

Evolution de la vitesse moyenne des ondes sismiques en fonction de la profondeur atteinte dans le manteau

Niveau	Lycée : Première S – BCPST 1
Thèmes du SISMO	Données et structure de la Terre
Objectif(s)	Calcul des vitesses d'ondes sismiques dans l'ensemble croûte - manteau. Comparaison des vitesses calculées pour trois stations situées à des distances différentes du foyer. Variation de la vitesse des ondes sismiques en fonction de la profondeur atteinte dans le manteau.
Déroulement	On calcule, pour chaque station d'enregistrement, les vitesses des ondes S et P dans l'ensemble croûte - manteau et on constate la variation de la vitesse des ondes P et S en fonction de la station d'enregistrement considérée. On met en relation cette variation de vitesse avec la profondeur maximale atteinte par les ondes sismiques dans le manteau.

Pré-requis :

- Méthode de calcul de la vitesse des ondes sismiques dans la croûte à l'aide d'un séisme proche enregistré par des stations proches. Cf. activité « sismo heure » p. 46-47 du « cahier d'activités du sismo », en ligne sur <http://www.edusismo.org> dans les « pistes pédagogiques ».
- Dans la croûte, les vitesses des ondes sismiques sont considérées comme constantes. Elles diffèrent toutefois en fonction du type d'onde considéré, en particulier entre ondes S et ondes P.
- Connaissance de l'existence et de la profondeur du Moho.

Le séisme choisi :

NFI / 12/09/2007 / 11h10min26s / -4,52° / 101,38° / 30 km / 8,4 / Sud de Sumatra
On utilisera les enregistrements des stations : CIVF, LFIT et RSLF

Déroulement possible de l'activité :

Première étape : analyse du tracé de la station CIVF :

Récupération des données depuis la base de données en ligne.

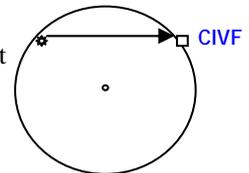
Affichage du tracé (la composante Z suffit pour cette activité).

Repérage des informations, en particulier de la distance (en degrés) qui sépare l'épicentre de la station.

→ 96°

On peut alors représenter sur un schéma à l'échelle le trajet suivi par les ondes directes en représentant une coupe de Terre à l'échelle, en plaçant le foyer, la station CIVF et le trajet suivi par les ondes directes.

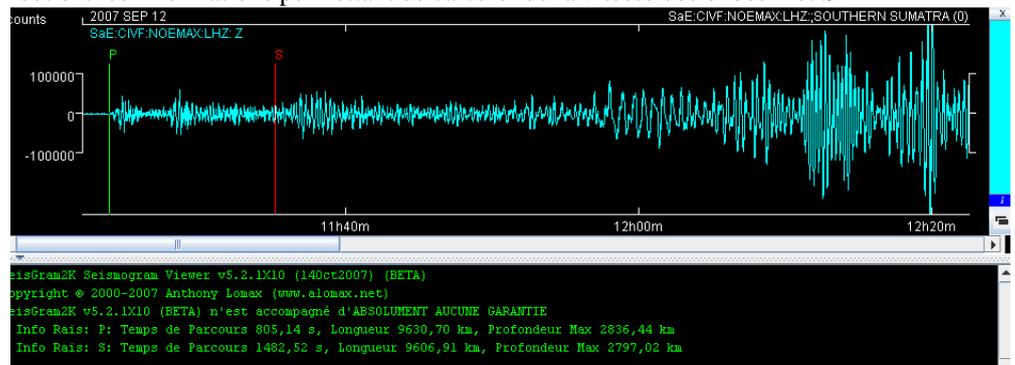
→ Les ondes sismiques ont dû traverser la croûte et le manteau pour aller du foyer à CIVF.



On utilise le bouton  pour afficher les pointés théoriques des ondes P, PP et S.

On repère les ondes P.

Grâce au module « infos rais », on obtient les informations permettant de calculer de la vitesse des ondes P et S.



→ $V_p = 11.9 \text{ km.s}^{-1}$

→ $V_s = 6.5 \text{ km.s}^{-1}$

On peut comparer ces valeurs à celles trouvées précédemment pour un séisme proche.

→ On a des vitesses beaucoup plus élevées dans l'ensemble croûte – manteau que dans la croûte seule.

Remarque : on peut faire de même pour d'autres stations situées à une distance voisine (SETF, CAIF, NICF, MTMF).

→ On constate que les vitesses trouvées sont très proches.

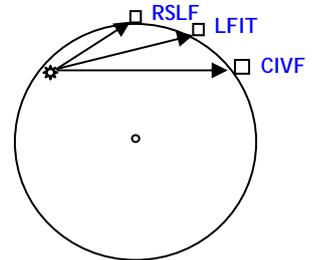
A partir de la comparaison des vitesses calculées dans la croûte seule ou dans l'ensemble croûte – manteau, on pose le problème de savoir ce qui influence la vitesse des ondes sismiques.

Deuxième étape : comparaison des vitesses obtenues pour CIVF avec des enregistrements de stations plus proches de l'épicentre

On se propose alors de comparer les vitesses constatées pour les stations de France métropolitaine à celles qu'on peut calculer pour des stations plus proches de l'épicentre du séisme.

On procède alors de la même manière que dans la première partie avec les enregistrements des stations plus proches : LFIT (Turquie) et RSLF (La Réunion).

- LFIT est située à 79° de l'épicentre
- RSLF est située à 48° de l'épicentre

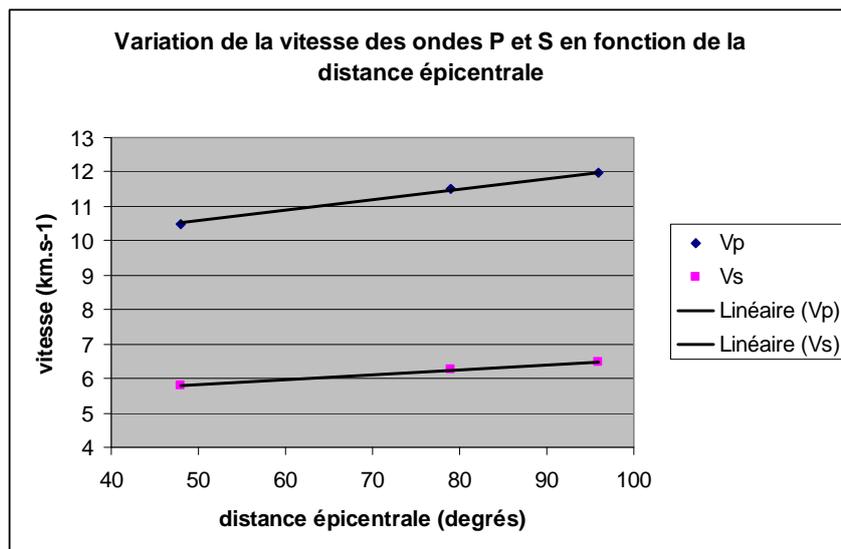


On calcule les vitesses des ondes P et S.

Mise en relation vitesse des ondes / distance épicentrale

station	distance épicentrale	Vp	Vs
CIVF	96	11,96	6,48
LFIT	79	11,5	6,27
RSLF	48	10,5	5,8

On peut représenter graphiquement la variation des vitesses des ondes P et S en fonction de la distance épicentrale de la station.

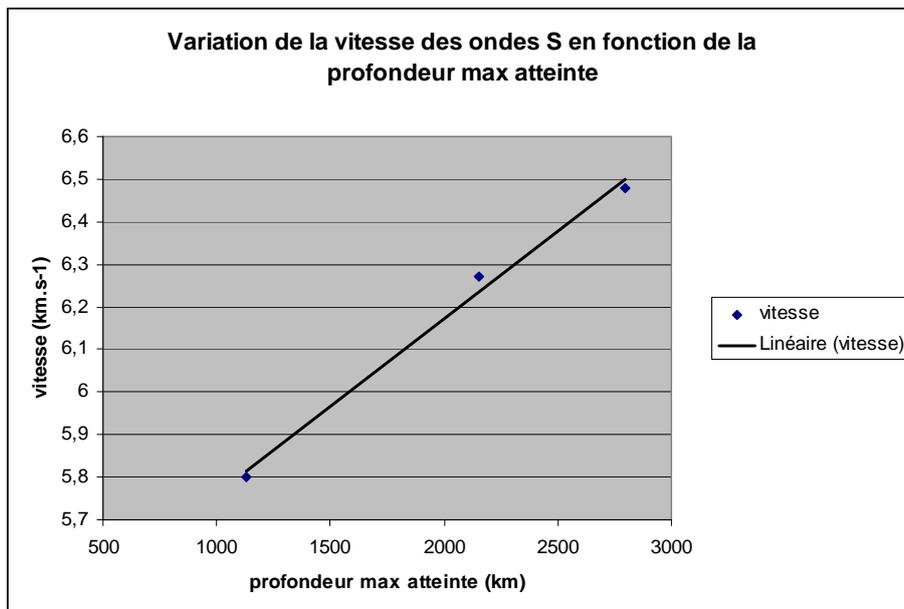
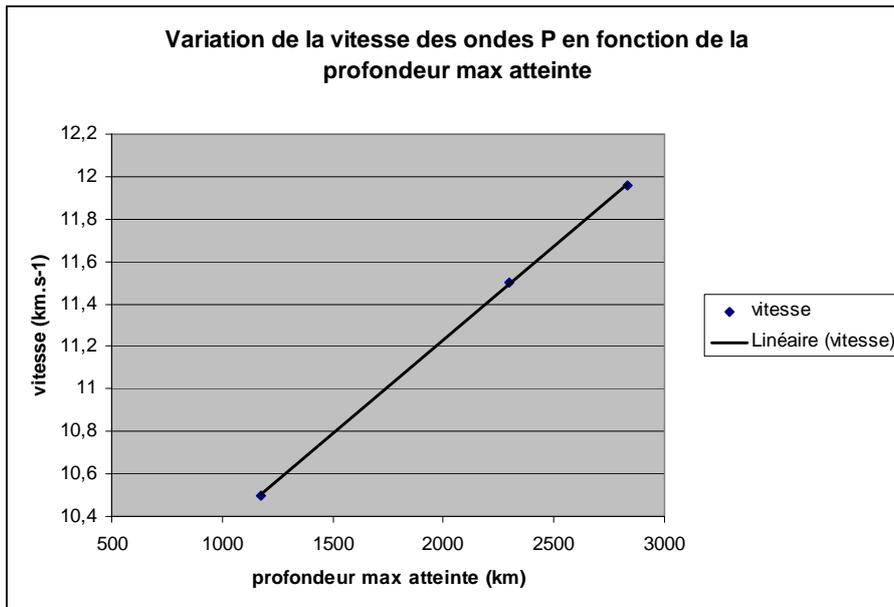


Mise en relation vitesse des ondes / profondeur maximale atteinte

Dans le module « infos rais », le logiciel fournit directement une estimation de la profondeur maximale atteinte par les ondes sismiques. On peut utiliser cette information pour mettre en relation la variation de vitesse des ondes sismiques avec la profondeur qu'elles atteignent :

station	distance épicentrale	profondeur max atteinte	vitesse
CIVF	ondes P	2836	11,96
	ondes S	2797	6,48
LFIT	ondes P	2297	11,5
	ondes S	2152	6,27
RSLF	ondes P	1176	10,5
	ondes S	1130	5,8

On peut représenter graphiquement la variation des vitesses des ondes P et S en fonction de la profondeur maximale atteinte :



Le schéma et les tableaux/graphiques nous permettent alors de constater que :

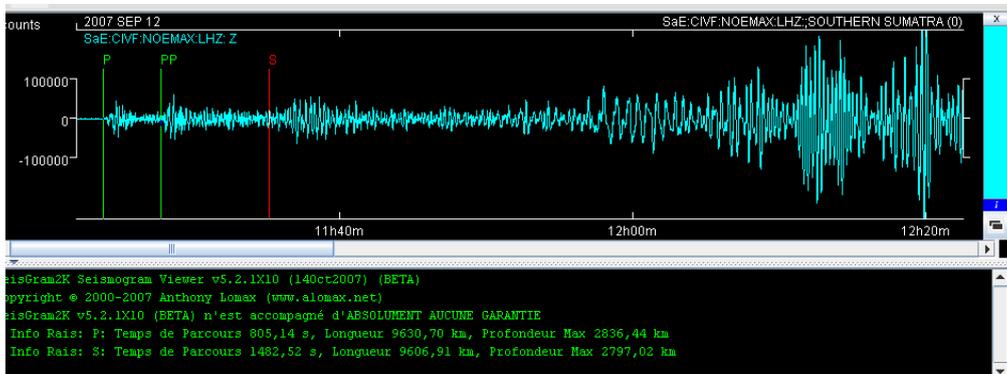
- plus les ondes vont loin, plus elles vont vite,
- plus elles s'enfoncent dans le manteau, plus elles vont vite aussi.

Enfin, il reste une question à résoudre : est-ce parce qu'elles vont loin ou parce qu'elles vont profond, que les ondes vont plus vite ?

Troisième étape : Utilisation des ondes réfléchies PP

Pour trancher, on peut constater que la station CIVF a aussi reçu des ondes « PP ». Ces ondes sont réfléchies une fois – à mi-parcours – à la surface de la Terre.

On peut alors afficher le pointé de ces ondes PP sur le sismogramme :



On calcule à quelle distance de l'épicentre les ondes qui arrivent au CIVF ont été réfléchies :

→ $96/2 = 48^\circ$

On représente ces ondes PP sur le schéma

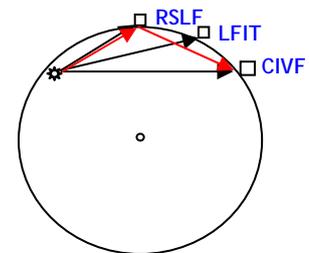
→ en rouge

On calcule la vitesse de ces ondes PP grâce aux « infos rais »

→ $V_{pp} = 10.4 \text{ km.s}^{-1}$

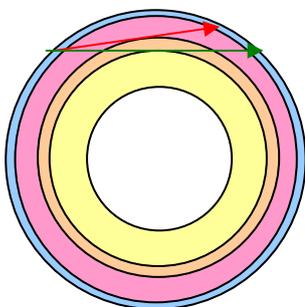
On compare cette valeur avec celle des ondes P qui arrivent directement à RSLF, située à 48° de l'épicentre :

→ c'est sensiblement la même (10.4 vs 10.5 km.s^{-1})



→ On constate donc que la vitesse moyenne des ondes P dépend, non pas de la distance qu'elles vont parcourir au total, mais bien de la profondeur maximale qu'elles atteignent.

Remarque : On a montré ici que la vitesse moyenne des ondes dans l'ensemble croûte-manteau augmentait en fonction de la profondeur atteinte dans le manteau. On ne montre donc pas rigoureusement que la vitesse des ondes sismiques augmente avec la profondeur dans le manteau, sauf si on admet que la vitesse moyenne est une moyenne de vitesses considérées comme constantes sur des portions de Terre données, pondérées de la longueur du trajet passé au sein de chaque enveloppe.



Sur ce schéma, modèle théorique, on admet que la croûte est en **bleu**, que le manteau est séparé en trois enveloppes d'épaisseurs différentes (**rose**, **orange**, **jaune**) et que les vitesses sont constantes au sein d'une enveloppe, avec $V_{\text{croûte}} < V_{\text{mant-rose}} < V_{\text{mant-orange}} < V_{\text{mant-jaune}}$.

L'onde rouge aura une vitesse moyenne inférieure à l'onde verte car :

$$V_{\text{moyenne onde ROUGE}} = \frac{V_{\text{croûte}} \times L_{\text{longueur du trajet dans la croûte}} + V_{\text{mant-rose}} \times L_{\text{longueur du trajet dans le mant-rose}}}{L_{\text{longueur totale du trajet}}}$$

$$V_{\text{moyenne onde VERTE}} = \frac{V_{\text{croûte}} \times L_{\text{longueur du trajet dans la croûte}} + V_{\text{mant-rose}} \times L_{\text{longueur du trajet dans le mant-rose}} + V_{\text{mant-jaune}} \times L_{\text{longueur du trajet dans le mant-jaune}}}{L_{\text{longueur totale du trajet}}}$$

et car on peut, en première approximation, négliger la différence de proportion du trajet passé dans la croûte et dans le manteau rose entre les deux cas.

Prolongement 1 – Quatrième étape : lien avec une expérience analogique

Pour expliquer ça, on peut faire le lien avec une expérience analogique :

- Calcul de densité de différents matériaux : bois, fer, grès, granite
- Calcul de vitesse de propagation d'ondes dans ces matériaux : cf. activité « caractéristiques des ondes » en ligne sur <http://www.edusismo.org> dans les « pistes pédagogiques ».

→ On montre alors que, de manière générale, la vitesse des ondes augmente en fonction de la densité des matériaux qu'elles traversent.

→ On finit donc par conclure que, plus on s'enfonce dans le manteau, plus les roches rencontrées sont denses.

Prolongement 2 – Cinquième étape : confrontation données / modèle et trajectoire des ondes

Dès le début de l'activité, on a commencé à représenter, sur une coupe de Terre à l'échelle, la position de l'épicentre du séisme et des stations d'enregistrements considérées (à cette occasion, on a revu la signification des distances indiquées en degrés). Ceci permet de tracer les trajectoires des ondes sismiques dans un premier temps en les approximant à des segments de droites.

On peut alors estimer, sur ce schéma à l'échelle, la profondeur maximale atteinte par les ondes sismiques (selon notre approximation).

Les données de profondeur maximale atteinte fournies ensuite par le logiciel Seisgram 2k (qui sont elles-mêmes issues d'un modèle) peuvent être comparées aux profondeurs estimées à l'aide du schéma.

→ On montre alors que les ondes vont systématiquement plus profond que si elles suivaient une trajectoire rectiligne.

Notre approximation doit donc être revue.

→ On introduit alors la trajectoire courbe des ondes sismiques dans le manteau et éventuellement on recherche la cause de cette courbe, en lien avec les résultats de l'activité (analogie avec la réfraction à l'interface de milieux d'indices différents).