Chapitre 2

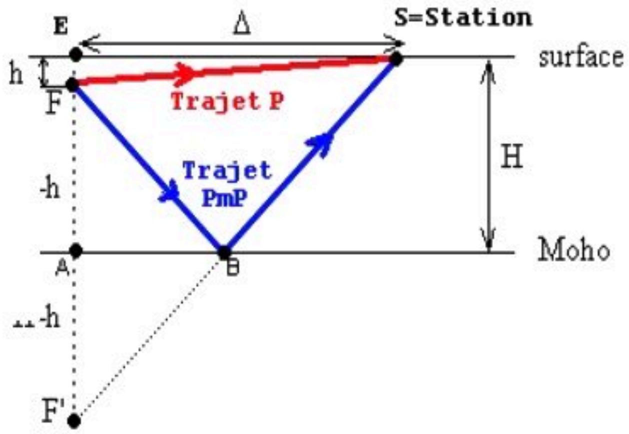
EXERCICE : DYNAMIQUE LITHOSPHERIQUE DE CONVERGENCE : LES COLLISIONS : PROFONDEUR DU MOHO

Principe de la méthode : grâce aux données de certains séismes présentés dans le logiciel Sismolog, il est possible de calculer la profondeur du Moho. En effet, les ondes P suivies d'un 2e train d'ondes PmP, qui se sont réfléchies sur le Moho, sont visibles sur certains sismogrammes. Leurs temps d'arrivée peuvent être repérés. Par ailleurs, l'étude de nombreux séismes a permis de déterminer que la vitesse moyenne des ondes P dans la croûte continentale sous les Alpes est de 6,25 km.s^{-1}.

Les ondes sismiques obéissent à la loi de Snell – Descartes : le F' est donc le point image de l'objet qui le point où a eu lieu le séisme, (c'est-à-dire l'épicentre). A partir du foyer du séisme, les ondes P sont diffusées dans toutes les directions (comme le point lumineux qui envoie de la lumière dans toutes les directions).

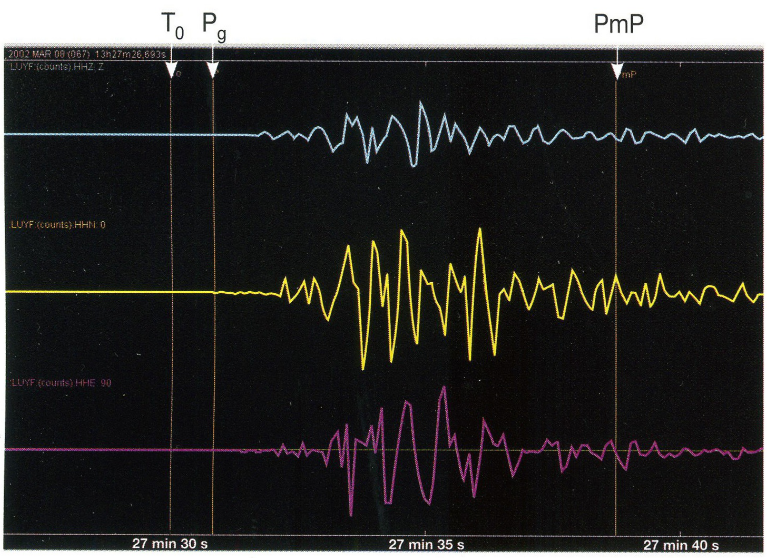
- Les ondes P sont celles qui arrivent directement à la station d'enregistrement.
- Les ondes PmP sont des ondes P qui se réfléchissent au niveau du Moho avant d'arriver à la station.

E = Epicentre
F = Foyer du séisme
F' = Point « image » de F
h = profondeur du séisme
H = profondeur du Moho
Δ = distance de la station à l'épicentre du séisme



Schématisation du trajet des ondes sismiques P et PmP

CALCULEZ LA PROFONDEUR DU MOHO LITTÉRALEMENT : DÉMONSTRATION MATHÉMATIQUE PUIS APLLICATION NUMÉRIQUE (AN) ALPINE À DIGNE ET GARDANNE : QUE CONSTATEZ-VOUS ? (CROÛTE MOYENNE : 35 KM D'ÉPAISSEUR)



Séisme de Gardanne (magnitude 2,7 du 8 mars 2002)

● Le même travail a été réalisé sur l'enregistrement d'un séisme survenu à Digne, le 16 février 2008. Le *tableau* regroupe les résultats de cette double étude.

	Séisme de Gardanne	Séisme de Digne
h = Profondeur du foyer (en km)	1	1
Δ = Distance épicentrale (en km)	8	110
V = Vitesse moyenne des ondes P (en km·s^{-1})	6,25	6,25
δt = PmP – Pg (en s)	À mesurer	4,2

Chapitre 2

DYNAMIQUE LITHOSPHERIQUE DE CONVERGENCE : LES COLLISIONS

1° - Calcul de la position du point de réflexion (B) des ondes PmP au niveau du Moho.

Dans les triangles homothétiques F'SE et F'BA la petite propriété de Thalès permet de calculer AB :

$$\frac{AB}{\Delta} = \frac{F'B}{F'S} = \frac{F'A}{F'E}$$

Avec $F'E = H + (H - h) = 2H - h$ et $F'A = H - h$

L'équation devient

$$\frac{AB}{\Delta} = \frac{H-h}{2H-h}$$

on en déduit que

$$AB = \frac{H-h}{2H-h} \times \Delta$$

2° - Calcul de la distance parcourue par les ondes P et PmP

On sait que :

$$t = \frac{D}{V}$$

Avec

V = vitesse des ondes P dans la croûte

D = la distance parcourue par les ondes

t = temps mis par les ondes pour parvenir à la station

$D = V \times t$

Donc $D_p = V \times t_p$, si t_p est le temps mis par les ondes P pour parvenir à la station

$D_{PmP} = V \times t_{PmP}$, si t_{PmP} est le temps mis par les ondes PmP pour parvenir à la station.

En utilisant le théorème de Pythagore, on peut calculer D_p :

$(D_P)^2 = h^2 + \Delta^2$ donc $\mathbf{D_p = \sqrt{(h^2 + \Delta^2)}}$

En utilisant le loi de Snell Descartes on peut calculer D_{PmP} :

D_{PmP} = FB + BS et d'après la construction du point image FB = F'B

D_{PmP} = F'B + BS = hypoténuse du triangle rectangle SEF

donc $(F'B + BS)^2 = (2H - h)^2 + \Delta^2$

D'où $\mathbf{D_{PmP} = \sqrt{[(2H - h)^2 + \Delta^2]}}$

3° - Recherche de la profondeur du Moho

On peut calculer la différence de temps d'arrivée, δt, entre les ondes P et PmP

$$\delta t = \frac{(D_{PmP} - D_P)}{V}$$

$$\delta t = \frac{\sqrt{((2H-h)^2+\Delta^2)}}{V} - \frac{\sqrt{(h^2+\Delta^2)}}{V}$$

$$\delta t \,.\, V = \sqrt{((2H-h)^2 + \Delta^2)} - \sqrt{(h^2 + \Delta^2)}$$

$$\delta t \,.\, V + \sqrt{(h^2 + \Delta^2)} = \sqrt{((2H-h)^2 + \Delta^2)}$$

En élevant au carré cette expression, elle devient :

$$\left[\delta t \,.\, V + \sqrt{(h^2 + \Delta^2)}\right]^2 = ((2H-h)^2 + \Delta^2)$$

$$(2H-h)^2 = \left[\delta t \,.\, V + \sqrt{(h^2 + \Delta^2)}\right]^2 - \Delta^2$$

$$2H - h = \sqrt{\left[\delta t \,.\, V + \sqrt{(h^2 + \Delta^2)}\right]^2 - \Delta^2}$$

$$2H = h + \sqrt{\left[\delta t \,.\, V + \sqrt{(h^2 + \Delta^2)}\right]^2 - \Delta^2}$$

$$H = \frac{1}{2}\left(h + \sqrt{\left[\delta t \,.\, V + \sqrt{(h^2 + \Delta^2)}\right]^2 - \Delta^2}\right)$$

Informations déduites de l'analyse des documents :

Doc. 1 : Décalage entre les ondes Pg et PmP pour le séisme de Gardanne : 7,9 s.

Profondeur du Moho déterminée à partir du séisme de Gardanne : 28,7 km.

Profondeur du Moho déterminée à partir du séisme de Digne : 40,2 km.

Dans ce deuxième cas, c'est la profondeur du Moho au niveau approximatif de Manosque (à mi-chemin entre Gardanne et Digne) qui est estimée (alors que dans le premier cas, c'est la profondeur dans la région aixoise).

On constate donc que le Moho est plus profond en s'approchant des Alpes. L'épaisseur de la croûte continentale est plus grande sous des reliefs plus élevés, ce qui peut être en lien avec la présence d'une « racine crustale » sous la chaîne de montagnes.

Pour calculer H, la profondeur du Moho à la distance AB de la station, il faut donc connaître :

- la profondeur du séisme,
- la vitesse V des ondes P dans la croûte à proximité de la station (on la considère égale à 6,5 km.s^{-1}),
- la distance Δ entre l'épicentre et la station,
- la différence de temps d'arrivée δt, entre les ondes P directe et les ondes PmP réfléchies par le Moho (ce temps sera appelé "Autres -P" lors du dépouillement des sismogrammes)