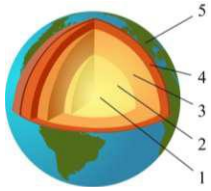
TP2 – Les séismes et l'étude de la structure interne du globe

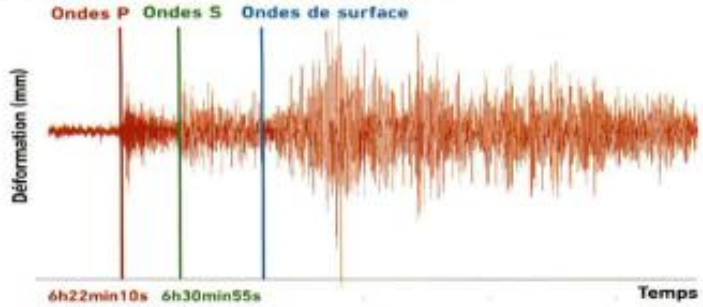


La structure interne de la Terre peut être identifiée de manière directe par forage. Néanmoins, le forage le plus profond n'a pas dépassé 13 km (forage sg3 de Kola), ce qui ne correspond qu'à une infime partie de la Terre, dont le rayon est d'environ 6400 km. Ainsi, l'identification de la structure interne de la Terre a donc été faite de manière indirecte par l'analyse de la propagation des ondes sismiques au moyen de techniques de **sismique réflexion**.

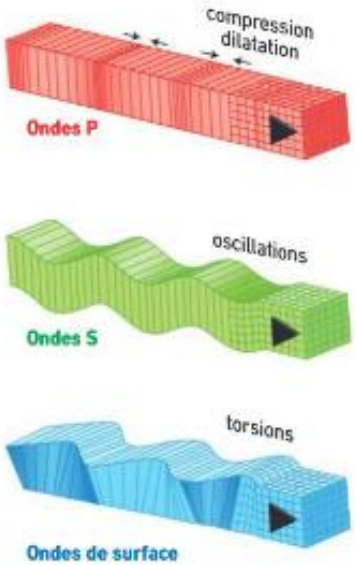
Problème posé : Comment les ondes sismiques peuvent-elles nous renseigner sur la structure de la Terre?

Document de référence

Les ondes sismiques et leur propagation



Sismogramme du séisme du Népal du 25 avril 2015, enregistré au lycée d'Aurillac, à 7 170 km de l'épicentre.



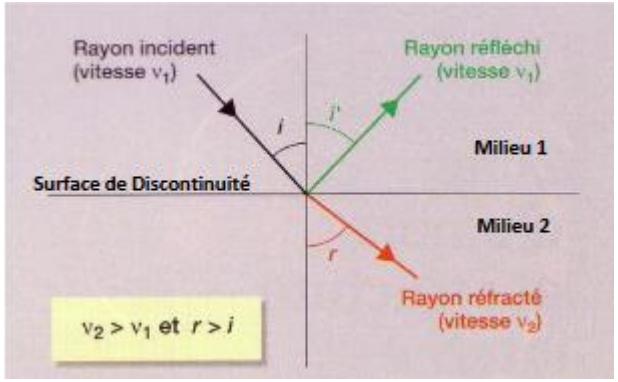
Les **ondes de volume** se propagent à l'intérieur du globe dans toutes les directions. Elles sont de deux types :

- Les **ondes P** sont les plus rapides, elles se propagent aussi bien dans les solides que les liquides, par compression-dilatation des matériaux traversés.
- Les **ondes S** de cisaillement se propagent uniquement dans les milieux solides, par oscillation.

Les **ondes de surface** se propagent uniquement dans les couches superficielles du globe. Elles sont moins rapides mais de grande amplitude, responsables des dégâts occasionnés par le séisme.

Roches	Granite	Basalte	Gabbro	Milieu liquide
Densité de la roche	2.7	2.9	3	3.2
Vitesse des **ondes P** (km/sec)	6.25	6.75	7.25	4 à 10 suivant composition
Vitesse des **ondes S** (km/sec)	4.15	4.50	4.6	0

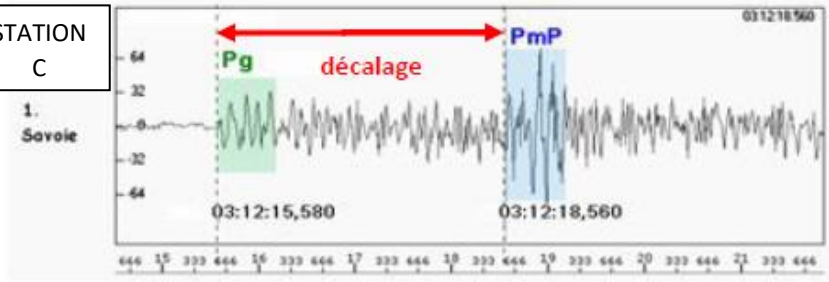
La propagation des ondes sismiques et les lois de Descartes



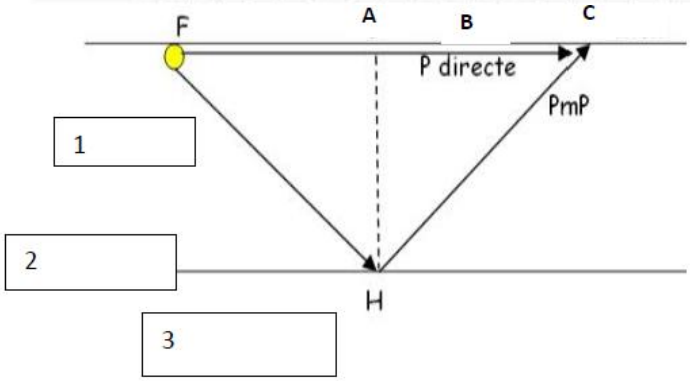
Les ondes sismiques sont des ondes mécaniques qui obéissent à des lois géométriques semblables à celles rencontrées en optique dans le cas des rayons lumineux (ondes électromagnétiques). Dans un milieu homogène, les ondes se propagent en ligne droite.
Mais Il existe des relations angulaires quand une onde sismique rencontre une surface séparant 2 milieux (en géophysique, on parle de discontinuité) où les propriétés physiques sont très différentes. Au niveau de cette discontinuité, les ondes peuvent être réfléchies et réfractées selon les lois de Snell-Descartes.

Mise en évidence de la discontinuité de Mohorovicic (ou Moho)

STATION C



En 1909, en étudiant un séisme dans la région de Zagreb, Andrija Mohorovicic observe sur son sismographe l'arrivée de deux trains d'ondes P successifs décalés dans le temps de Δt. Il inter-



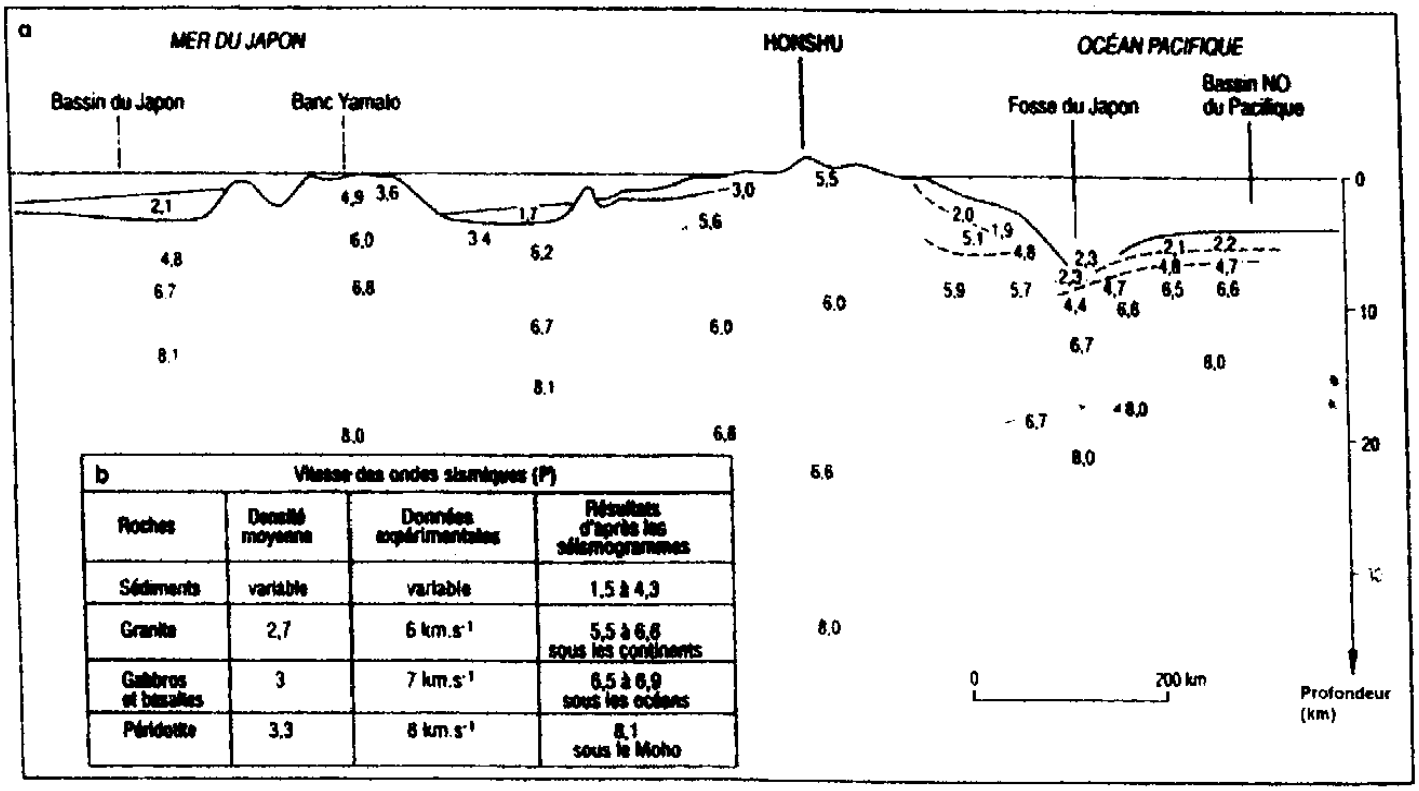
Rappels
- On considère que le foyer (F) de ce séisme est peu profond
- **AH** = l'épaisseur de la croûte continentale
- **H** = le point de réflexion des ondes PmP sur le Moho
- la vitesse de la 2ème onde (v2) est identique à celle de la 1ère (v1)
- Formule calcul de vitesse: **v = d/t**

***1 et 3 sont deux milieux différents**

Stations	Distance entre la station et le lieu du séisme	Temps mis par les ondes P
A	20 km	3,5 s
B	30 km	5,3 s
C	40 km	6,8 s puis 12,7 s

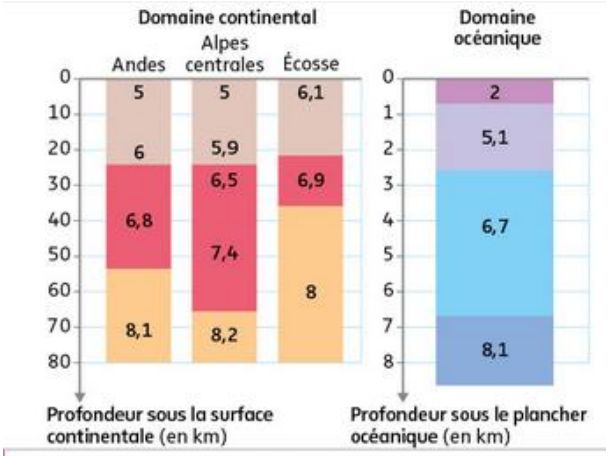
Aide à la résolution du calcul de la profondeur du Moho 👍
- Exprimer v1, puis v2
- Exprimer, en utilisant les lettres, la distance parcourue par les ondes PmP (= ondes réfléchies sur le Moho)
- Pour calculer l'épaisseur de la croûte ou la profondeur du Moho, on utilise le théorème de Pythagore à partir du trajet de propagation d'ondes sismiques lors de séismes.

FIGURE POUR TRACER LE MOHO :



b Vitesse des ondes sismiques (P)

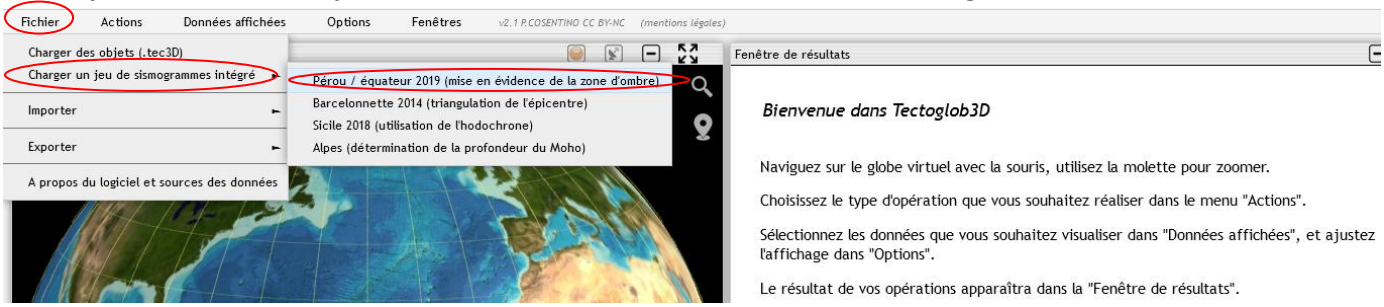
Roches	Densité moyenne	Données expérimentales	Résultats d'après les sismogrammes
Sédiments	variable	variable	1,5 à 4,3
Granite	2,7	6 km.s⁻¹	5,5 à 6,6 sous les continents
Gabbros et basaltes	3	7 km.s⁻¹	6,5 à 6,9 sous les océans
Péridotite	3,3	8 km.s⁻¹	8,1 sous le Moho

Activités	Capacités
➢ **Activité 1: Comprendre comment l'étude des séismes renseigne sur la structure du globe.** - Utilisez les **documents de référence** pour envisager comment déterminer la structure interne de la Terre grâce aux ondes sismiques. ➢ **Activité 2: Mettre en évidence une discontinuité superficielle** Vous allez effectuer un calcul historique ayant montré l'existence d'une discontinuité interne entre deux couches: la croûte et le manteau. 1°) Rechercher la cause des deux séries d'ondes enregistrées à la station C: proposez une explication à l'arrivée de deux trains d'ondes P. 2°) Sur votre fiche élève, déterminer par calcul la profondeur moyenne de cette discontinuité (Moho) en supposant que la vitesse de la 2ème onde est identique à celle de la 1ère. 3°) Indiquer les légendes 1, 2 et 3 sur votre fiche élève. 4°) A partir de la vitesse de propagation des ondes sismiques, tracer le Moho et en déduire la nature des roches constitutives des croûtes continentale, océanique et du manteau (à positionner sur le schéma de votre fiche élève). 5°) A l'aide de votre figure et/ou du document ci-dessous, expliquer l'accélération brutale des ondes P observées au franchissement du Moho. 6°) Que peut-on dire sur la profondeur du Moho à l'échelle du globe.  Vitesse moyenne de propagation des ondes P en km/s dans différents secteurs du globe. ➢ **Activité 3: Mettre en évidence des discontinuités profondes** - Réaliser le protocole proposer sur la fiche: *"Origine de la zone d'ombre à l'aide du logiciel en ligne « Tectoglob 3D"* - Identifier l'origine de la zone d'ombre à l'aide de vos résultats et de la vidéo associée : **Video Modélisation analogique de la zone d'ombre sismique:** https://www.youtube.com/watch?v=XHJagLcGc2o ➢ **Activité 4: Récapitulez vos résultats sous la forme la plus appropriée.** - Complétez un schéma en coupe de la structure de la Terre présentant les différentes enveloppes, leurs épaisseurs, leurs états (solide ou liquide) et les différentes discontinuités	***Proposer une démarche de résolution*** ***Utiliser des logiciels d'acquisition, de simulation et de traitement de données*** ***Communiquer à l'écrit***

Origine de la zone d'ombre à l'aide du logiciel en ligne « Tectoglob 3D »

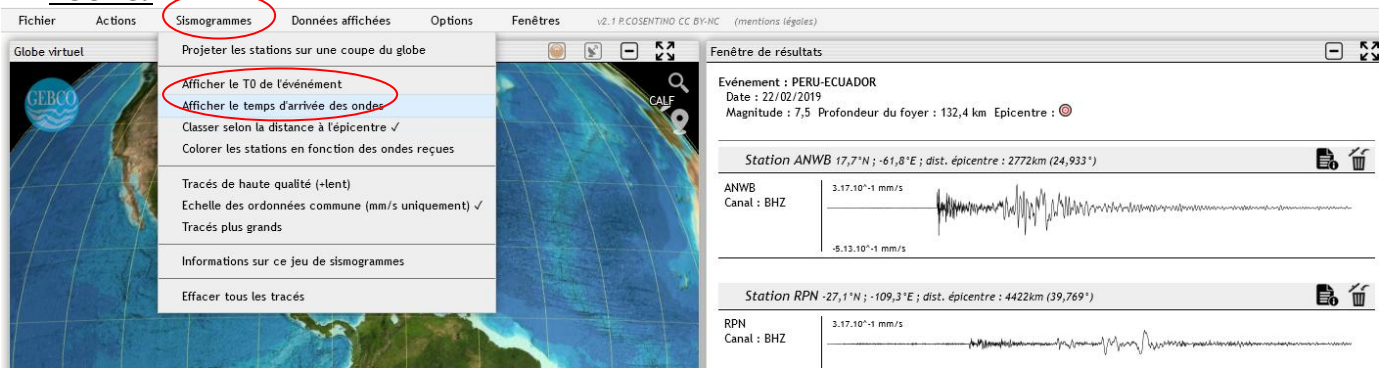
- Ouvrir TECTOGLOB 3D avec votre navigateur (google → tectoglob 3D →1er lien)
- Dans **FICHIER** →"*Charger un jeu de sismogrammes intégrés*" →"*Pérou/Equateur...*"

★ **Repérez sur la carte l'épicentre du séisme et les différentes stations d'enregistrement**



- Dans **SISMOGRAMMES**→ "*Afficher le temps d'arrivée des ondes*" et "*Afficher le T0 de l'évènement*"

★ **Repérez les arrivées des différentes ondes dans chaque station... <u>quel constat faites vous pour la station KOUNC?</u>**

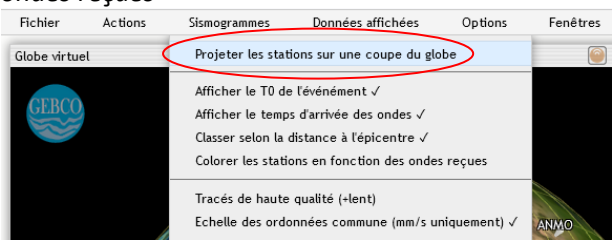


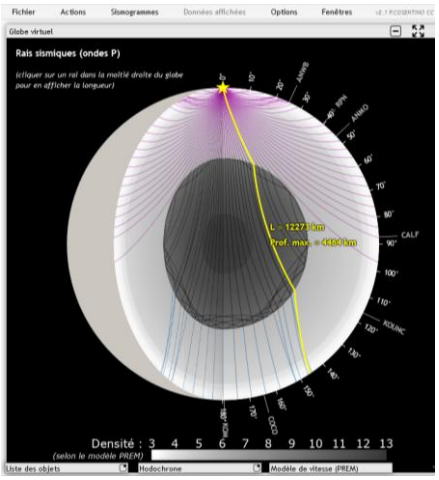
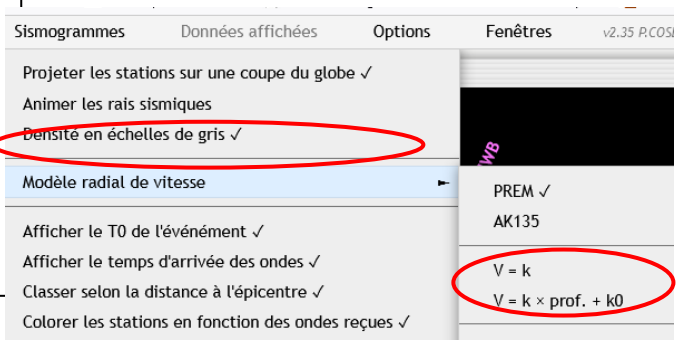
- Dans **ACTIONS**→ "*mesurer une distance*"

★ **A l'aide du logiciel mesurer la distance entre la station KOUNC et l'épicentre du séisme; <u>noter la DISTANCE ANGULAIRE</u>**

- Pour revenir aux sismogrammes, cliquez sur l'onglet SISMOGRAMMES → "*étudier les sismogrammes*"

- Dans **SISMOGRAMMES**→ "*projeter les stations sur une coupe du globe*" PUIS "*colorer les stations en fonction des ondes reçues*"





- Dans la fenêtre Réglages et paramètres en bas, **cliquez sur les différentes rais** (ondes P, S...) et **observez le résultat sur la coupe du globe** afin de comprendre la légende des différentes couleurs des stations.
- Dans la fenêtre "*Globe virtuel*" cliquez pour **faire apparaître le modèle de vitesse** *(vous pouvez déplacer la fenêtre si elle dérange)*
- Dans "Sismogrammes"→"modèle radiale de vitesse" **testez les 3 modèles proposés**: PREM, v =k, v= k*prof **observez le résultat sur la coupe du globe choisissez celui qui rend le mieux compte de la réalité** (justifiez).