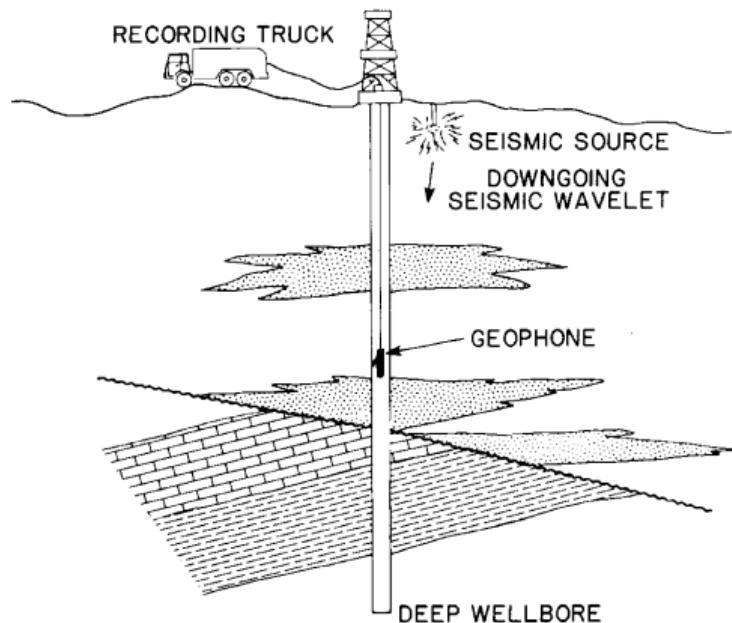


Mise en œuvre

Mise en œuvre

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Applications
Références

- La source est située en surface et les géophones dans le forage (moins de bruit);
- Profil déport nul : source proche du trou;
- PSV déporté : la source est éloignée du trou, i.e. réflexion à plus de 30° impliquant un traitement des données différent.



Considérations générales

Introduction

Mise en œuvre

Traitement des
données

Applications

Références

- On utilise en général une «antenne» comportant plusieurs géophones;
- On utilise généralement des géophones trois composantes;
- La distance Δz entre deux positions de géophones doit être faible :

$$\Delta z \leq \frac{v_{min}}{2f_{max}}, \quad (1)$$

où

- v_{min} est la vitesse minimale dans la formation;
- f_{max} est la fréquence maximale enregistrée.
- Le déport d (source-forage) dépend de la profondeur h de la cible. Pour une imagerie par réflexion, les angles d'incidence ne doivent pas dépasser 30° (traitement plus simple). Une règle pratique donne $d < \frac{3h}{4}$.

Géophones

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Applications
Références

Antenne pour les trous miniers



Géophones

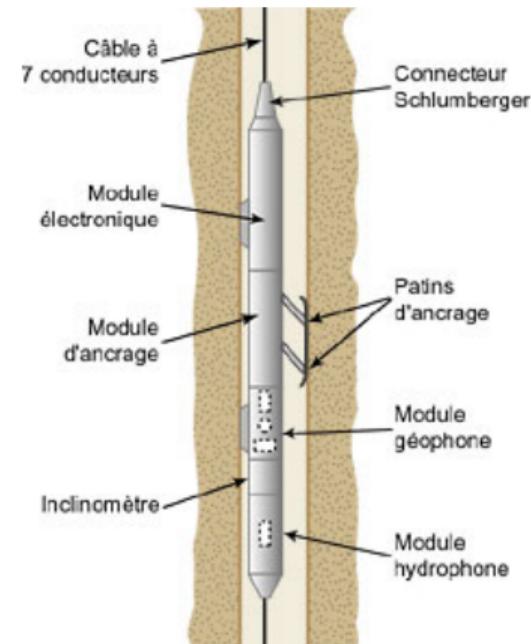
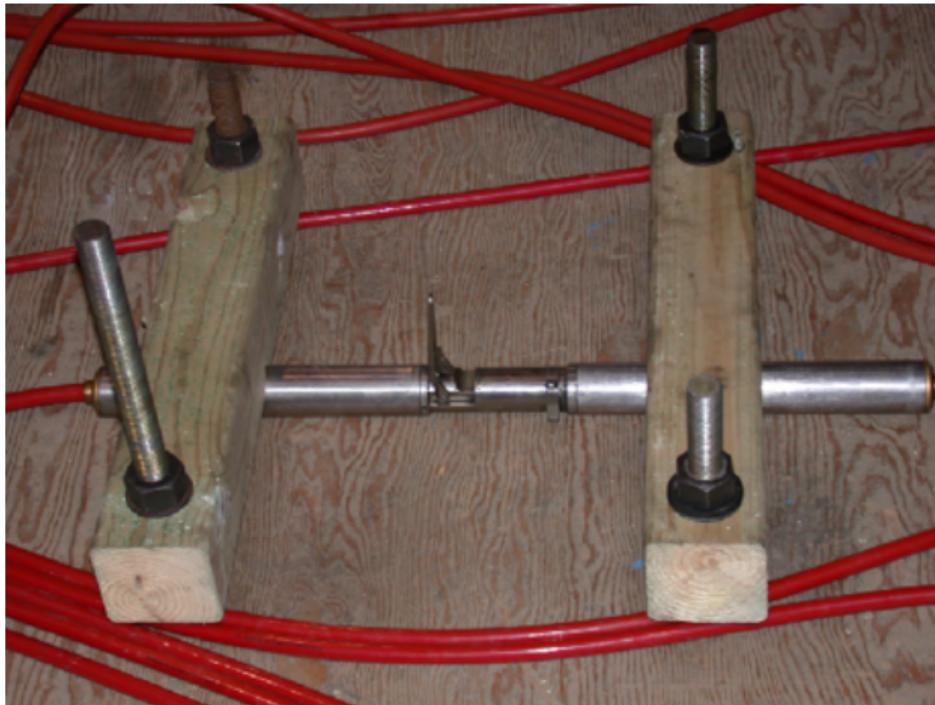
Introduction

Mise en œuvre

Traitement des
données

Applications

Références



Vue générale

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Applications
Références



Console

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Applications
Références



Console

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Applications
Références



Treuil

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Applications
Références



Pétrolier

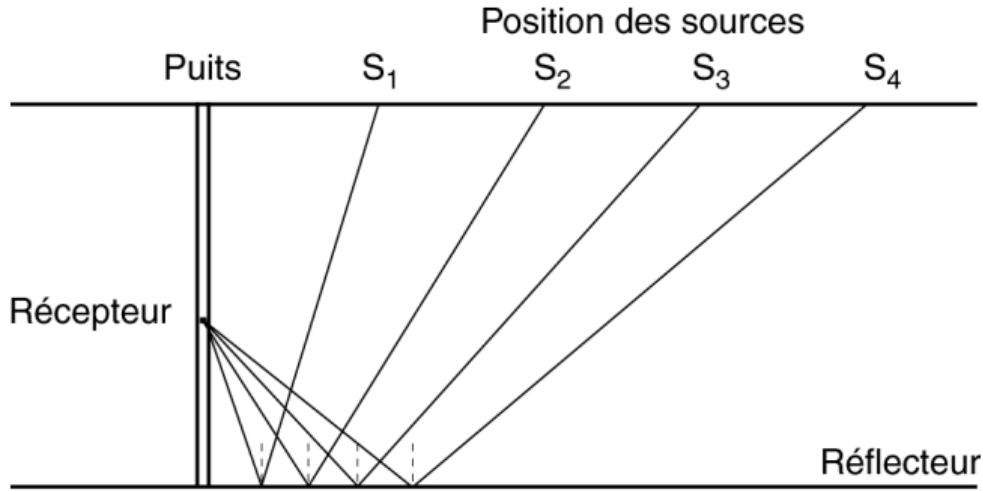
Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Applications
Références



Balade sismique

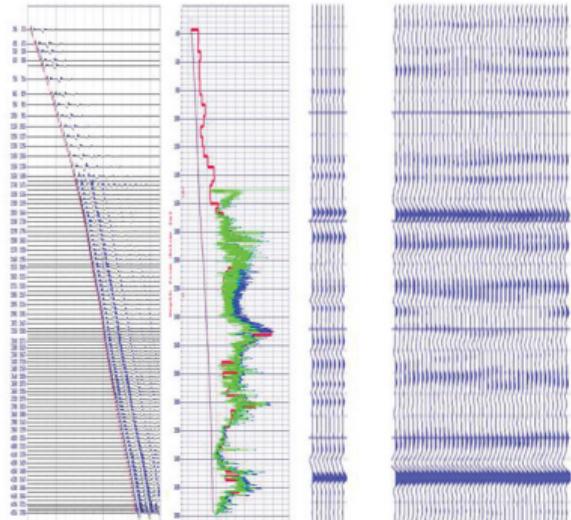
Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Applications
Références

- Une ballade sismique ou *walkaway* est un ensemble de PSV déportés;
- La source occupe successivement plusieurs positions correspondant à des déports croissants par rapport au forage;
- L'image obtenue après traitement est une section en couverture multiple de faible degré.



Tirs de calibration

- Les tirs de calibration (*check shots*) se font en mesurant la 1^{re} arrivée à plusieurs point le long du trou, pour une source à faible déport;
- Les avantages sont :
 - Relation temps-profondeur précise;
 - Analyse de vitesse améliorée;
 - Calibration des diagraphies soniques → sismogrammes synthétiques plus précis;
 - Meilleure estimation de l'atténuation et du facteur de qualité Q .



Introduction

Mise en œuvre

Traitement des données

Les ondes enregistrées

Sources de bruit

La phase de pré-traitement

Déconvolution prédictive

Le pointé des temps d'arrivée

La séparation des ondes

Obtention de l'image finale

Applications

Références

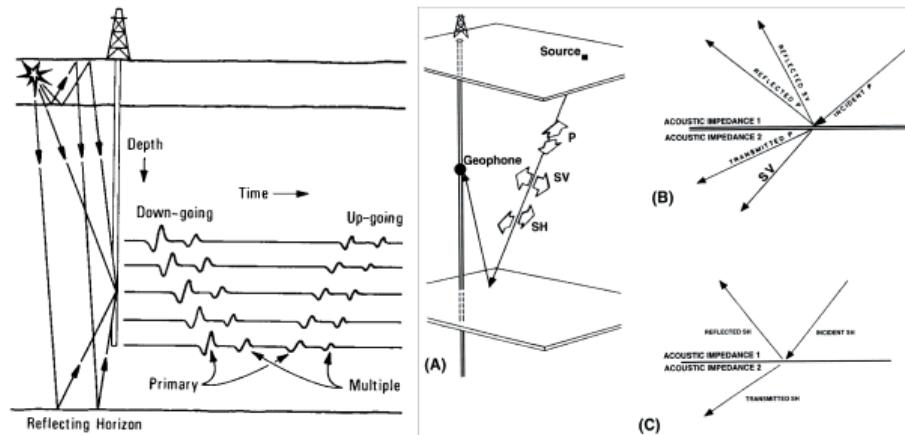
Traitement des données

Schéma général

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale

Applications
Références

- Un enregistrement PSV est composé d'ondes ascendantes et descendantes P et S, ainsi que des modes guidés liés à la présence du puits et du fluide.



- Lorsque la source est déportée on observe des phénomènes de conversion au réflecteur : des ondes S s'ajoutent aux enregistrements.

Schéma général

- Introduction
- Mise en œuvre
- Traitement des données
- Les ondes enregistrées
- Sources de bruit
- La phase de pré-traitement
- Déconvolution prédictive
- Le pointé des temps d'arrivée
- La séparation des ondes
- Obtention de l'image finale
- Applications
- Références

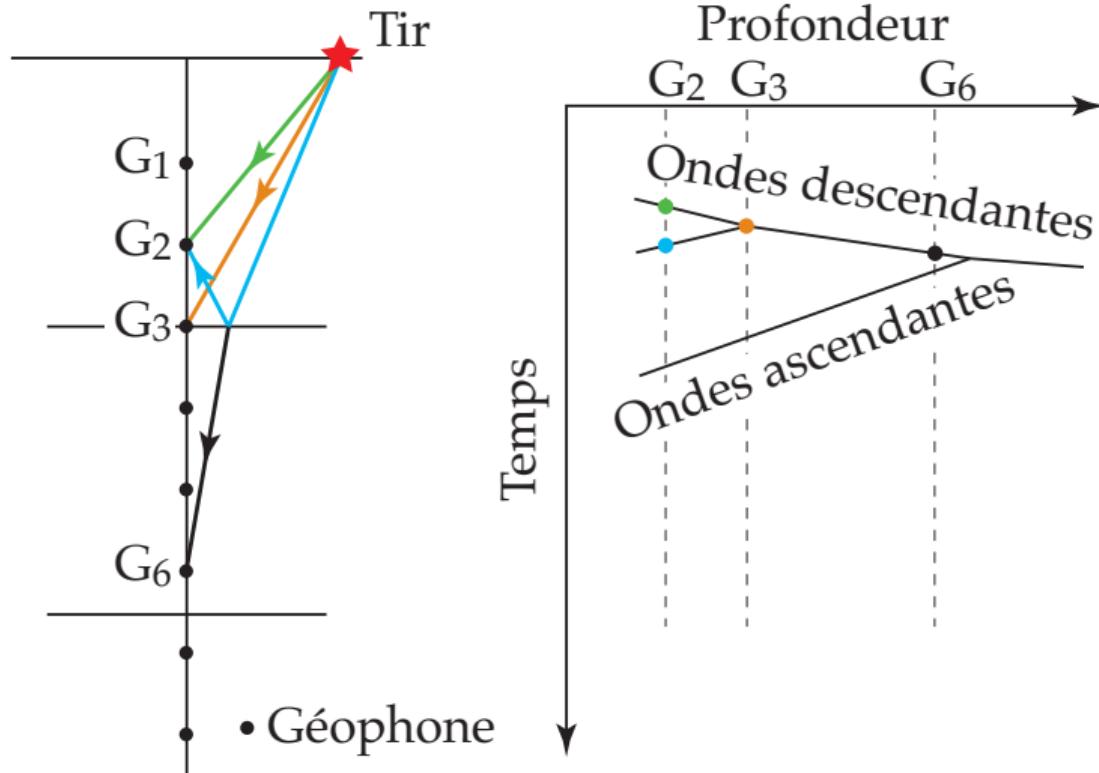
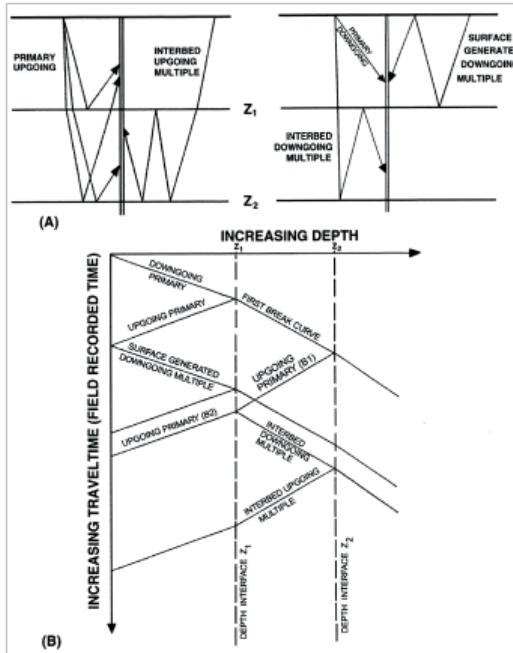


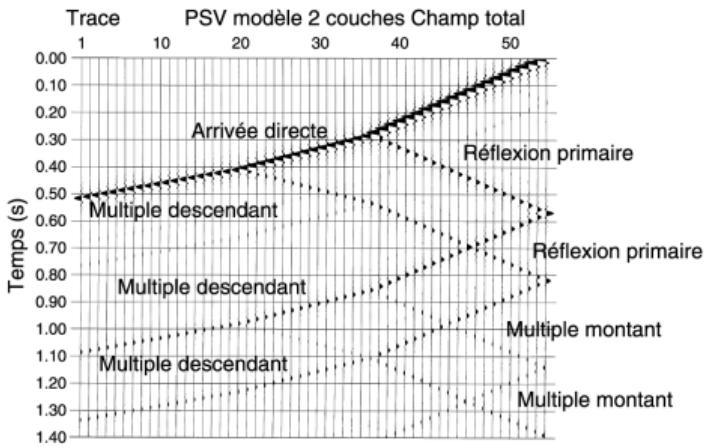
Schéma général

Introduction
 Mise en œuvre
 Traitement des données
 Les ondes enregistrées
 Sources de bruit
 La phase de pré-traitement
 Déconvolution prédictive
 Le pointé des temps d'arrivée
 La séparation des ondes
 Obtention de l'image finale
 Applications
 Références



- Les ondes descendantes sont émises par la source, formant les arrivées directes, et sont l'ensemble des événements multiples descendants créés par les réflecteurs situés au-dessus du géophone ;

- Les ondes ascendantes sont les ondes réfléchies primaires ou multiples ascendants.



Sources de bruit

Introduction

Mise en œuvre

Traitement des
données

Les ondes enregistrées

Sources de bruit

La phase de
pré-traitement

Déconvolution
prédictive

Le pointé des temps
d'arrivée

La séparation des ondes

Obtention de l'image
finale

Applications

Références

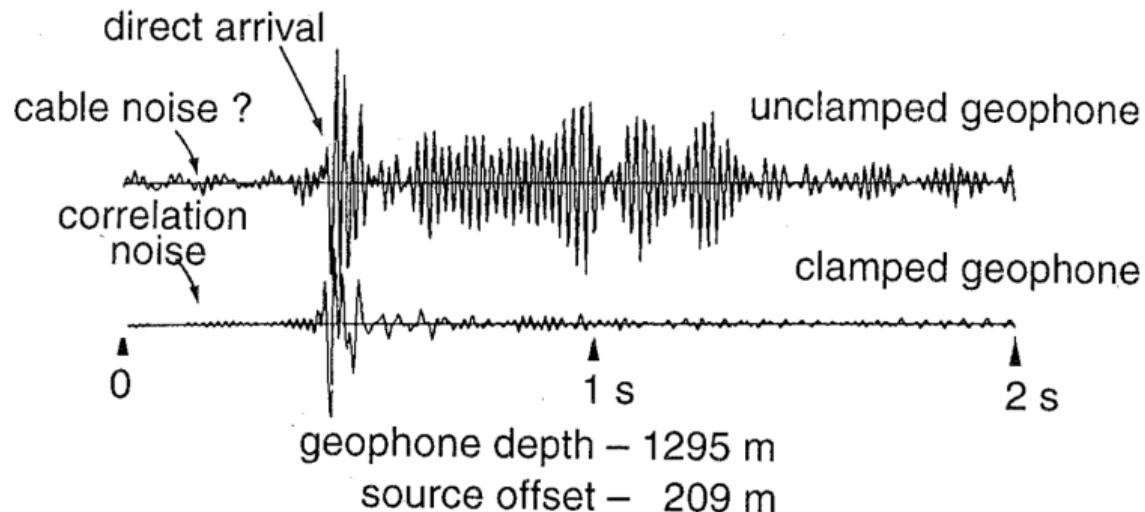
- De façon générale, le rapport signal/bruit *augmente* en fonction de la profondeur, du fait de la distance accrue avec les *sources de bruit en surface* (vent, ondes de surface, mort-terrain faiblement consolidé...);
 - il y a malgré tout une compromis avec la distance à la source qui augmente.
- La qualité du couplage des géophones a une incidence marquée sur le rapport signal/bruit;
- Le câble de la flûte peut aussi transmettre des vibrations parasites;
- Le dispositif peut être un facteur limitant (force du module d'ancrage trop faible), mais souvent les conditions le long du trou sont le facteur principal :
 - des tubages multiples peuvent entrer en résonnance;
 - la qualité de la cimentation du tubage peut varier;
 - en trou ouvert, une surface irrégulière peut dégrader le couplage.

Couplage

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références

• Différence entre

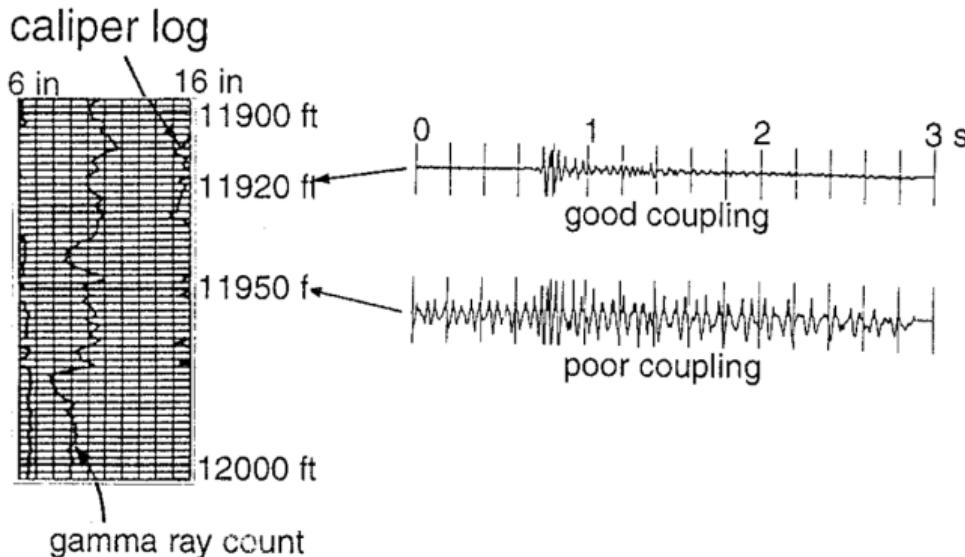
- haut : un géophone laissé sans contact avec la paroi, pendu à la flûte;
- bas : un géophone bien ancré.



Couplage

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références

- L'état de la paroi de forage peut empêcher un bon couplage, en particulier lorsque le diamètre du trou excède la portée du système de couplage (16 po sur la figure);



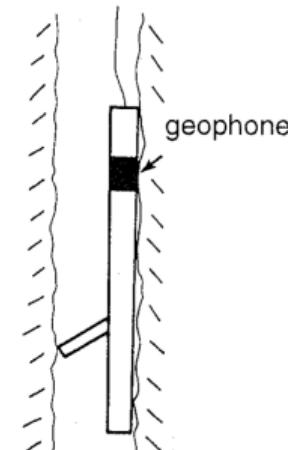
Couplage

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références

- Même si le diamètre du trou est à l'intérieur de la portée du système de couplage, le relief peut entraîner un mauvais couplage ;



tool locked but no
geophone coupling

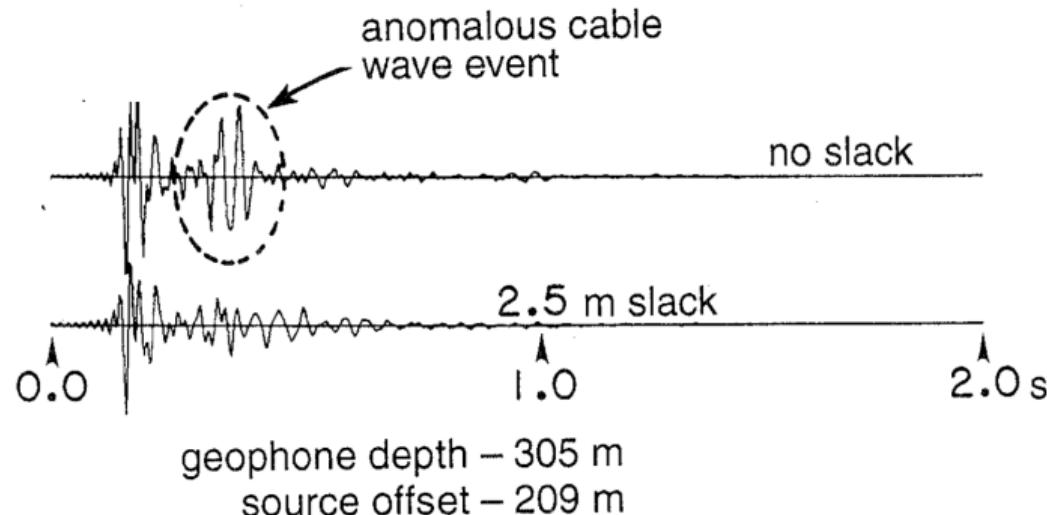


tool locked and
geophone coupled

Effet du câble

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références

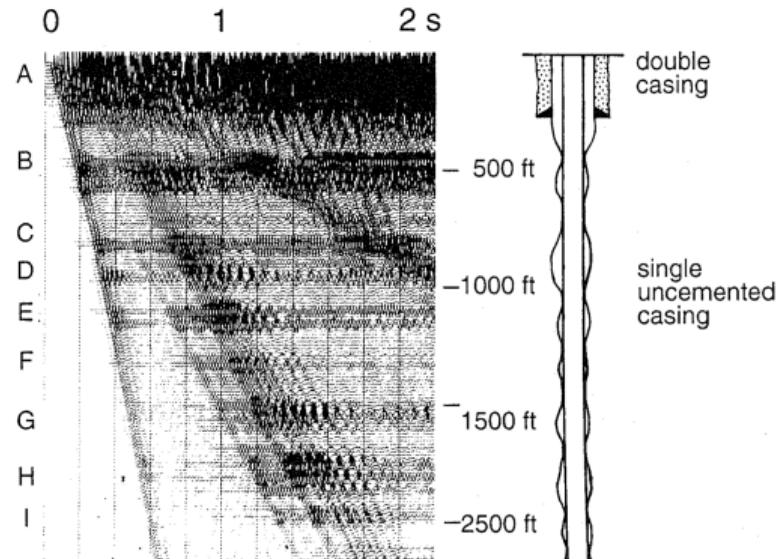
- Le câble de la flûte peut également propager des ondes parasites provenants des activités en surface (machinerie, vent);
- Il est important de relâcher la tension dans le câble une fois les géophones ancrés;
 - on progresse en fixant le géophone le plus profond, en relâchant la tension, en fixant le géophone au dessus, et ainsi de suite.



Résonnance du tubage

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références

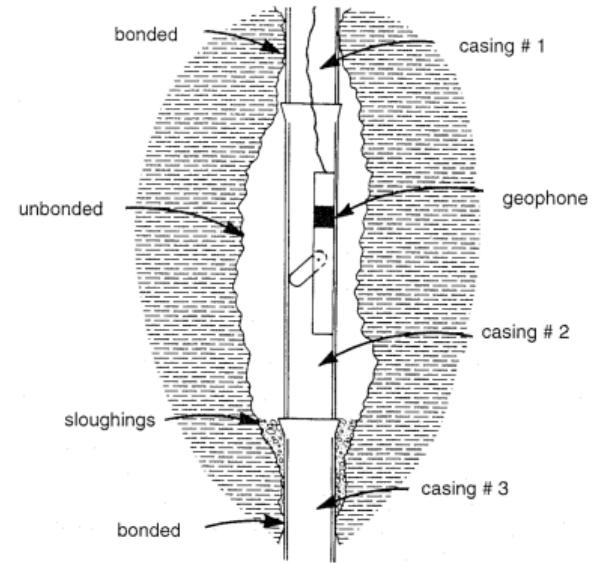
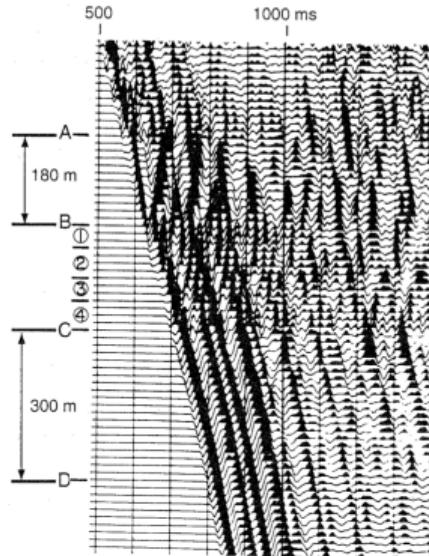
- Une mauvaise cimentation du tube de forage (*casing*), ou l'absence de cimentation, dégrade la qualité des données ;
- De plus, les tubages doubles (fréquents près de la surface) peuvent entrer en résonance si mal cimentés.



Résonnance du tubage

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références

- Intervalle CD : bonne cimentation ;
- Intervalle AB : absence de cimentation ;
- Entre B & C : interactions suspectées aux joints de tubage.

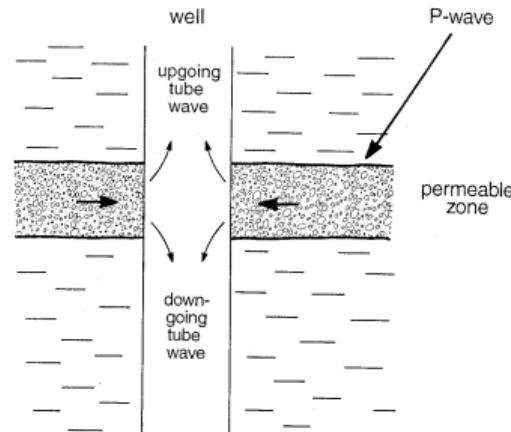


Ondes de tube (Stoneley)

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale

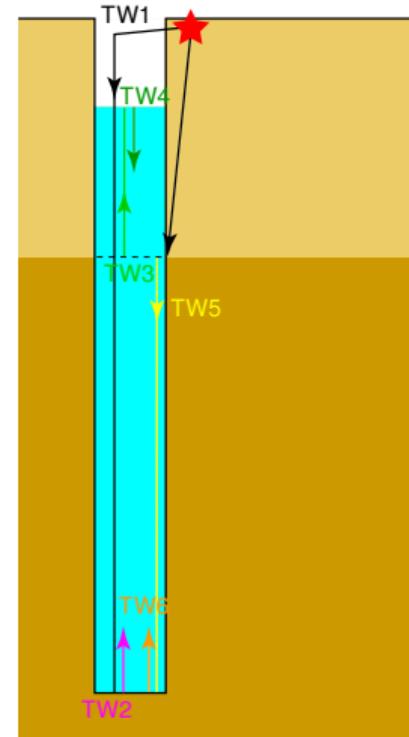
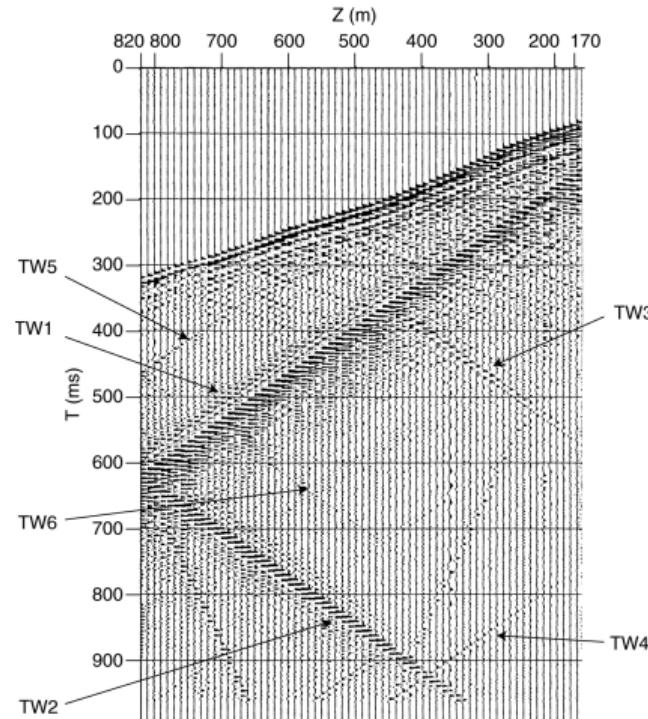
Applications
Références

- Les ondes de tubes se propagent dans le fluide de forage.
- Ces ondes peuvent être générées lorsqu'une onde P frappe un contraste élevé d'impédance comme
 - des jonctions dans la crépine ou à un changement de diamètre du trou;
 - un changement de lithologie.
- Les ondes de Rayleigh en surface, incidentes à la tête de puits sont la source principale.



Ondes de tube (Stoneley)

- Introduction
- Mise en œuvre
- Traitement des données
- Les ondes enregistrées
- Sources de bruit
- La phase de pré-traitement
- Déconvolution prédictive
- Le pointé des temps d'arrivée
- La séparation des ondes
- Obtention de l'image finale
- Applications
- Références



Note : V_P dans l'eau ≈ 1450 m/s

Séquence de pré-traitement

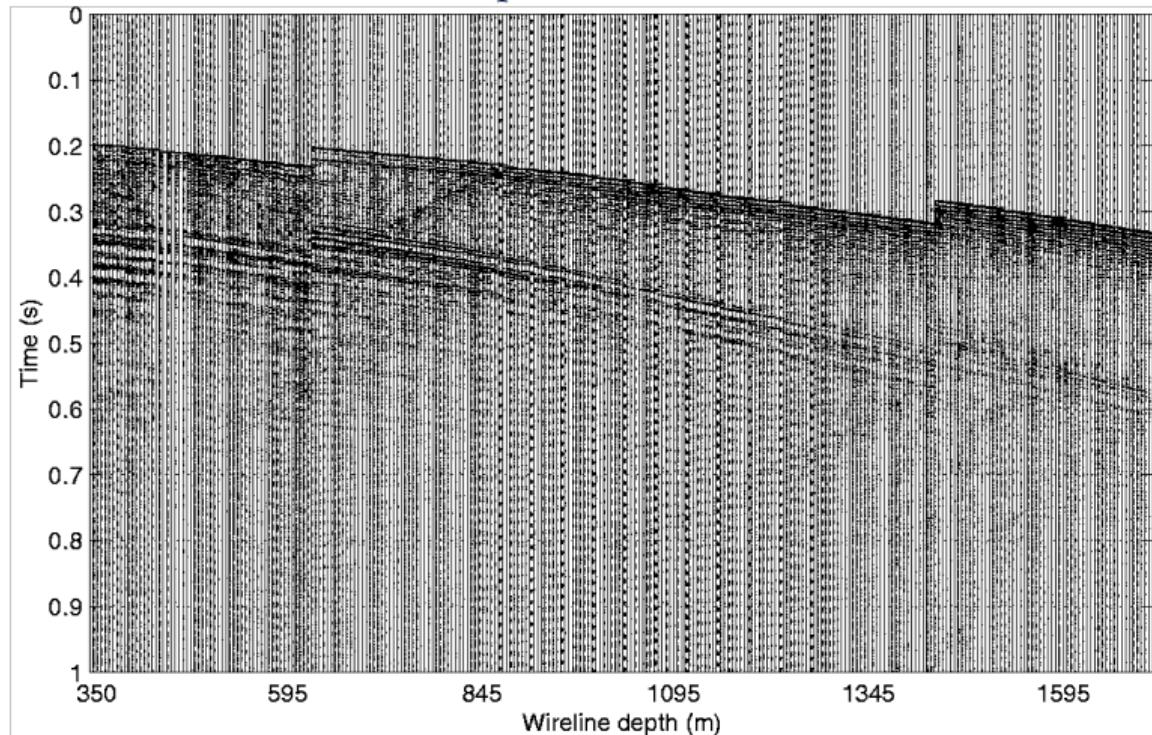
Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références

- Le démultiplexage des données;
- La corrélation, si la source sismique est une source vibratoire située en surface ou si la source est l'outil de forage;
- La correction de l'effet de fluctuation de signature et de dérive de la source;
- Les corrections de rotation du géophone et de déviation de puits;
- L'élimination des enregistrements de mauvaise qualité;
- La sommation des enregistrements obtenus à la même cote;
- Les corrections de type divergence géométrique et absorption;
- Le tri en composantes, si le géophone utilisé est à trois composantes.

Correction de dérive de la source

- Introduction
- Mise en œuvre
- Traitement des données
- Les ondes enregistrées
- Sources de bruit
- La phase de pré-traitement
- Déconvolution prédictive
- Le pointé des temps d'arrivée
- La séparation des ondes
- Obtention de l'image finale
- Applications
- Références

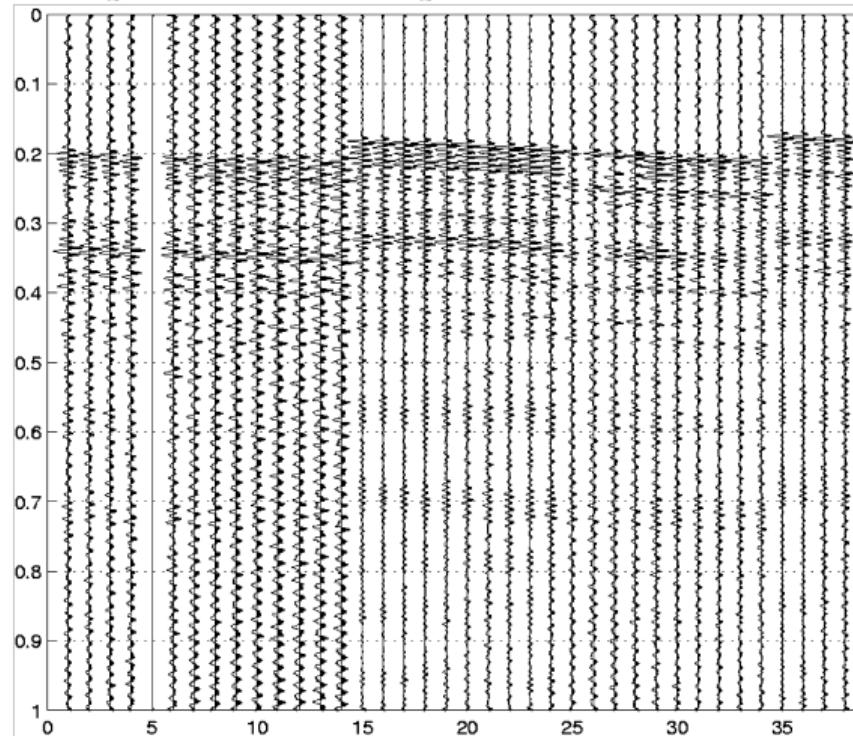
Plusieurs tirs, temps zéro de la source variable



Correction de dérive de la source

- Introduction
- Mise en œuvre
- Traitement des données
 - Les ondes enregistrées
 - Sources de bruit
 - La phase de pré-traitement
 - Déconvolution prédictive
 - Le pointé des temps d'arrivée
 - La séparation des ondes
 - Obtention de l'image finale
- Applications
- Références

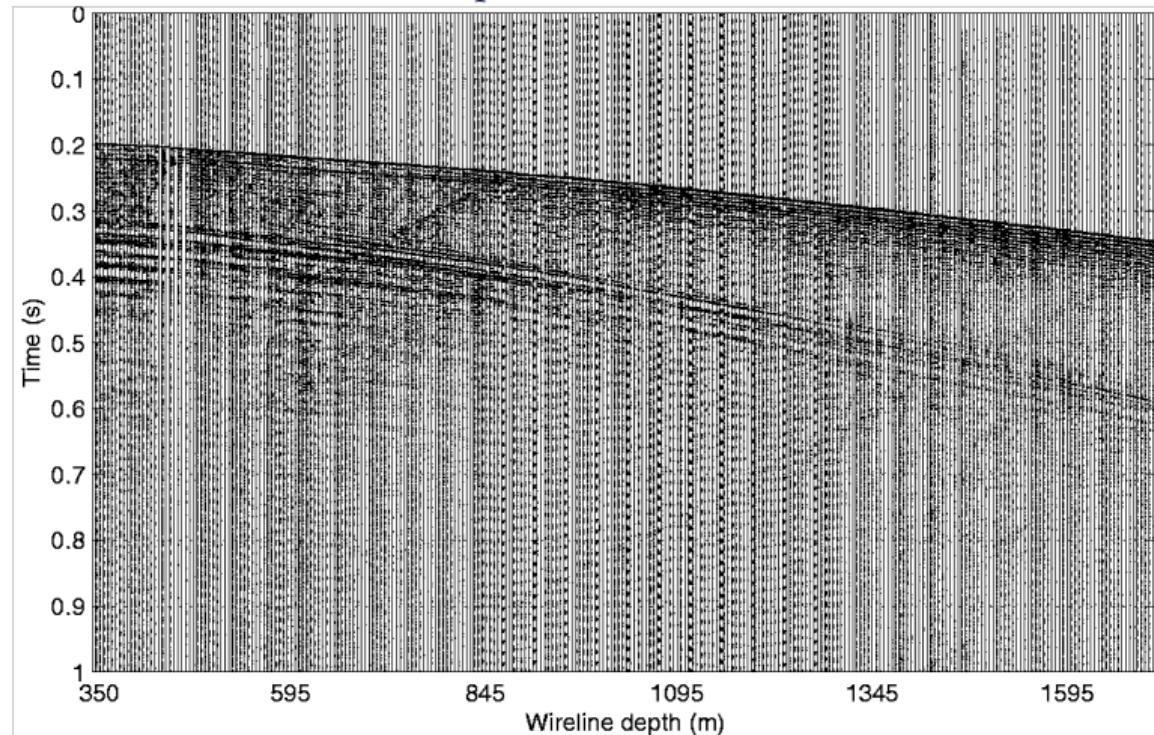
Géophone de surface pour déterminer le délai



Correction de dérive de la source

- Introduction
- Mise en œuvre
- Traitement des données
 - Les ondes enregistrées
 - Sources de bruit
 - La phase de pré-traitement
 - Déconvolution prédictive
 - Le pointé des temps d'arrivée
 - La séparation des ondes
 - Obtention de l'image finale
- Applications
- Références

Après correction

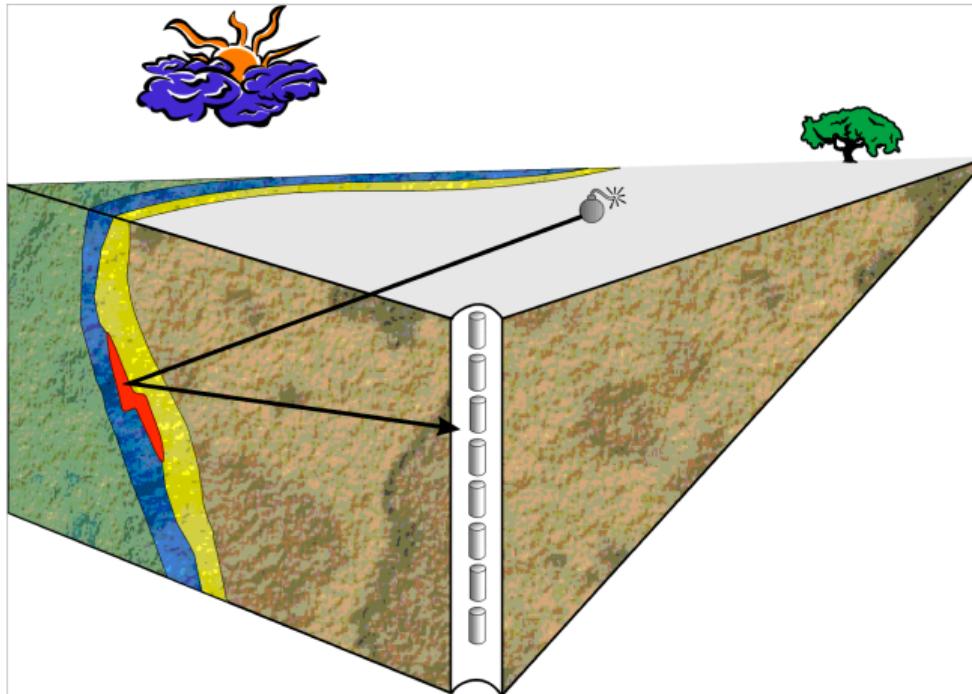


Géophones tri-axiaux

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale

Applications
Références

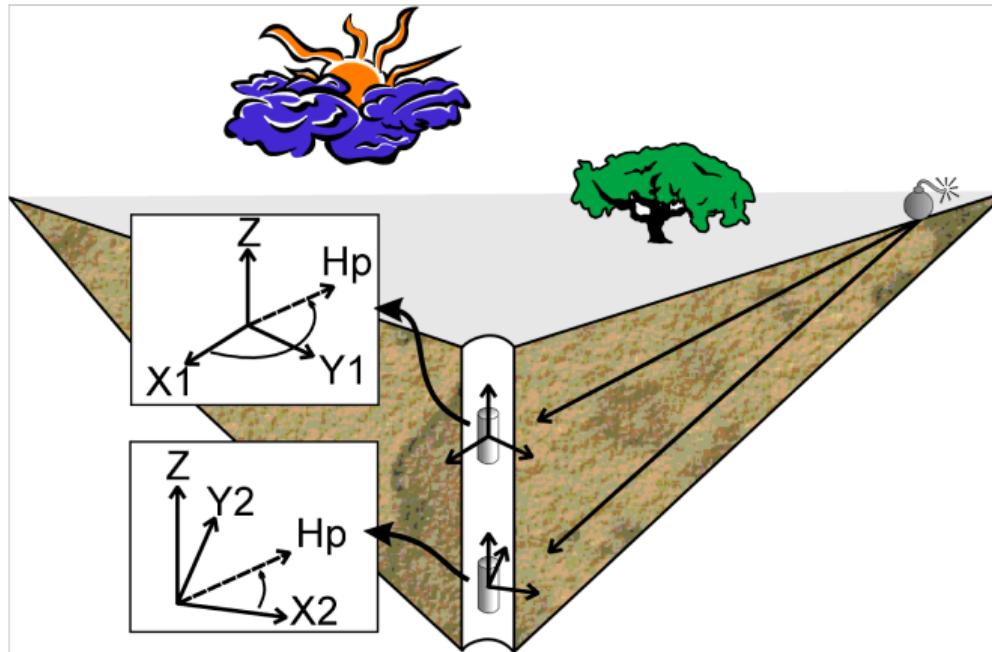
- Ambiguïté sur la position du réflecteur;
- Peut-on déterminer l'orientation et le pendage d'un réflecteur ?



Géophones tri-axiaux

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références

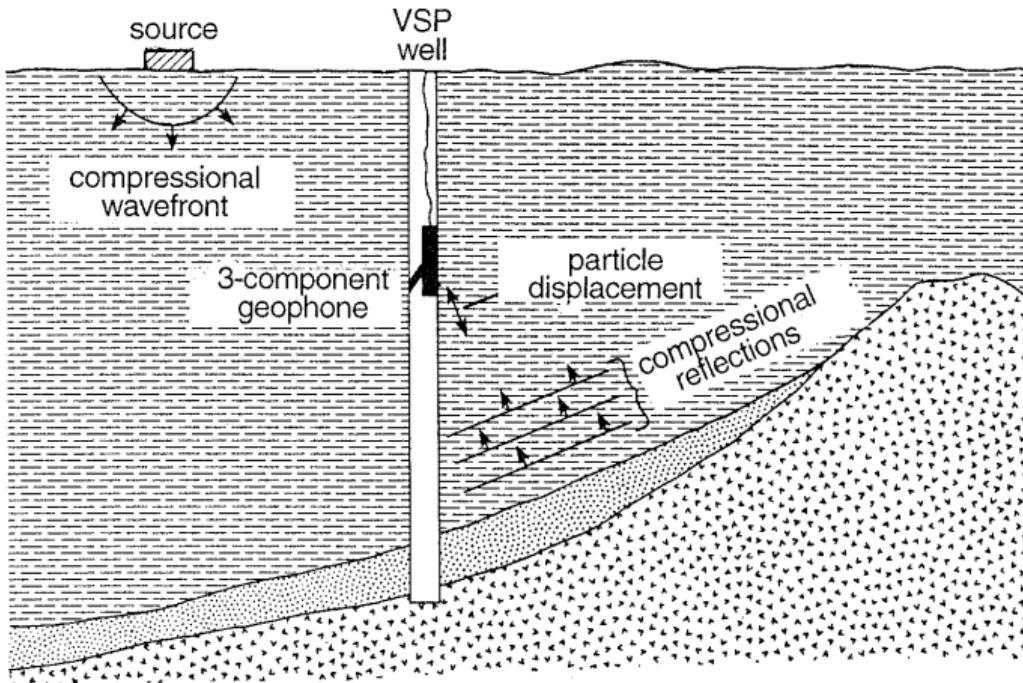
- Géophones tri-axiaux :
 - Trois composantes orthogonales : deux horizontales, une verticale.
 - Les géophones ne sont généralement pas orientés dans la même direction.



Géophones tri-axiaux

- Introduction
- Mise en œuvre
- Traitement des données
- Les ondes enregistrées
- Sources de bruit
- La phase de pré-traitement
- Déconvolution prédictive
- Le pointé des temps d'arrivée
- La séparation des ondes
- Obtention de l'image finale
- Applications
- Références

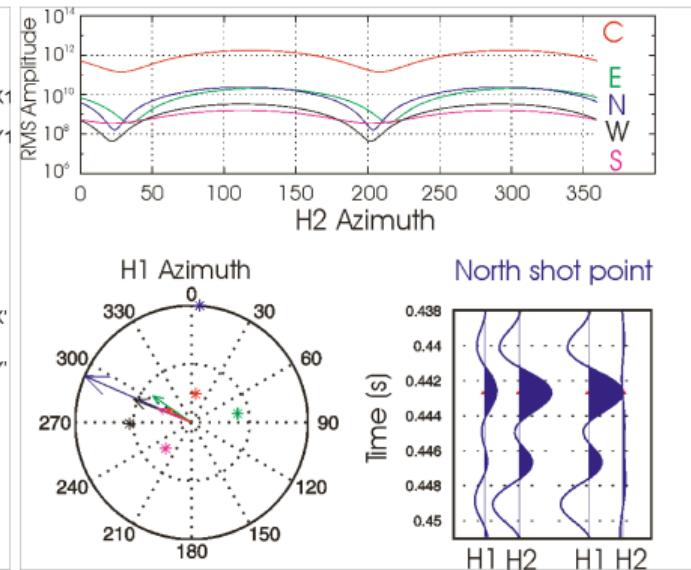
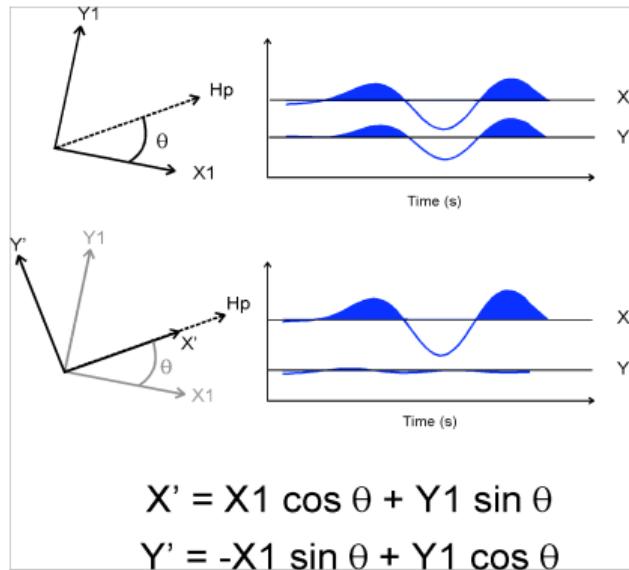
- La direction de l'onde P nous renseigne sur l'orientation et le pendage du réflecteur.



Rotation des composantes

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références

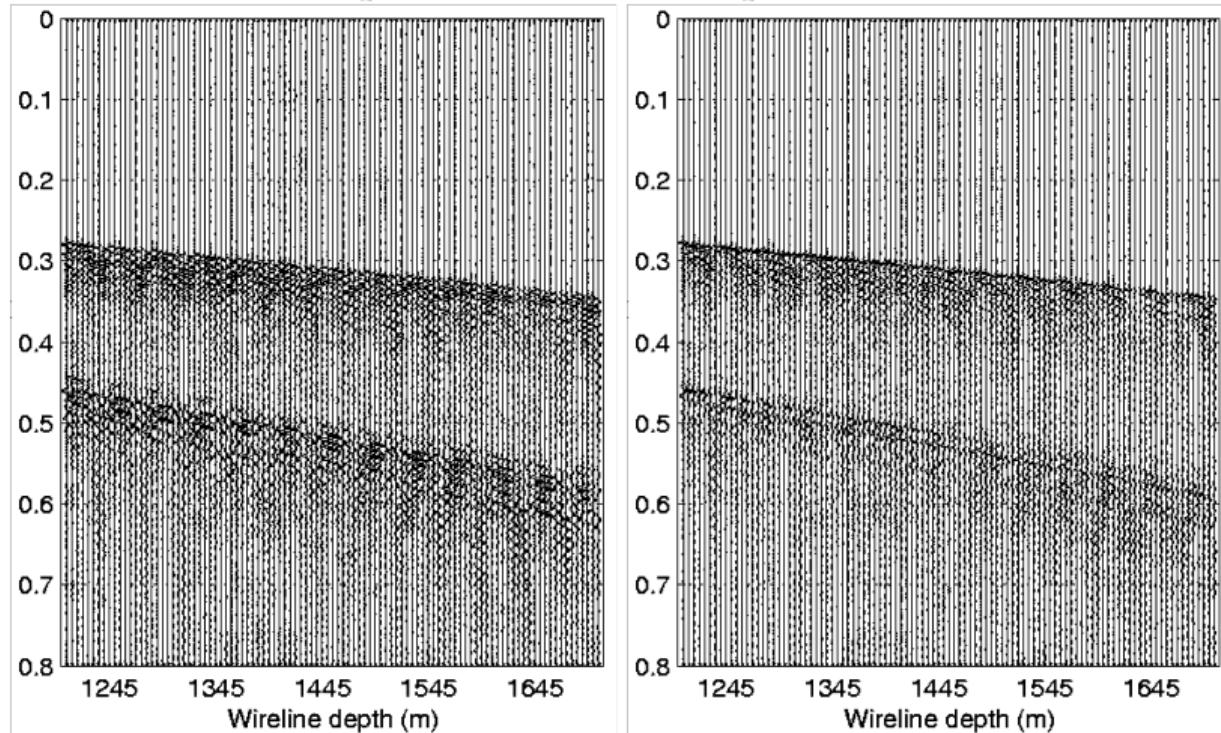
- Condition : la direction initiale des géophones doit être connue (inclinomètre ou magnétomètre);
- On traite ici l'onde *P*, qu'il faut isoler pour faire l'opération.



Rotation des composantes

- Introduction
- Mise en œuvre
- Traitement des données
 - Les ondes enregistrées
 - Sources de bruit
 - La phase de pré-traitement
 - Déconvolution prédictive
 - Le pointé des temps d'arrivée
 - La séparation des ondes
 - Obtention de l'image finale
- Applications
- Références

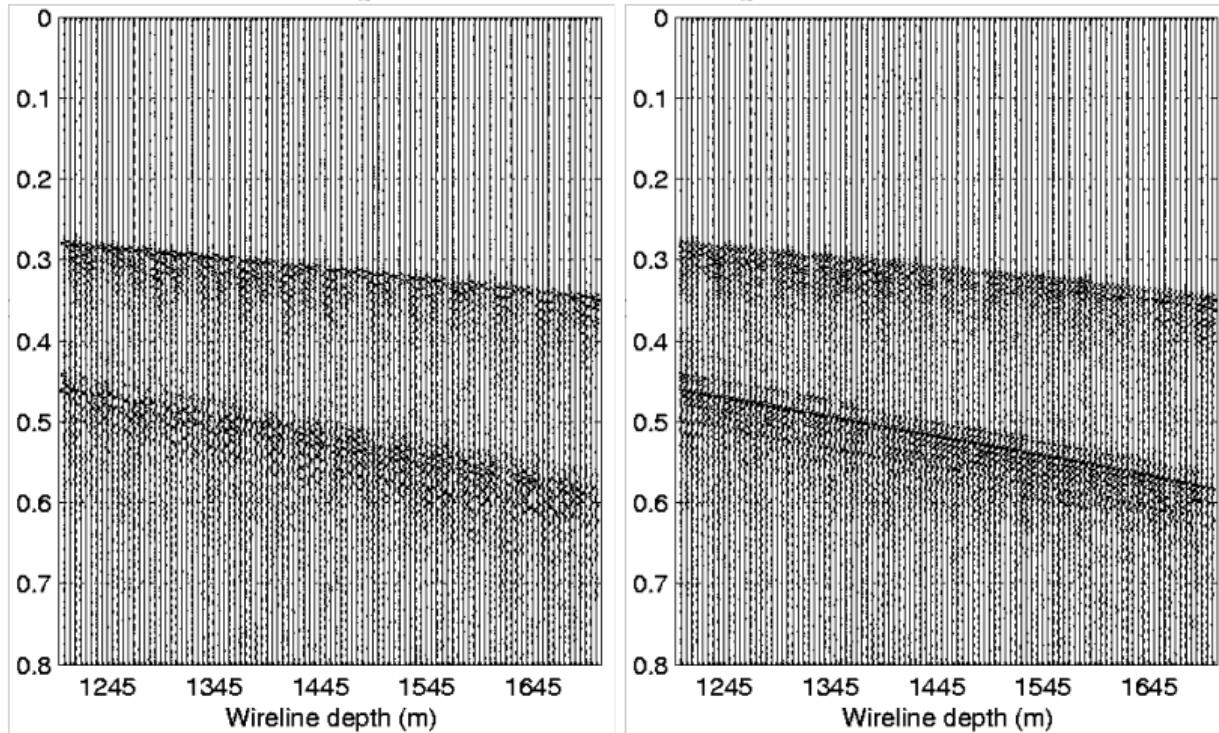
Composante H1 avant et après rotation



Rotation des composantes

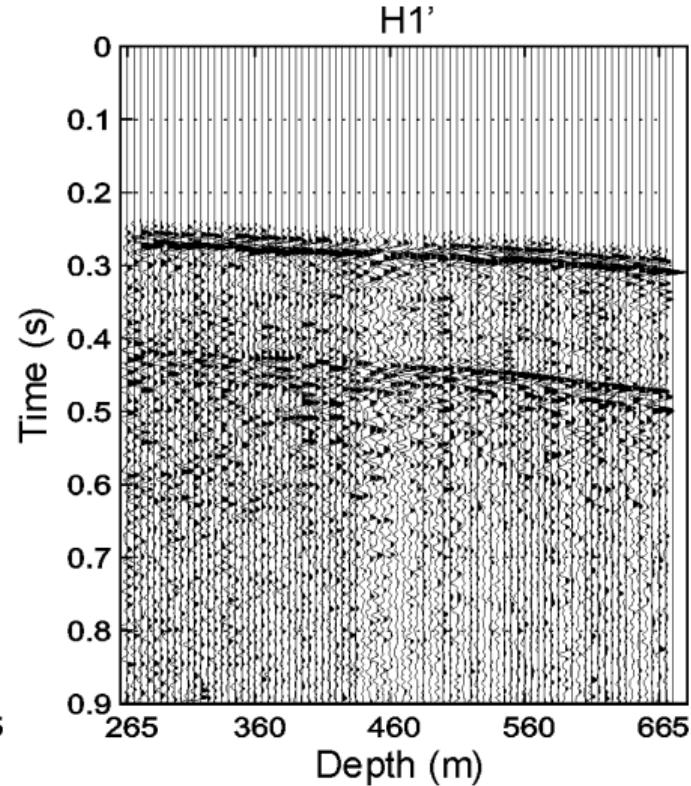
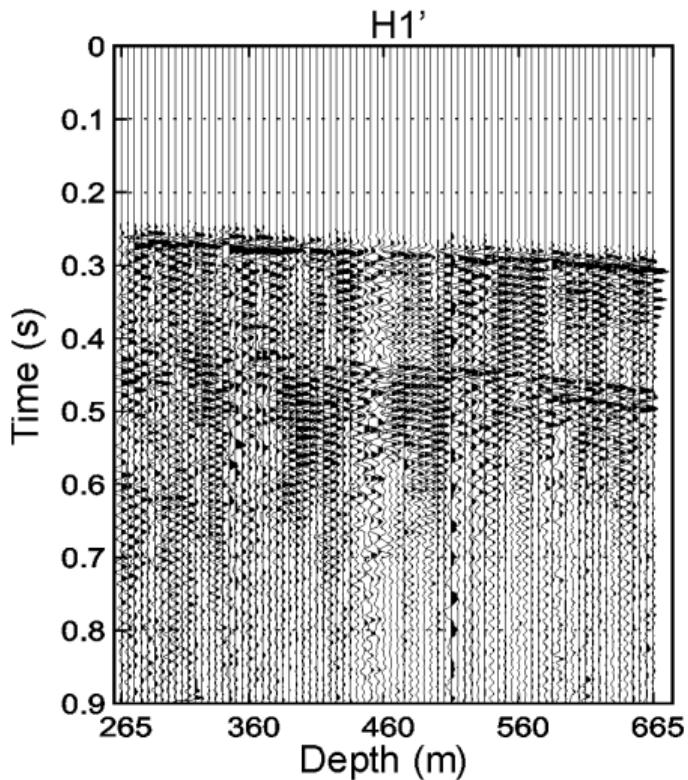
- Introduction
- Mise en œuvre
- Traitement des données
 - Les ondes enregistrées
 - Sources de bruit
 - La phase de pré-traitement
 - Déconvolution prédictive
 - Le pointé des temps d'arrivée
 - La séparation des ondes
 - Obtention de l'image finale
- Applications
- Références

Composante H2 avant et après rotation



Déconvolution prédictive

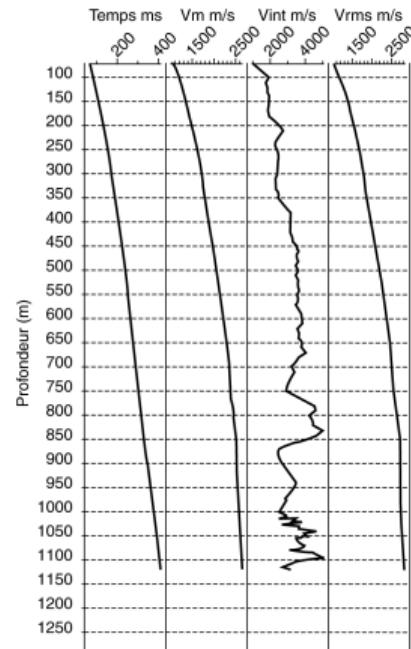
Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références



Le pointé des temps d'arrivée

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références

- La seconde séquence de traitement consiste à pointer les temps des premières arrivées qui fournissent la loi temps- profondeur et les différents logs de vitesse.



La séparation des ondes

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références

- L'enregistrement de sismique de puits est composé d'ondes de volume de type P et/ou S descendantes et ascendantes, ainsi que des modes guidés d'interface liés à la présence du puits (ondes de tube);
- Or, pour l'interprétation on cherche à ne garder que les premières réflexions, i.e. les premières ondes ascendantes;
- Sur l'enregistrement, les ondes descendantes sont caractérisées par des vitesses apparentes ($\Delta z / \Delta t$) positives, les ondes ascendantes par des vitesses apparentes négatives. Ce fait est à la base de la plupart des méthodes de séparation.

La séparation des ondes

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références

- Les méthodes de séparation d'ondes peuvent être divisées en deux catégories :
 - Les méthodes qui nécessitent que la section sismique de puits soit horizontalisée sur le temps de l'arrivée directe avant que l'algorithme de séparation ne soit appliqué :
 - Le filtre par somme et différence, le filtre médian, le filtre de Wiener, le filtre en vitesse apparente si la distance entre cotes n'est pas régulière, le filtre par décomposition en valeurs singulières (SVD);
 - Les méthodes qui ne nécessitent pas d'horizontalisation :
 - Les filtres basés sur la matrice spectrale (SMF), les méthodes paramétriques, le filtre en vitesse apparente si la distance entre cotes est régulière.
 - Il existe des méthodes de séparation non basées sur le critère de vitesse apparente, notamment les filtres de polarisation pour l'extraction des ondes P et des ondes S;
 - Il est souvent nécessaire de combiner plusieurs méthodes pour obtenir une séparation d'ondes optimale.

Le filtre médian

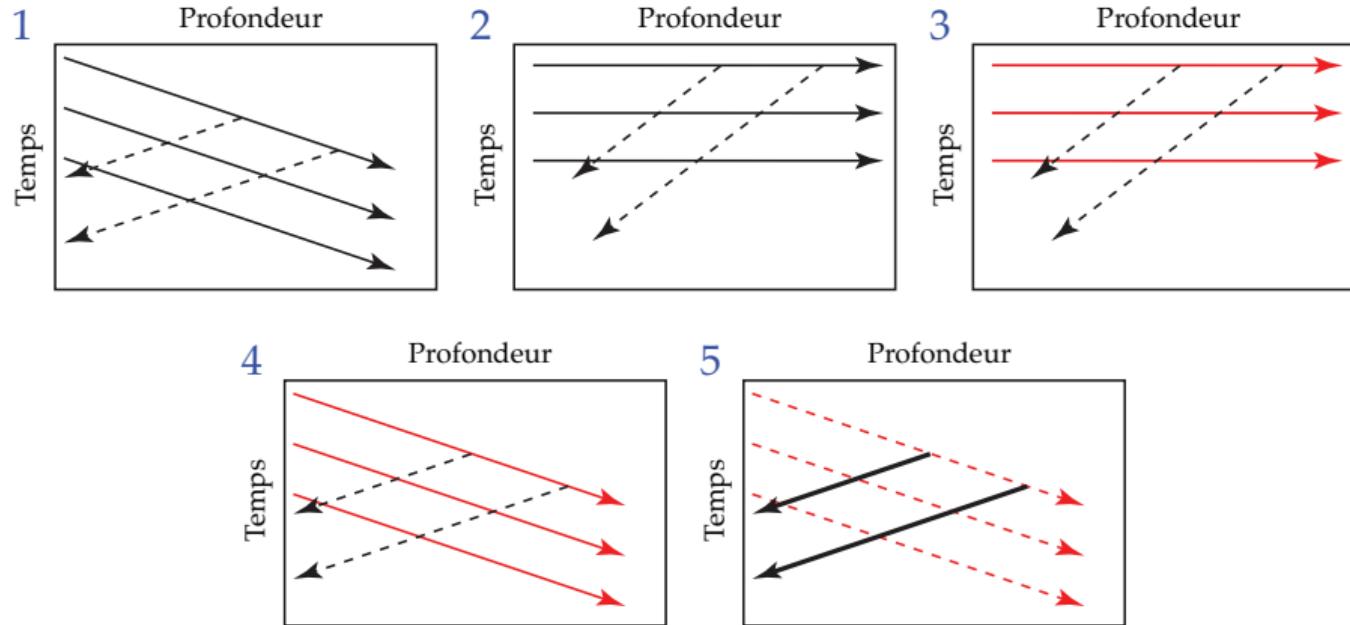
Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références

- Une méthode simple et courante : le filtre médian
 - Le pointé des 1^{re} arrivées est requis pour horizontaliser les arrivées ;
 - Les ondes descendantes sont ainsi horizontalisées ;
 - Le filtre médian est appliqué dans la direction horizontale, i.e. la direction de la profondeur ;
 - Le filtre lisse les pics isolés (bruit) et élimine ainsi les événements non horizontaux ;
 - Il reste donc les ondes descendantes dans les données filtrées ;
 - On soustrait alors les données filtrées aux données initiales pour ne conserver que les ondes ascendantes.

Le filtre médian

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références

• Filtre médian appliqué sur des données PSV



Le filtre médian

- Introduction
- Mise en œuvre
- Traitement des données
 - Les ondes enregistrées
 - Sources de bruit
 - La phase de pré-traitement
 - Déconvolution prédictive
 - Le pointé des temps d'arrivée
 - La séparation des ondes
 - Obtention de l'image finale
- Applications
- Références

- Exemple de filtre médian à 5 points :

- Soit une séquence de données

1, 8, 111, 3, 5;

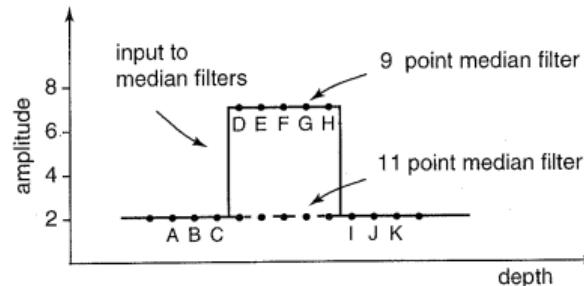
- Les données sont classées en ordre croissant

1, 3, 5, 8, 111;

- La valeur médiane est 5;
 - La sortie du filtre est

5, 5, 5, 5, 5.

- Le filtre médian est coulissant, i.e. il est appliquée de façon itérative en progressant le long de la séquence de données.



PSV déport nul

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références

- La déconvolution des ondes ascendantes par les ondes descendantes ;
 - Le traitement de déconvolution permet de s'affranchir à la fois du signal de la source et des multiples descendants.
- L'horizontalisation des ondes ascendantes déconvoluées ;
 - Cette opération rend l'enregistrement PSV comparable en temps (temps double) à un enregistrement de sismique réflexion de surface (réflecteurs horizontaux);
- L'obtention de la trace sommée PSV ;
 - Les ondes ascendantes déconvoluées et horizontalisées sont sommées dans un couloir suivant immédiatement la première arrivée ;
 - Le résultat est une trace somme comparable à la trace sismique obtenue par la sismique de surface après sommation en couverture multiple.

PSV déport nul

Introduction

Mise en œuvre

Traitement des
données

Les ondes enregistrées

Sources de bruit

La phase de
pré-traitement

Déconvolution
prédictive

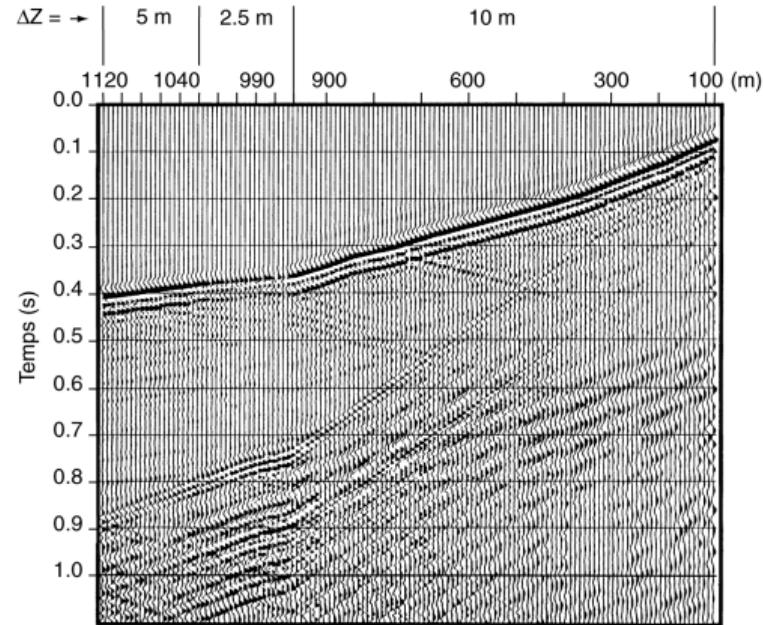
Le pointé des temps
d'arrivée

La séparation des ondes

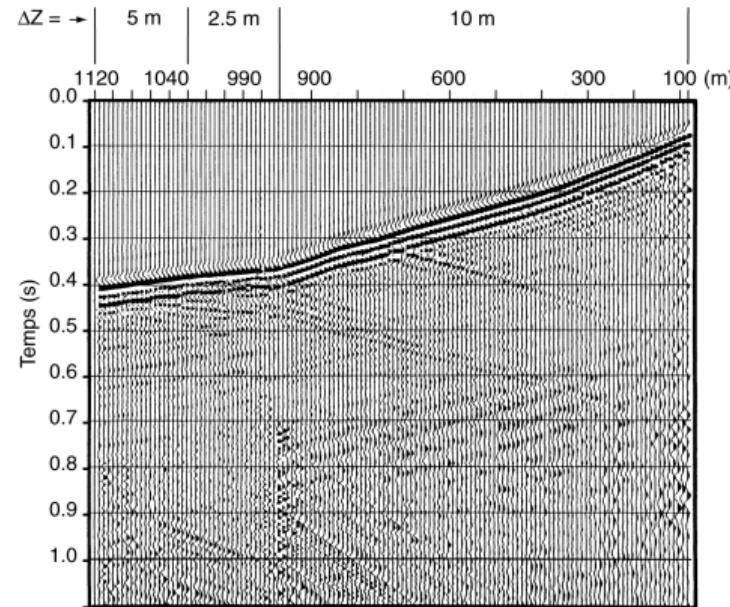
Obtention de l'image
finale

Applications

Références



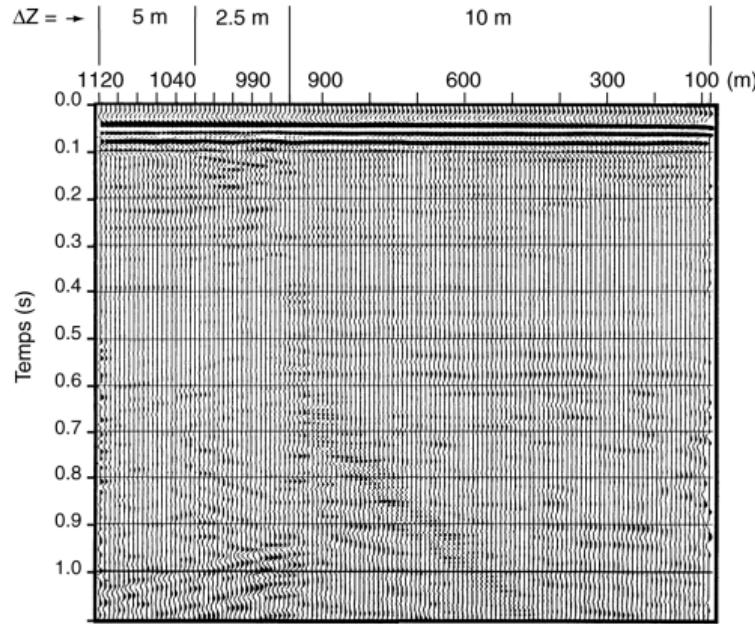
Après pré-traitement



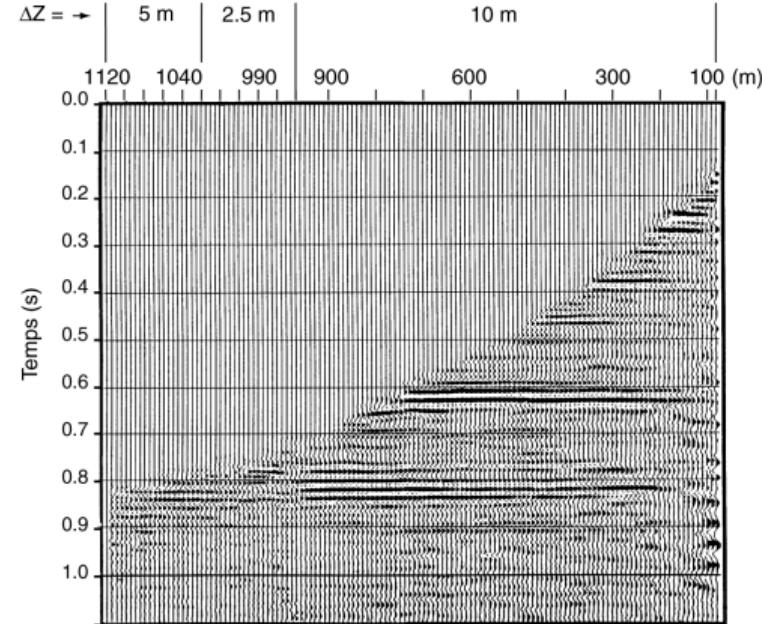
Filtrage des ondes de tube

PSV déport nul

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références



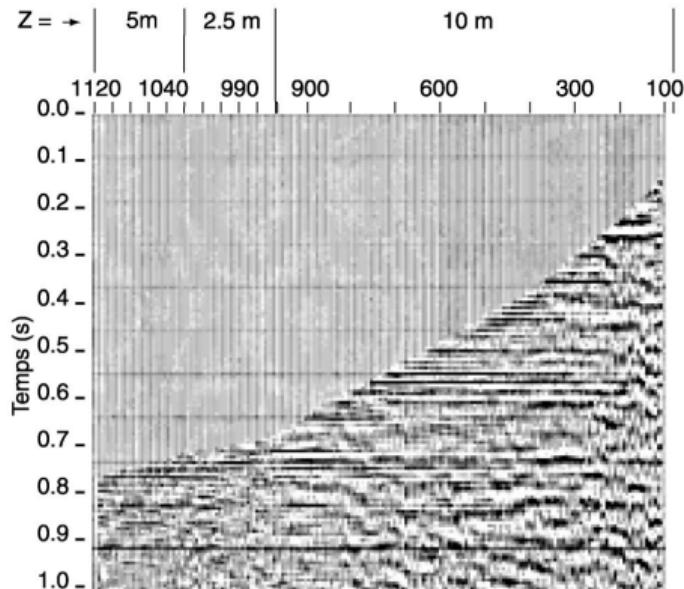
Extraction et horizontalisation des ondes descendantes



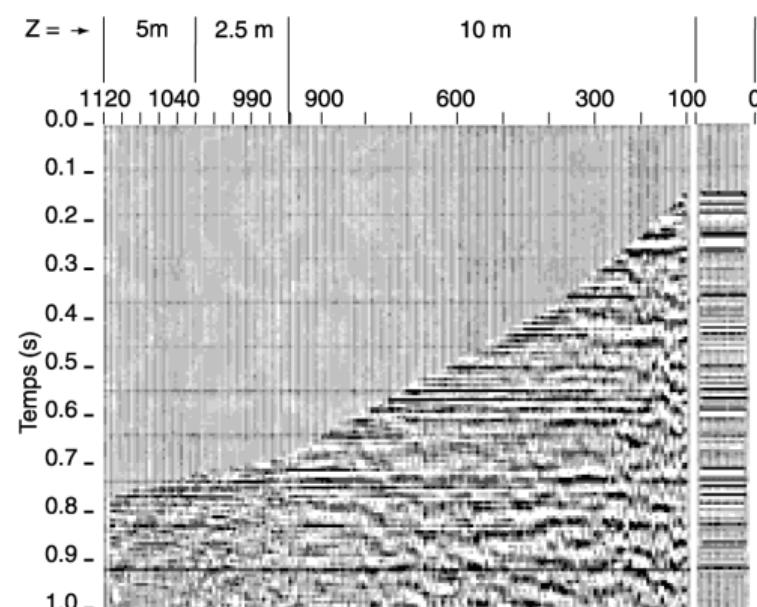
Extraction et horizontalisation des ondes ascendantes

PSV déport nul

- Introduction
- Mise en œuvre
- Traitement des données
 - Les ondes enregistrées
 - Sources de bruit
 - La phase de pré-traitement
 - Déconvolution prédictive
 - Le pointé des temps d'arrivée
 - La séparation des ondes
 - Obtention de l'image finale
- Applications
- Références



Déconvolution des ondes ascendantes par
les ondes descendantes



Traces avant sommation (gauche) et
sommées (droite)

PSV déporté

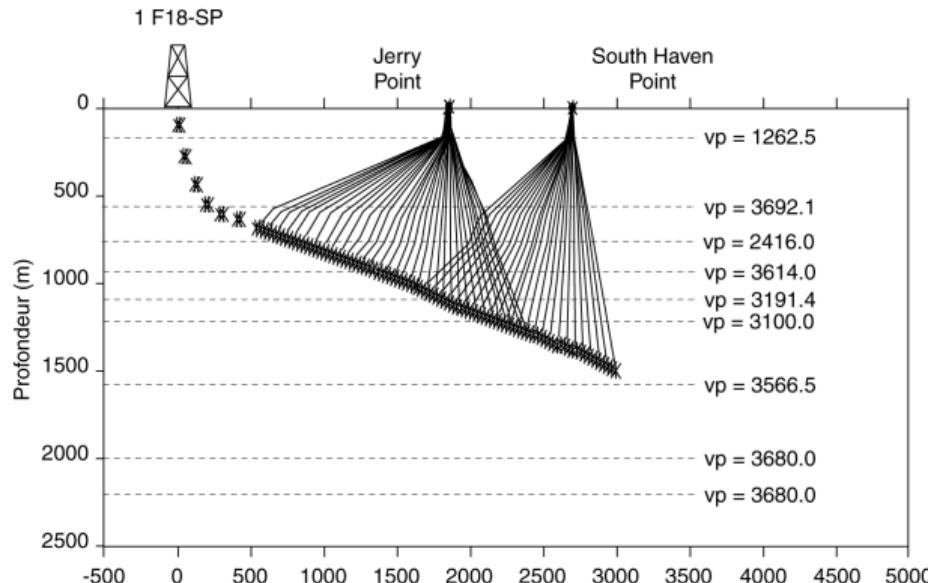
Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références

- La déconvolution des ondes ascendantes ;
 - L'opérateur de déconvolution est unique ;
 - Il est extrait des traces de fond de puits et permet de s'affranchir du signal source ;
- La correction dynamique et la mise en temps double des ondes ascendantes déconvoluées ;
 - Elle compense l'obligation induite par le déport de la source ;
 - Elle a pour objet de prendre en compte la géométrie d'acquisition ;
 - Pour cette correction, le modèle de vitesse est requis ;
- La migration : Une méthode couramment utilisée en PSV est celle proposée par Wyatt (1981) ;
 - La section sismique PSV migrée est directement comparable à une section sismique réflexion de surface ;
 - Elle a une investigation latérale de quelques dizaines à quelques centaines de mètres.

PSV déporté

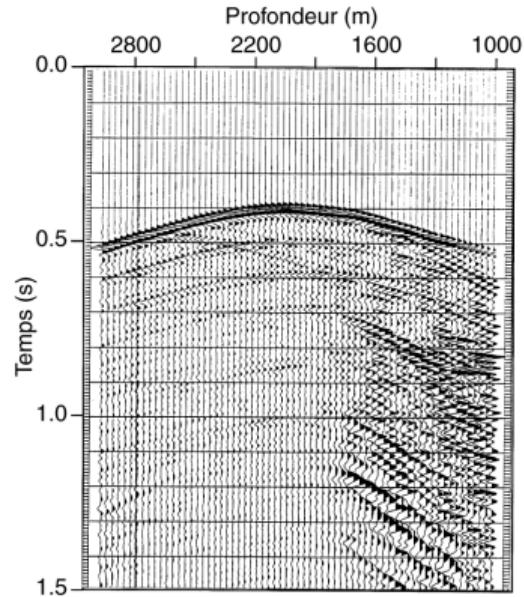
Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références

- Forage incliné (déviation maximale de 88.5°);
- Source : vibroseis [10-80 Hz];
- Géophones trois composantes.

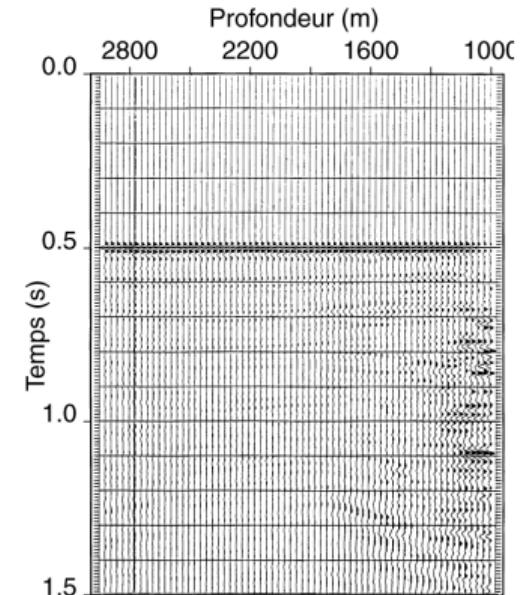


PSV déporté

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références



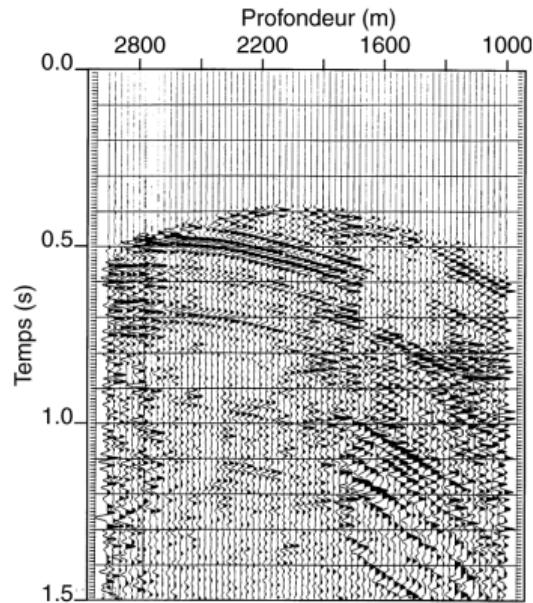
Filtrage en fréquence et récupération
d'amplitude



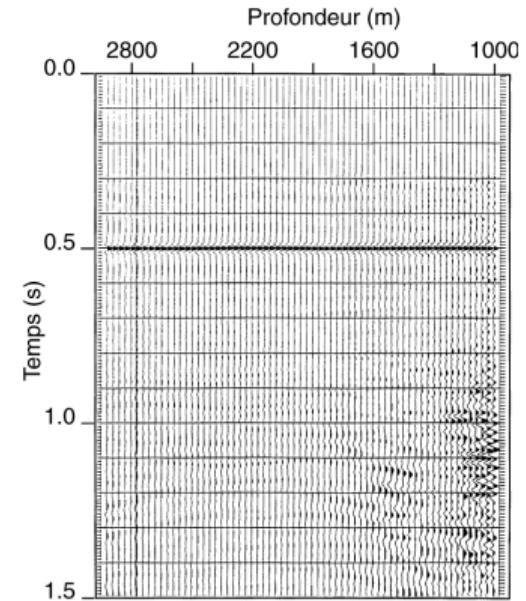
Ondes descendantes mises à l'horizontal

PSV déporté

- Introduction
- Mise en œuvre
- Traitement des données
 - Les ondes enregistrées
 - Sources de bruit
 - La phase de pré-traitement
 - Déconvolution prédictive
 - Le pointé des temps d'arrivée
 - La séparation des ondes
 - Obtention de l'image finale
- Applications
- Références



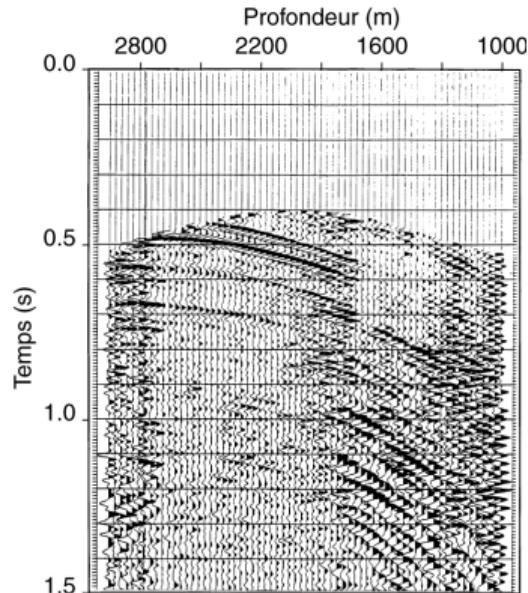
Section PSV résidu (ondes ascendantes)



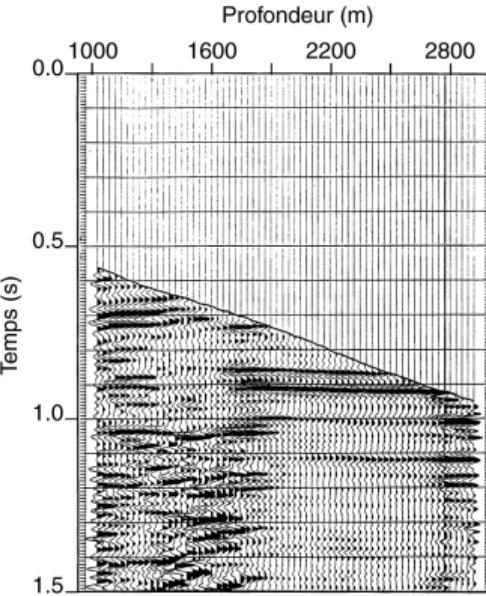
Ondes descendantes après déconvolution de Wiener (transformation phase nulle)

PSV déporté

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Les ondes enregistrées
Sources de bruit
La phase de pré-traitement
Déconvolution prédictive
Le pointé des temps d'arrivée
La séparation des ondes
Obtention de l'image finale
Applications
Références



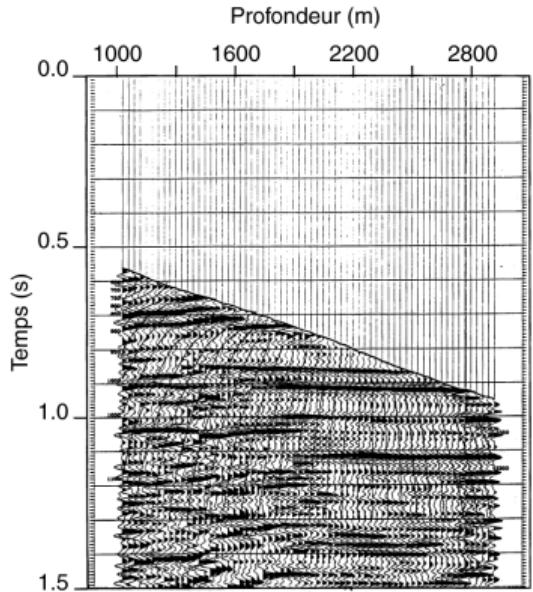
Ondes ascendantes après déconvolution de Wiener



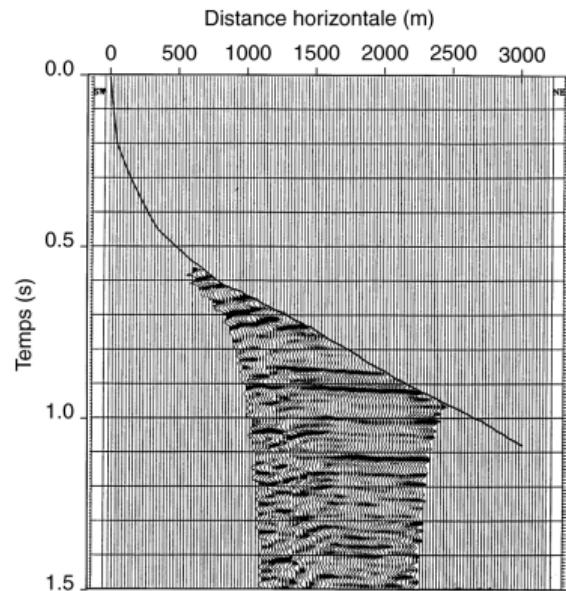
Ondes ascendantes après déconvolution de Wiener et corrections dynamiques

PSV déporté

- Introduction
- Mise en œuvre
- Traitement des données
 - Les ondes enregistrées
 - Sources de bruit
 - La phase de pré-traitement
 - Déconvolution prédictive
 - Le pointé des temps d'arrivée
 - La séparation des ondes
 - Obtention de l'image finale
- Applications
- Références



Calcul des lignes d'égale abscisse X des points miroir



Section migrée

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des
données
Applications
Références

Applications

Pendagémétrie

Introduction

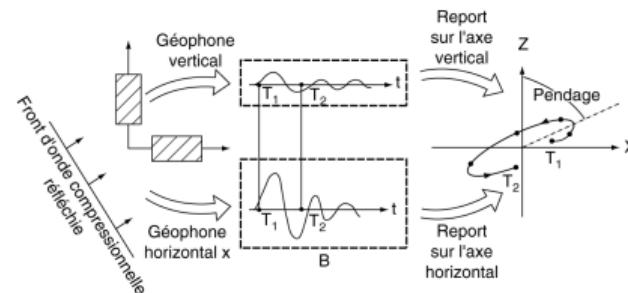
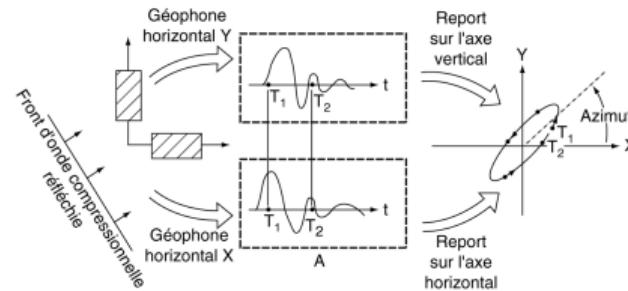
Mise en œuvre

Traitement des
données

Applications

Références

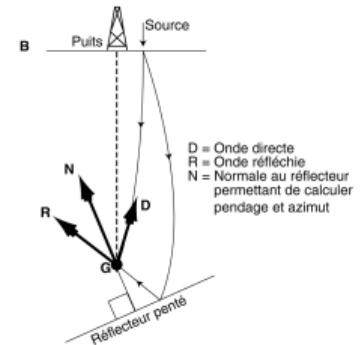
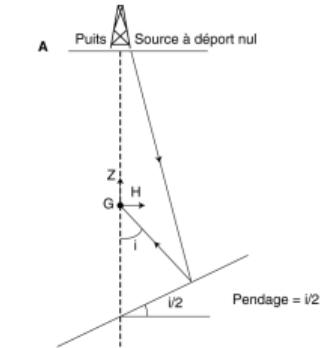
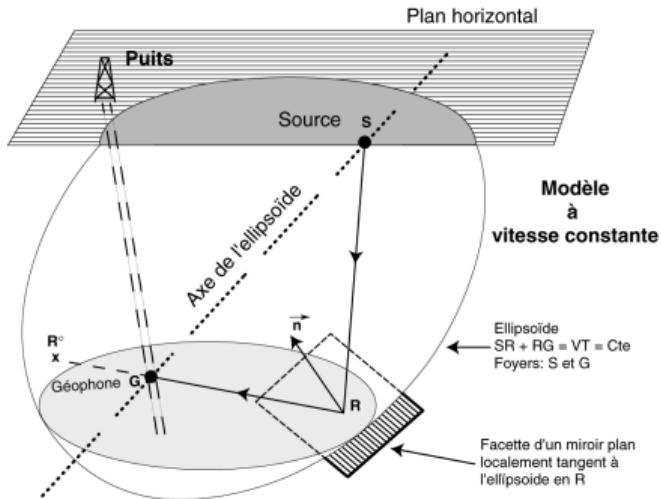
- Les capteurs tri-axiaux permettent d'établir l'ellipticité du mouvement des particules au passage de l'onde, et ainsi la direction de propagation de l'onde;



Pendagémétrie

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Applications
Références

- La connaissance de la direction de propagation de l'onde réfléchie au récepteur permet de localiser deux points de réflexion sur l'ellipsoïde,
 - l'un au dessous du récepteur, cas le plus probable,
 - l'autre au dessus du récepteur, rarement réaliste.



Introduction
Mise en œuvre
Traitement des
données
Applications
Références

Références

Références

Introduction
Mise en œuvre
Traitement des données
Applications
Références

- Hardage, B. A. (2000). *Vertical Seismic Profiling : Principles*, volume 14 of *Handbook of Geophysical Exploration*. Pergamon, 3 edition.
- Mari, J.-L. (2010). *Sismique de puits*. Université de Lausanne - Institut Français du Pétrole. cours online
https://www-ig.unil.ch/pdf/doc_sis/Cours%20PDF2.pdf.