25/04/2008

MASTER STEP Institut de Physique du Globe de Paris

# Géophysique de l'Environnement

# TD2 : Exercice complémentaire de sismique

**par Estelle Roux**

1) **Identifier les ondes sur le point de tir**
2) **Trouver les équations des hodochrones pour chacune d'elles**
3) **A partir des observations sur la section grand angle, trouver le modèle correspondant, en considérant des couches planes et horizontales**

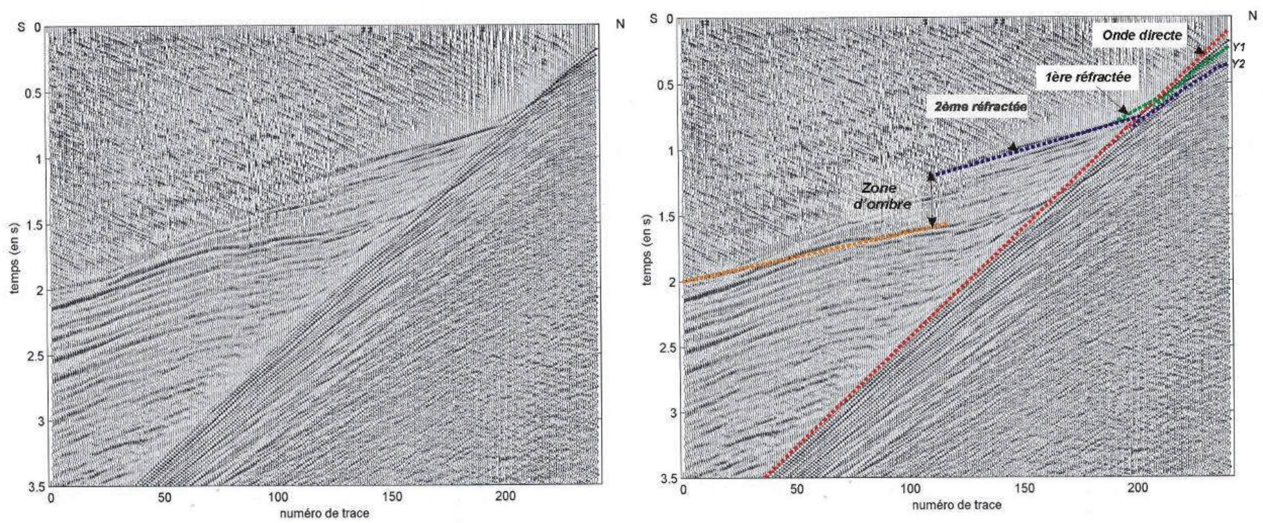
Données : intertrace (distance entre 2 récepteurs) = 25 m

Déport (distance entre la source et le $1^{er}$ récepteur) = 180 m

---

**Corrigé :**

## Identification des ondes :




Cette image représente un point de tir : une explosion située au point source est enregistrée par plusieurs récepteurs (ici 240, régulièrement espacés de 25 m). On peut lire le temps en ordonnée en fonction de la distance S-R en abscisse.

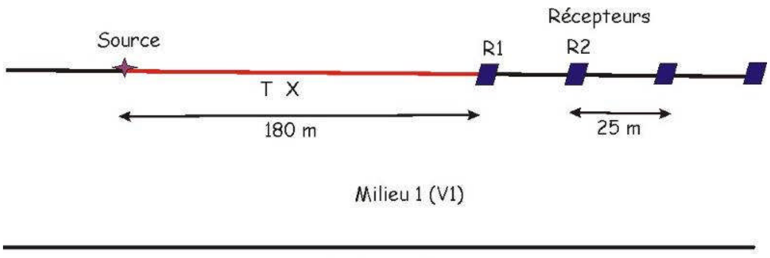
Plusieurs ondes sont identifiables :

- L'onde directe : cette onde se propage directement de la source au récepteur à la vitesse du $1^{er}$ milieu. Dans le cas d'un milieu à vitesse constante (nous ne considérerons ici que des milieux à vitesse constante, sinon, c'est un peu trop compliqué), elle se propage en ligne droite.
- Une onde réfractée à la $1^{ère}$ interface : cette onde se propage à partir de l'angle de réfraction critique (que nous définirons plus loin) lorsque l'interface correspond à un contraste de vitesse positif. Elle se propage juste sous l'interface à la vitesse du $2^{ème}$ milieu.
- Enfin, on peut identifier une $2^{ème}$ onde réfractée.

## Les équations des hodochrones :

Sur l'enregistrement du point de tir, on peut avoir 2 informations : la distance source – récepteur notée X (en m) en abscisse et le temps d'arrivée en ordonnée T (en s). Nous allons donc exprimer les équations des ondes en fonction de ces 2 paramètres.

### a) L'onde directe



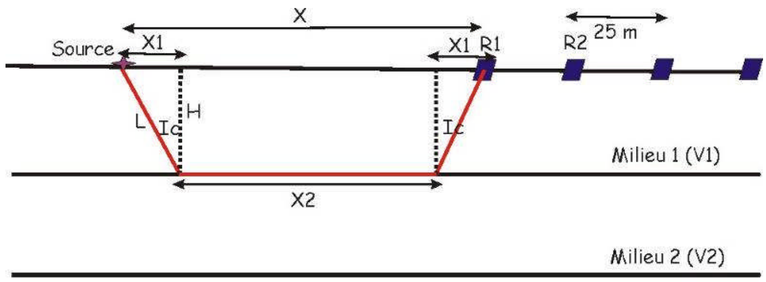

Trajet de l'onde directe

Soit T le temps d'arrivée de l'onde directe au récepteur situé à la distance X de la source. Dans le cas d'une vitesse constante, son temps de trajet est simplement :

$$\mathbf{T = X / V1} \quad \text{avec V1 la vitesse du 1}^{er}\text{ milieu}$$

La pente de l'hodochrone de l'onde directe est donc $p=1/V_1$, on en déduit donc $V_1$.

### b) La 1$^{ère}$ onde réfractée




Trajet de l'onde réfractée à la 1ère interface

*Loi de Descartes à l'interface entre 2 milieux de vitesse $V_1$ et $V_2$ :*

*$\sin(i_1) / V_1 = \sin(i_2) / V_2$*

*L'angle de réfraction critique se caractérise par $i_2 = 90°$, soit, $i_1 = i_c = \text{arcin}(V_1 / V_2)$*
*Cette équation nous montre que la condition d'existence d'une onde réfractée est $V_2 > V_1$, cette onde n'est donc observée que si l'on a une augmentation de vitesse à l'interface.*

Nous pouvons à présent exprimer le temps de trajet T de cette onde réfractée :

$$T = 2l / V_1 + X_2 / V_2 \quad \text{avec } \cos(i_c) = H / l \text{ d'où } l = H / \cos(i_c)$$
$$\text{Et } \tan(i_c) = X_1 / H \text{ d'où } X_1 = H*\tan(i_c)$$

Comme $X_2 = X - 2X_1$
On a encore besoin de $V_2 = V_1 / \sin(i_c)$ (loi de Descartes)
On remplace l et $X_2$ par leur expression en fonction de H, X et $i_c$ :

$$T = 2H / V_1\cos(i_c) + X / V_2 - 2H\tan(i_c) / V_2$$

$$T = 2H / V_1\cos(i_c) + X / V_2 - 2H\sin^2(i_c) / V_1\cos(i_c)$$

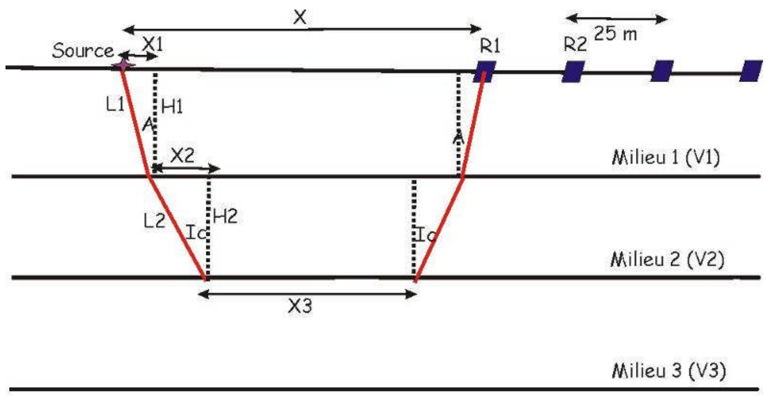
$$T = 2H(1 - \sin^2(i_c)) / V_1\cos(i_c) + X / V_2$$

$$T = 2H\cos^2(i_c) / V_1\cos(i_c) + X/V_2$$

D'où l'équation : $\mathbf{T = X / V_2 + 2H\cos(i_c) / V_1}$

La pente de l'hodochrone est $1 / V_2$, on en déduit donc la vitesse $V_2$ dans le 2ème milieu. Connaissant $V_2$ et $V_1$, on peut donc trouver $i_c$, l'angle de réfraction critique. Le 2ème membre de l'équation est l'ordonnée à l'origine, on le mesure directement sur l'enregistrement et on trouve ainsi H, l'épaisseur de la 1ère couche.

### c) La 2ème onde réfractée



Trajet de l'onde réfractée à la 2ème interface

Pour établir l'équation de cette onde, on définit :

$X = X_3 + 2X_2 + 2X_1$

$\tan(a) = X_1 / H_1$ et $\tan(i_c) = X_2 / H_2$

Ainsi que les lois de Descartes aux 2 interfaces : $\sin(a) / V_1 = \sin(i_c) / V_2 = 1 / V_3$

Le temps de trajet de l'onde est : $T = X_3 / V_3 + 2l_2 / V_2 + 2l_1 / V_1$

En remplaçant $X_3$, $l_2$ et $l_1$ :

$$T = X / V_3 + 2H_2 / V_2\cos(i_c) - 2H_2\sin^2(i_c) / V_2\cos(i_c) + 2H_1 / V_1\cos(a) - 2H_1\sin^2(a) / V_1\cos(a)$$

$$T = X / V_3 + 2H_2(1 - \sin^2(i_c)) / V_2\cos(i_c) + 2H_1(1 - \sin^2(a)) / V_1\cos(a)$$

L'expression final du temps de trajet de la 2ème réfractée est alors :

$$\mathbf{T = X / V_3 + 2H_2\cos(i_c) / V_2 + 2H_1\cos(a) / V_1}$$

La pente de l'hodochrone est $1 / V_3$, on en déduit donc $V_3$, la vitesse du 3ème milieu. A partir des valeurs de vitesses, on applique la loi de Descartes pour trouver $i_c$ et a. L'ordonnée à l'origine de l'hyperbole nous donne $H_2$.

<u>**Application numérique : élaboration du modèle**</u>

**Pour l'onde directe :**

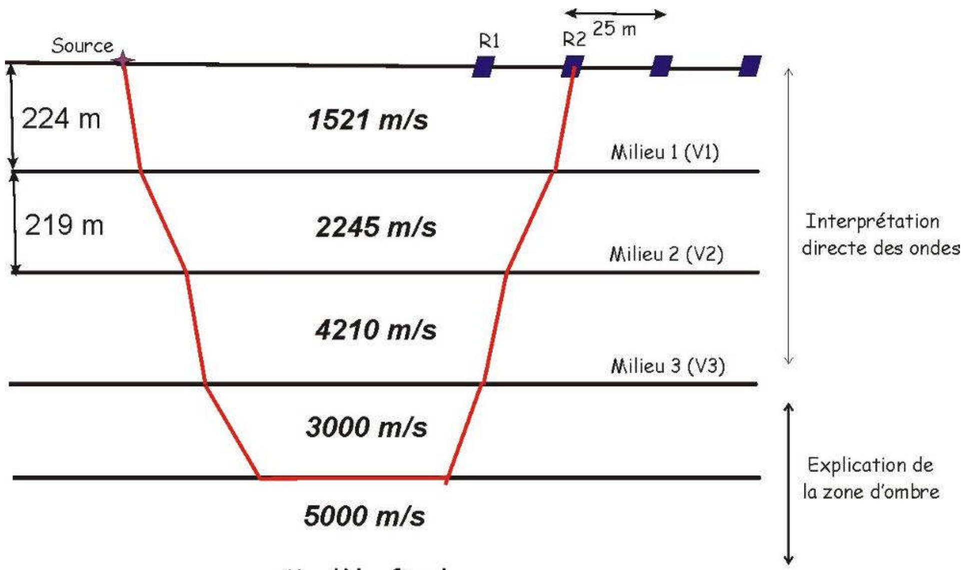
Le calcul de la pente donne $\mathbf{V_1 = 1521}$ **m/s.**
(j'ai pris les 2 points suivants : trace 240 (180 m), T = 0.125 s et X = 1.818 m, T = 1.32 s)

**pour la 1ère réfractée :**

le calcul de la pente donne $\mathbf{V_2 = 2245}$ **m/s**.
Grâce aux valeurs de $V_1$ et $V_2$, on trouve la valeur de l'angle critique : $i_c = 42°$.
L'ordonnée à l'origine est 0.21 s. on en déduit donc l'épaisseur de la couche : **H = 224 m**.

**Pour la 2ème réfractée :**

Le calcul de la pente donne $\mathbf{V_3 = 4210}$ **m/s.**
Les angles sont a = 21° et $i_c = 32.2°$.
Enfin, l'ordonnée à l'origine (0.44 s) permet de trouver l'épaisseur de la 2ème couche : $\mathbf{H_2 = 219}$ **m.**




Modèle final

**Que signifient de telles vitesses de propagation ?**

Cette expérience a lieu en mer. La vitesse du 1er milieu est donc la vitesse de propagation des ondes P dans la mer. Ensuite, on a une couche de vitesse faible, cela peut correspondre à des sédiments lents, peu compactés (boue au fond de la mer). La vitesse plus forte de 4000 m/s pourrait correspondre à une couche de carbonates.
En dessous de la 2ème réfractée, on observe une zone d'ombre, puis, une 3ème arrivée, de vitesse apparente de propagation plus rapide . Cette zone d'ombre peut s'expliquer par la présence d'une unité de vitesse plus faible, sous celle à 4000 m/s. En effet, nous avons vu qu'une onde réfractée n'était présente que dans le cas d'un contraste de vitesse positif à une interface.
D'un point de vue plus général, cette étude est située en Grèce, au Nord du Golfe de Corinthe. La structure géologique de la région est bien connue : il s'agit d'un succession de chevauchements de nappes alpines, chacune d'elles ayant une épaisseur de l'ordre du kilomètre. L'intercalation d'une unité de vitesse plus lente peut correspondre à une couche de flysch, couramment observée dans ce type de structure.