

Les études sismiques ont révélé la présence de deux types de croûte, la croûte océanique et continentale séparées du manteau par la discontinuité du Moho.

On cherche à retrouver cette différence au niveau de leur composition minéralogique.

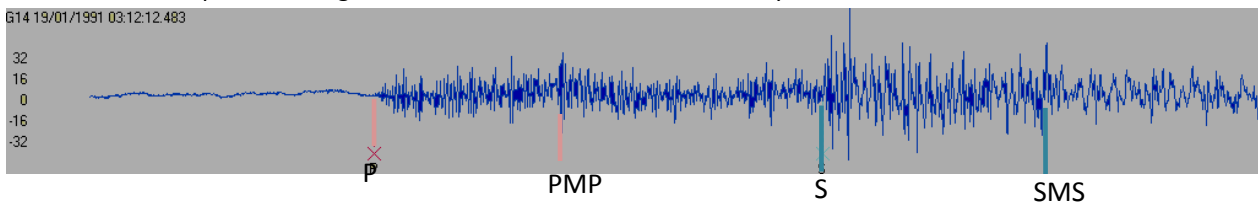
Problème : Quelles sont les caractéristiques des roches constitutives de la croûte et du manteau terrestre ?

Objectifs :

- Limite en profondeur de la croûte (discontinuité du Moho)
- Identifier une roche à l'œil nu.
- Utiliser un microscope polarisant (cf. fiche méthode) et des clés de détermination de minéraux (pages 344-345) pour étudier la minéralogie d'une roche.
- Calculer la densité d'une roche.

1. Mise en évidence d'une discontinuité superficielle.

Voici un exemple de sismogramme obtenu lors du séisme d'Annecy en France en 1991.



Sur chaque sismogramme, il est enregistré 2 fois les ondes P (P puis PMP), et 2 fois les ondes S (S et SMS).

Il se pose alors le problème de la cause de la répétition des ondes P et S, parties en même temps du foyer sismique ! Nous allons nous aussi tenter de répondre à cette même interrogation en utilisant une loi physique (loi de Descartes).

La répétition des ondes fait penser à un phénomène d'écho, nécessitant un obstacle à la propagation des ondes et provoquant une réflexion des ondes.

C'est Mohorovicic qui le premier fait cette observation, il montre alors l'existence d'une discontinuité qui sépare la croûte du manteau supérieur, celle-ci fut appelée la **discontinuité de Mohorovicic** ou **Moho** en l'honneur de son découvreur.

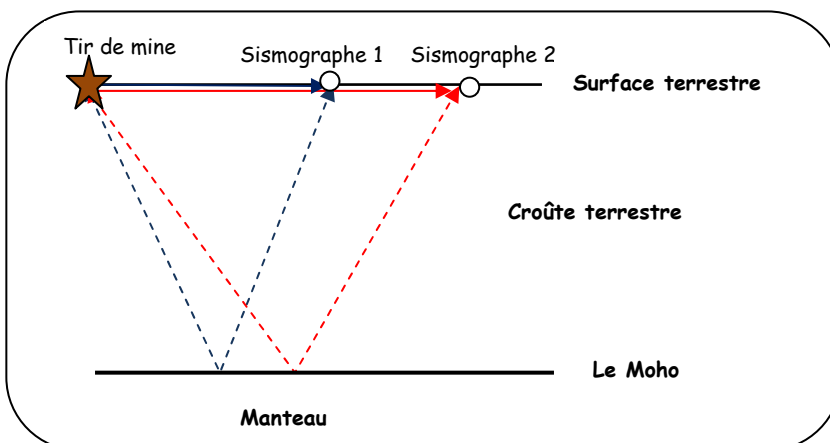
Voici les résultats obtenus par les onze sismographes :

Sismographes	Distance au tir de mine (en km)	Temps d'arrivée de la première onde (en s)	Temps d'arrivée de la deuxième onde (en s)
N°1	1	0,18	12,74
N°2	10	1,82	13,09
N°3	20	3,64	13,45
N°4	30	5,46	14,18
N°5	40	7,25	14,72
N°6	50	9,06	15,63
N°7	60	10,90	16,72
N°8	70	12,71	18,18
N°9	80	14,54	19,27
N°10	90	16,35	21,09
N°11	100	18,20	22,18

Un tir de mine a été effectué dans une carrière située à l'ouest du Massif Central. Onze sismographes ont été placés dans un disque de rayon de 100 km autour de la carrière. Tous enregistrent l'arrivée de deux trains d'ondes : des ondes précoces et intenses (en trait plein sur le schéma) et des ondes tardives et faibles dus au changement de couches (en traits discontinus sur le schéma).

Les premières ondes correspondent à des rais ayant traversé un milieu homogène (vitesse constante), les autres à des rais sismiques réfléchis par la discontinuité du Moho

Voici le schéma du dispositif utilisé (remarque seuls les deux premiers sismographes sont représentés)



Calculez le plus précisément possible la profondeur du Moho dans le massif central.

Aide :

Utilisez les propriétés de Pythagore dans un triangle rectangle et les calculs de vitesse des ondes.

2. Etude macroscopique et microscopique des roches de la croûte continentale et océanique.

Vous disposez de 4 échantillons de roche et des lames minces correspondantes.

Consigner vos résultats dans le tableau fourni :

Aide : la texture des roches

La texture **grenue**: se dit d'une roche entièrement cristallisée. Tous les minéraux sont visibles à l'œil nu. Ils sont jointifs.

La texture **microlitique**: Minéraux + petits minéraux orientés nommés **microlites**, noyés dans un **verre**, pâte amorphe.

Aide à l'identification microscopique d'un minéral : voir livre p 400 ou fiches fournies




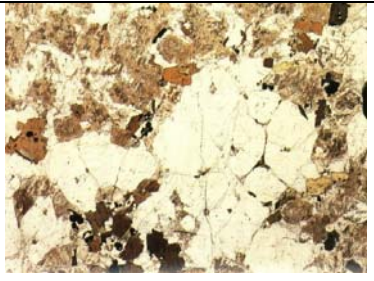




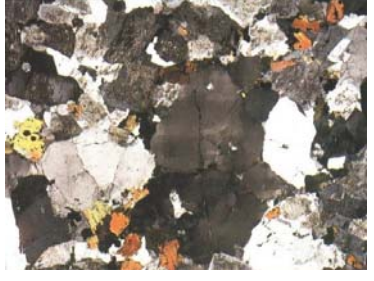

Critères : la couleur en LPNA, la forme globale, le clivage, l'altération, et la teinte de polarisation du minéral en LPA.

Aide : Calcul de la densité d'une roche :

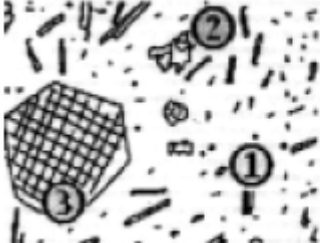
Rappel : $\rho \text{ (g/cm}^3\text{)} = m / v.$ $d = \rho \text{ corps} / \rho \text{ eau.}$

La masse volumique de l'eau est égale à 1g/cm^3 .

Utiliser la balance et l'éprouvette graduée pour faire votre mesure.

		Olivine	Feldspath plagioclase	Pyroxène	Quartz	Biotite (mica noir)
Au microscope au faible grossissement	LPNA	<ul style="list-style-type: none"> • Limpide • Relief fort. • Craquelures fréquentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Incolore, mais parfois troublé par des paillettes de mica blanc. • Relief variable, de négatif (Albite) à positif (Labradorite) 	<ul style="list-style-type: none"> • Incolore, très souvent automorphe • Relief fort. • Présence de deux clivages à 87°. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incolore et limpide mais parfois avec une apparence poussiéreuse donnée par de nombreuses et minuscules inclusions. • Le relief est assez faible. • Section irrégulière comblant les interstices 	<ul style="list-style-type: none"> • Sous forme de baguettes ressemblant à des lames de parquet. • Relief moyen. • Pléochroïsme brun - beige très net. • Un clivage parfait dans la direction d'allongement du minéral. • Fréquentes inclusions de zircons.
	LPA	<ul style="list-style-type: none"> • Teintes de polarisation: vives et pures. • Extinction droite. 	<ul style="list-style-type: none"> • Teintes de polarisation : dans le gris blanc du 1er ordre, parfois jaune pâle. • Macles polysynthétiques caractéristiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Teintes de polarisation de la fin du 2° ordre (jaune orangé ou marron fréquents. • Macles fréquentes parfois en sablier. • Extinction oblique, angle entre 30 et 40°. 	<ul style="list-style-type: none"> • Teinte de polarisation gris clair à blanc. • Extinction roulante 	<ul style="list-style-type: none"> • Teintes de polarisation : couleurs vives du second ordre, en partie masquées par sa forte couleur d'absorption (brune). • Extinction : droite.
	En lumière polarisée non analysée					
En lumière polarisée et analysée						

Roches	Aspect à l'œil nu	Composition minéralogique	Texture	Calcul de la densité	Domaine représenté	Photographies
Granite						
Basalte						
Gabbro						
Péridotite						

Enveloppes	Roches représentatives	Densité	Composition minéralogique de la roche		
			Œil nu	Microscope polarisant	
				Texture	Aspect de la lame mince
Croûte continentale	Granite	2,7	QZ Feldspath Mica	Grenue : Entièrement cristallisée Cristaux visibles à l'œil nu	
Croûte océanique	Basalte	2,9	Phénocristaux : Pyroxène Olivine Microlites : Pyroxène Olivine feldspath	Microlitique Non entièrement cristallisée Phénocristaux Microlites verre	 <p>1 : Feldspath 2 : Pyroxène</p>
Manteau	Péridotite	3,3	Olivine Pyroxène spinelle	Grenue : Entièrement cristallisée Cristaux visibles à l'œil nu	

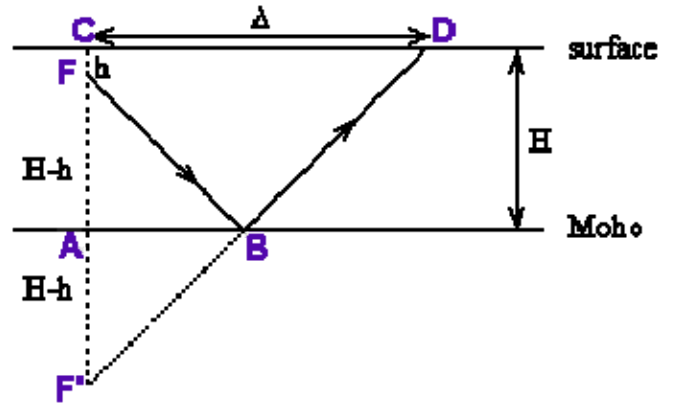
La **profondeur du Moho** peut être calculée grâce aux enregistrements des séismes, en connaissant :

- la **profondeur du foyer** du séisme (= profondeur focale)
- la **distance épacentrale** (= distance de l'épicentre à la station d'enregistrement)
- la **vitesse des ondes P** (= 6,25 Km / s)
- le **retard des ondes PMP** par rapport aux ondes P (calculé en secondes)

Il suffit de **choisir** une station sismique sur la carte des Alpes, par exemple, et d'appliquer la formule tirée de la démonstration suivante :

Données : les points remarquables :

- C : *épicentre du séisme*
- D : *station où le séisme est enregistré*
- F : *Foyer du séisme* B : *Point de réflexion des ondes P*



Données : les distances : FD : *trajet des ondes P directes*

CD : *distance de l'épicentre à la station*

H : *profondeur du Moho* h : *profondeur du foyer du séisme*

Données : les temps :

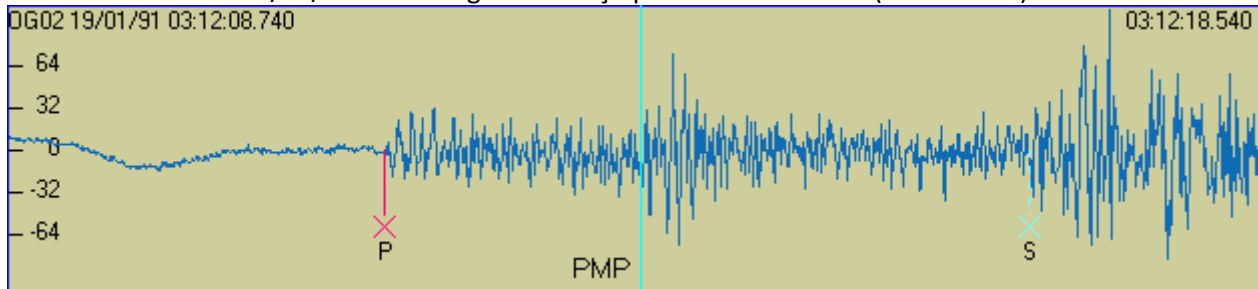
t_1 : *temps d'arrivée des ondes directes P à la station D*

t_2 : *temps d'arrivée des ondes PMP à la station D*

$\delta t = t_2 - t_1$

Au point D parviennent d'abord les ondes P directes selon le trajet FD puis un second train d'ondes P (= ondes PMP) selon le trajet FB et BD; on nomme δt le retard des ondes PMP par rapport aux ondes P

EX-1 : Séisme du 19/01/1991. Sismogramme reçu par la **station OG02** (Annemasse).



Profondeur focale $h = 11$ km
 Distance épacentrale $\Delta = 63,3$ km
 vitesse des ondes P = 6,25 Km / s

Arrivée des ondes P à 3 h 12 min 15,580 s
 Arrivée des ondes PMP à 3 h 12 min 18,540 s
 Arrivée des ondes S à 3 h 12 min 23,080 s
 Retard des ondes PMP $\delta t = 2,96$ s

Calcul de la profondeur du Moho

On connaît la vitesse des ondes P dans la croûte continentale dans les Alpes ($V = 6,25$ Km . s⁻¹).

Si on considère le triangle rectangle FCD, le théorème de Pythagore permet d'écrire : $FD^2 = FC^2 + CD^2$. En remplaçant par leurs valeurs, on obtient $(Vt_1)^2 = h^2 + \Delta^2$ soit $t_1^2 = (h^2 + \Delta^2) / V^2$.

De la même façon, si on considère le triangle rectangle CF'D, le théorème de Pythagore permet d'écrire : $F'D^2 = CF'^2 + CD^2$. En remarquant que FB+BD (trajet des ondes PMP) = F'B+BD et en remplaçant par leurs valeurs les diverses expressions, on obtient $(Vt_2)^2 = (2H-h)^2 + \Delta^2$ soit $t_2^2 = (2H-h)^2 + \Delta^2 / V^2$.

La suite du calcul est donnée ci-contre sachant que $\delta t = t_2 - t_1$:

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

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

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