

MASTER STEP Institut de Physique du Globe de Paris
Géophysique de l'Environnement

TD2 : Exercice complémentaire de sismique

par Estelle Roux

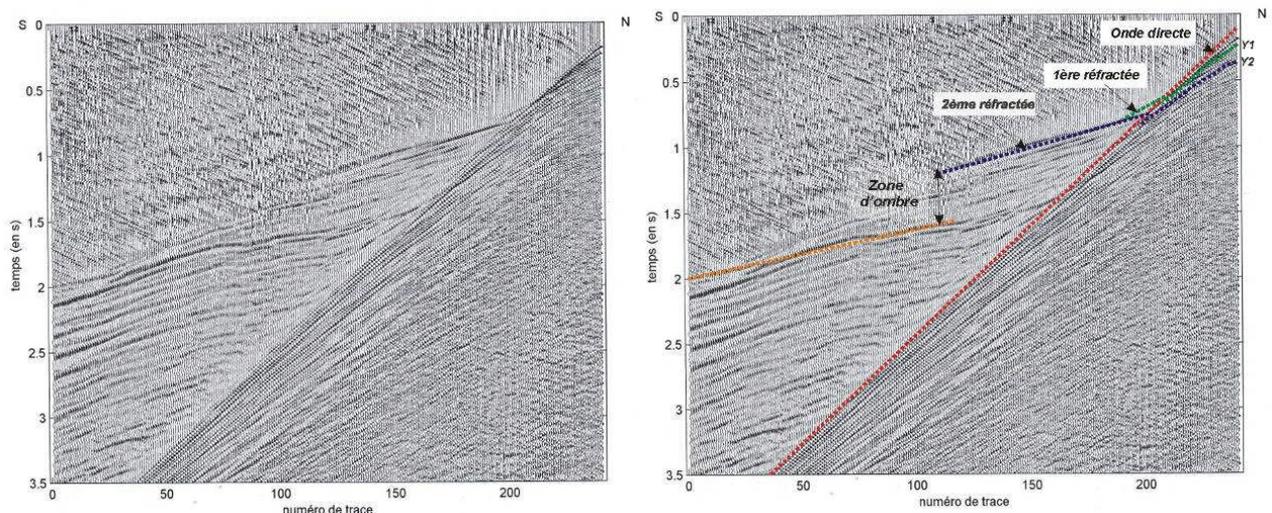
- 1) Identifier les ondes sur le point de tir
- 2) Trouver les équations des hodochrones pour chacune d'elles
- 3) A partir des observations sur la section grand angle, trouver le modèle correspondant, en considérant des couches planes et horizontales

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.

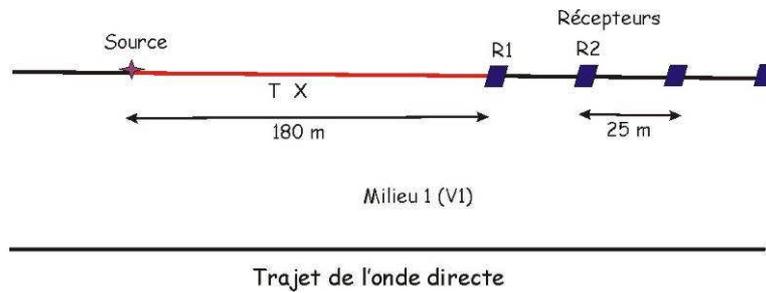
➤ Une onde réfractée à la 1^{ère} interface : cette onde se propage à partir de l'angle de réfraction critique (que nous définirons plus loin) lorsque l'interface correspond à un contraste de vitesse positif. Elle se propage juste sous l'interface à la vitesse du 2^{ème} milieu.

➤ 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.

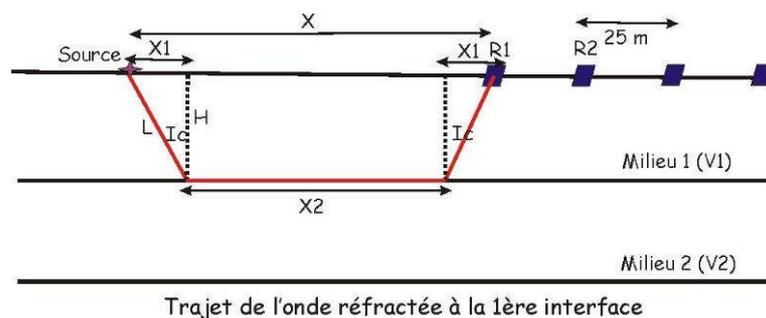
a) L'onde directe



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 :

$$T = X / V_1 \quad \text{avec } V_1 \text{ la vitesse du 1}^{\text{er}} \text{ milieu}$$

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

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 $i_2 = 90^\circ$, soit, $i_1 = i_c = \arcsin(V_1 / V_2)$

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 :

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

$$\text{Et } \tan(i_c) = X_1 / H \quad \text{d'où } X_1 = H \cdot \tan(i_c)$$

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 :

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

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

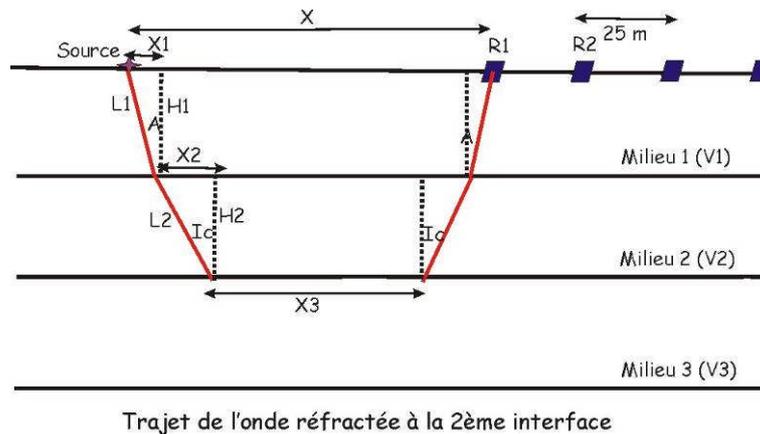
$$T = 2H(1 - \sin^2(i_c)) / V_1 \cos(i_c) + X / V_2$$

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

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

La pente de l'hodochrone est $1 / V_2$, on en déduit donc la vitesse V_2 dans le 2^{ème} milieu. Connaissant V_2 et V_1 , on peut donc trouver i_c , l'angle de réfraction critique. Le 2^{ème} 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 1^{ère} couche.

c) La 2^{ème} onde réfractée



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

$$X = X_3 + 2X_2 + 2X_1$$

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

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

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

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 2^{ème} réfractée est alors :

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

La pente de l'hodochrone est $1 / V_3$, on en déduit donc V_3 , la vitesse du 3^{ème} 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 .

Application numérique : élaboration du modèle

Pour l'onde directe :

Le calcul de la pente donne $V_1 = 1521 \text{ m/s}$.

(j'ai pris les 2 points suivants : trace 240 (180 m), $T = 0.125 \text{ s}$ et $X = 1.818 \text{ m}$, $T = 1.32 \text{ s}$)

pour la 1^{ère} réfractée :

le calcul de la pente donne $V_2 = 2245 \text{ m/s}$.

Grâce aux valeurs de V_1 et V_2 , on trouve la valeur de l'angle critique : $i_c = 42^\circ$.

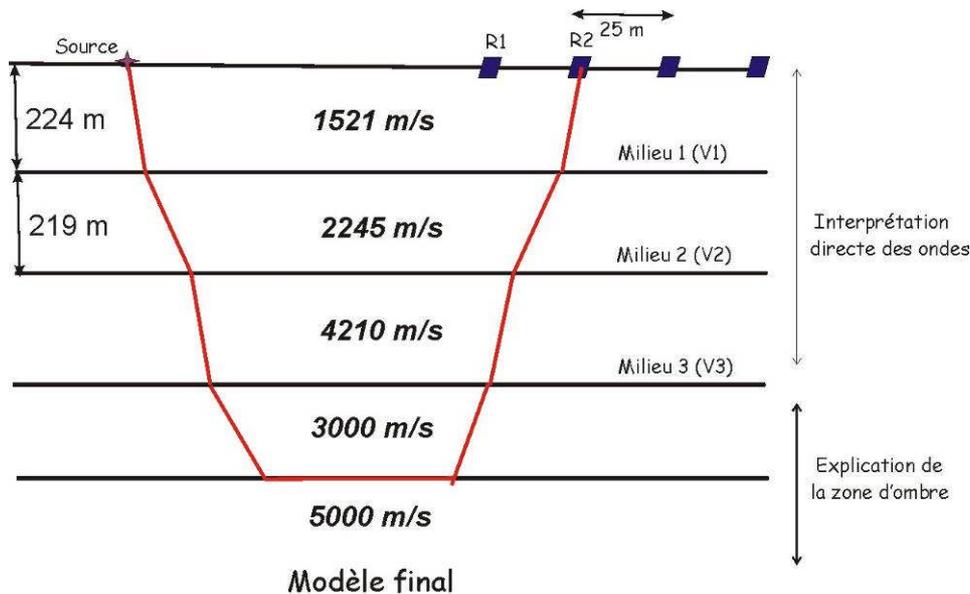
L'ordonnée à l'origine est 0.21 s. on en déduit donc l'épaisseur de la couche : $H = 224 \text{ m}$.

Pour la 2^{ème} réfractée :

Le calcul de la pente donne $V_3 = 4210 \text{ m/s}$.

Les angles sont $a = 21^\circ$ et $i_c = 32.2^\circ$.

Enfin, l'ordonnée à l'origine (0.44 s) permet de trouver l'épaisseur de la 2^{ème} couche : $H_2 = 219 \text{ m}$.

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

Cette expérience a lieu en mer. La vitesse du 1^{er} 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 2^{ème} réfractée, on observe une zone d'ombre, puis, une 3^{ème} 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'une 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.