

Confrontation des données d'un télé-séisme avec le modèle de la Terre

Niveau	Lycée - Première S / BCPST 1
Thème	Données et structure de la Terre
Objectif (s)	Echographie sismique du globe : confrontation données et modèle de la Terre. Comparaison des tracés enregistrés dans trois stations situées à des distances assez différentes de la source sismique. Mise en évidence de certaines discontinuités des zones profondes du globe (zone d'ombre).
Déroulement	On choisit un séisme de forte magnitude qui pourra être donc enregistré sur des stations assez lointaines les unes des autres. On va comparer les signaux reçus sur chaque station, constater la réception ou non d'ondes directes, d'ondes réfléchies, d'ondes réfractées d'où la notion de zone d'ombre. On s'intéresse aussi aux rais sismiques ayant traversé les zones profondes du noyau (distance et temps de parcours) avant d'atteindre les stations très lointaines.

Entrons dans le détail de l'activité ...

Le séisme choisi est localisé en Nouvelle Zélande

Références : 30.09.2007 – To = 05h23min19s - magnitude = 7,4

Comparaison des tracés de trois stations situées à des distances assez différentes vis-à-vis de la source sismique :

- une station en métropole comme CIVF (Valbonne – PACA 06),
- une station aux Antilles comme MLTF (La Trinité – Martinique 972)
- et une station dans l'océan indien RSLF (St Leu – La Réunion 973).

>> Première phase :

Récupération des tracés depuis la base de données en ligne (à l'aide du moteur de recherche).

www.edusismo.org > rubrique événements sismiques sélectionnés > téléchargement des fichiers

Affichage des tracés (les composantes Z des trois stations suffisent) et mise en forme des sismogrammes sur SeisGram2K pour comparer les tracés ...soit synchroniser les échelles de temps et harmoniser les échelles d'amplitude.



Premier résultat : on devine que la station de La Réunion (RSLF) est la plus proche de la source sismique et la station de métropole (CIVF) la plus éloignée.

Mais les tracés ne se ressemblent pas beaucoup, demandent une étude plus approfondie et surtout une assistance dans l'identification des ondes parvenues aux stations.

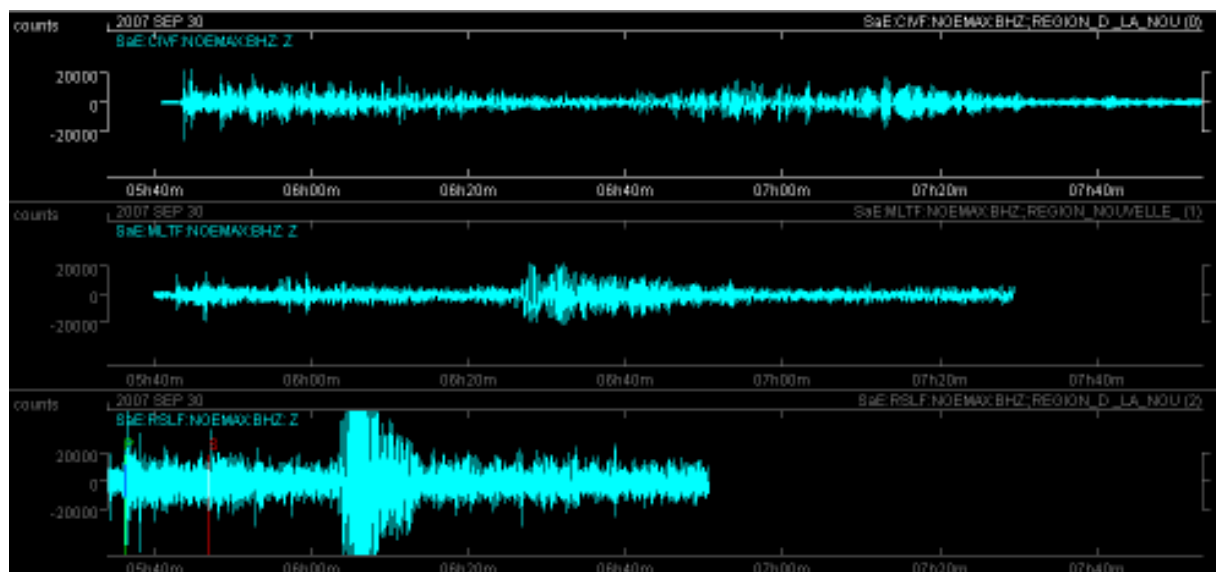
>> Deuxième phase :

Faire apparaître les phases P et S (ondes directes s'étant propagées dans le manteau sans rencontrer de discontinuités majeures).

On utilise pour cela le module 'afficher les temps théoriques des principales phases'. On sélectionne les ondes P, S (voir annexe pour le trajet de ces ondes).



Résultat : comme le montre l'écran ci-dessous, seul le tracé de la Réunion (RSLF) présente des pointés d'ondes directes (P, S).



En comparant les distances séparant les stations à la source sismique (affichage >> voir sismogramme info), on approche la notion de zone d'ombre :



RSLF	D = 88 °	P, S directes présentes
MLTF	D = 132 °	P, S directes absentes
CIVF	D = 164 °	P, S directes absentes

L'absence d'ondes directes sur CIVF et MLTF doit correspondre à la présence du noyau empêchant la propagation directe des ondes de la source vers la station.

Pourtant les tracés montrent bien l'arrivée d'autres trains d'ondes, non identifiés pour l'instant.

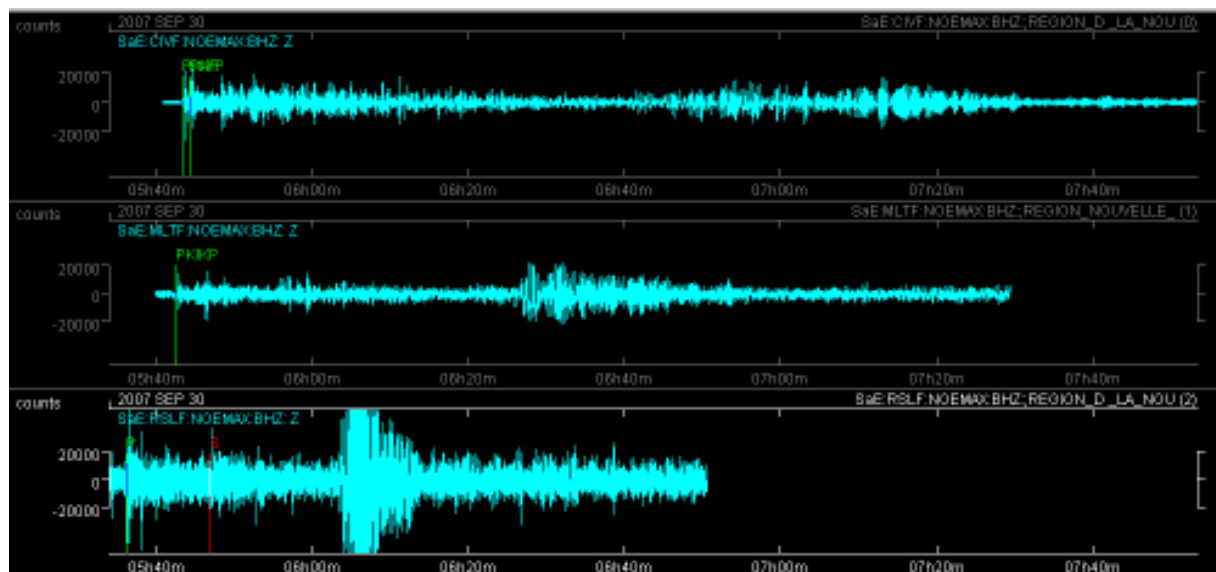
>> Troisième phase :

On peut alors s'interroger sur la nature des autres ondes reçues sur les stations notamment à CIVF et MLTF, visibles sur les tracés.

Le modèle de pointés des phases théoriques apporte des informations sur les trains d'ondes non encore identifiés. On peut penser que ces trains d'ondes recherchés correspondent aux ondes ayant traversé le noyau, habituellement dénommées PKP (onde P traversant le noyau externe), PKIKP (onde P traversant le noyau interne).



On sélectionnera les pointés pour les ondes PKP et PKIKP, d'où l'écran ci-dessous :



L'agrandissement de certains tracés s'impose !

Résultat : on constate une distinction entre MLTF ($D=135^\circ$) et CIVF ($D=164^\circ$)

Absence de PKP sur MLTF (ce qui définit la zone d'ombre) mais on retrouve des PKP sur CIVF (située au-delà de la zone d'ombre). Une confrontation avec le modèle de 'Terre moyenne' conforte l'analyse des données. Sur les deux stations, les premières ondes à parvenir sont les PKIKP. Aucune de ces ondes (PKP et PKIKP) n'apparaît sur RSLF.

D'autres trains d'ondes peuvent être mis en évidence (comme les ondes réfléchies PP, SS, PcP, PKiKP) mais cela l'exercice plus complexe.

Prolongement éventuel :

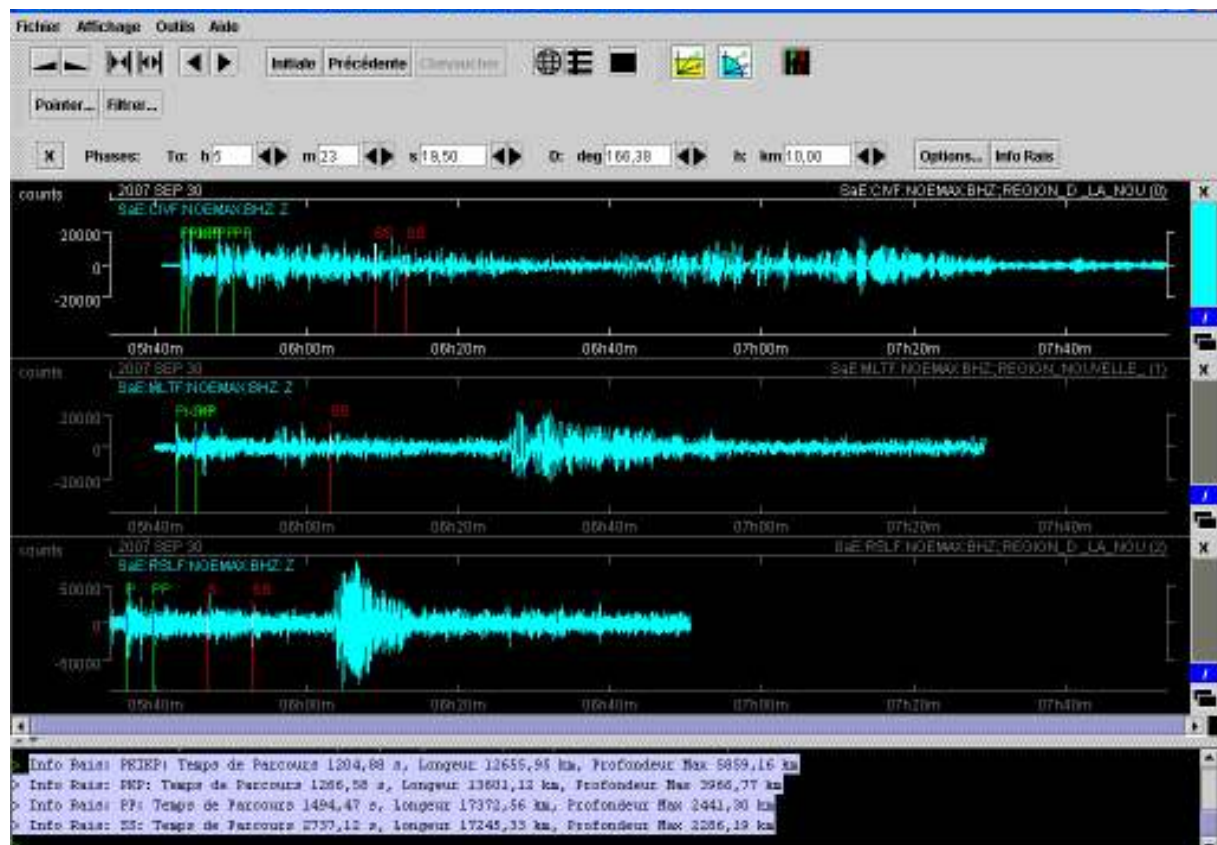
Toutes les ondes étudiées sur une station ont des temps d'arrivée bien différents. Ces temps d'arrivée peuvent ils être expliqués par le parcours effectué par les ondes. En utilisant sur une station les ondes PP, SS, PKP, PKIKP, on peut comparer les vitesses des ondes en fonction des zones traversées.

exemple :

Le module 'infos rais' permet d'évaluer la distance réelle parcourue par chaque rai affiché ainsi que le temps de parcours. On peut estimer donc la vitesse des ondes selon leur nature (onde P, onde S) et les milieux traversés (manteau, noyau externe, noyau interne) et en tirer des conclusions.

Evaluation des vitesses des différentes ondes P à CIVF (la station la plus distante) :

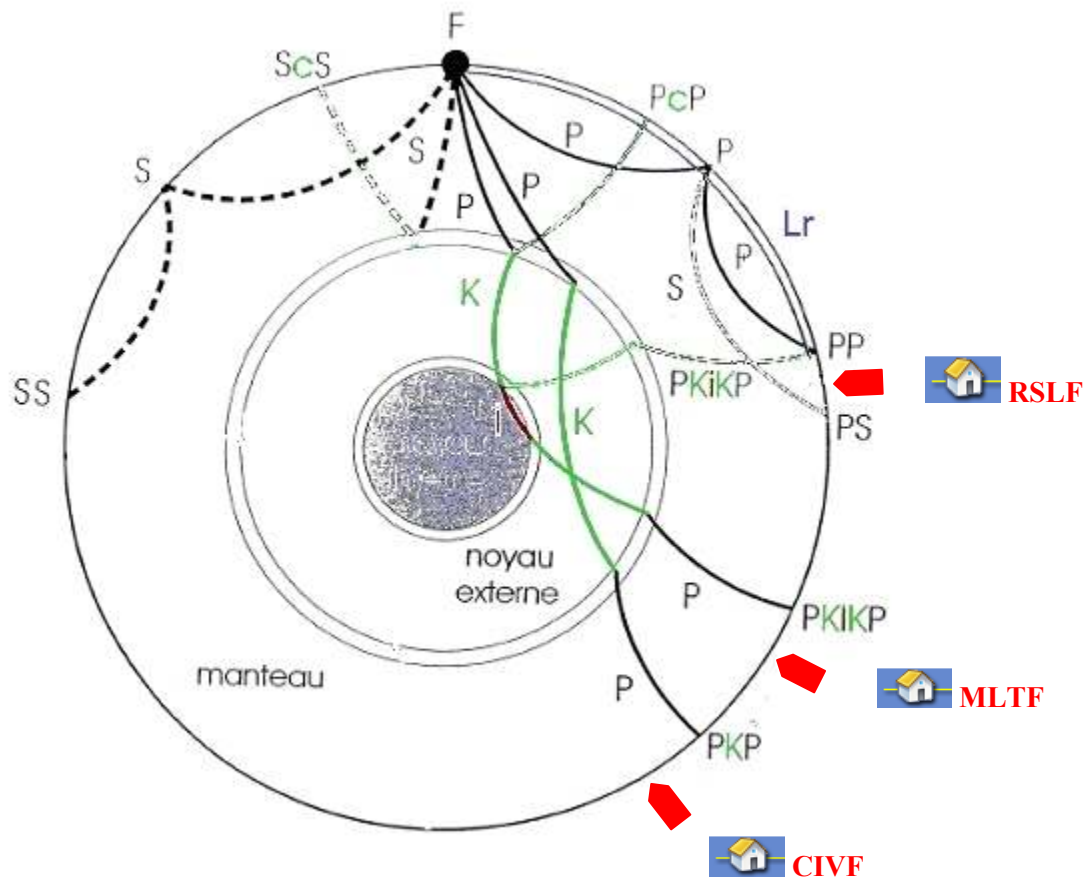
Après avoir fait apparaître les phases théoriques sur le sismogramme de la station à étudier (PP, SS, PKP, PKIKP), sélectionner le module 'infos rais'. Dans la fenêtre des messages s'affiche toute une série de données permettant d'évaluer la vitesse des différentes phases.



Info Rais (pour CIVF) :

PKIKP: Temps de Parcours 1204,88 s, Longueur 12655,95 km, Profondeur Max 5859,16 km > soit $V = 10,5$ km/s
PKP: Temps de Parcours 1266,58 s, Longueur 13601,12 km, Profondeur Max 3966,77 km > soit $V = 10,7$ km/s
PP: Temps de Parcours 1494,47 s, Longueur 17372,56 km, Profondeur Max 2441,30 km > soit $V = 11,6$ km/s
SS: Temps de Parcours 2737,12 s, Longueur 17245,33 km, Profondeur Max 2286,19 km > soit $V = 6,3$ km/s

ANNEXE : Sismologie et structure du globe terrestre



Modèle de Terre **PREM** (Preliminary Reference Earth Model, Dziewonski & Anderson 1981)

Les ondes de volume (P et S) traversent l'intérieur du globe terrestre et les caractéristiques de cette propagation permettent de connaître les propriétés physiques des milieux traversés. De même que la propagation des rayons X permet d'ausculter l'intérieur du corps humain.

En sismologie, l'émetteur est le tremblement de terre, le récepteur est un sismomètre qui enregistre les vibrations du sol. Sur les enregistrements, on peut alors distinguer divers types d'ondes d'après leur forme, leur fréquence.

Quand on dispose de plusieurs stations (réseau sismologique), un même séisme peut être enregistré en divers points du globe. Ainsi, il devient possible de repérer sur chaque sismogramme l'heure d'arrivée des divers types d'ondes et d'en déduire le trajet parcouru et la vitesse à laquelle sont allées les ondes sismiques d'un point à l'autre.

La vitesse de propagation des ondes augmente avec la profondeur, de ce fait leur trajet est courbe. La présence d'un noyau au centre du globe génère des parcours complexes des rais sismiques. Ainsi, il existe une région du globe où les enregistrements sont nuls ou faibles dite zone d'ombre. Elle se situe entre 105° et 142° de distance angulaire de l'épicentre. Si il y a une zone d'ombre c'est que le rai qui arrive à 105° est tangent à la discontinuité noyau/manteau (discontinuité de Gutenberg) ; le rai immédiatement plus profond se réfracte deux fois (entrée et sortie du noyau) et émerge à 183° . A partir de là, les rais suivants émergent à une distance angulaire de moins en moins grande jusqu'à 142° . D'où une absence de phase PKP entre 105° et 142° (zone d'ombre).

Cependant, il existe tout de même des ondes qui arrivent dans la zone d'ombre, elles sont faibles, elles résultent d'une réflexion ou d'une traversée des ondes sur ou dans le noyau interne. En fonction de leur parcours on parle d'onde PKiKP, suite à une réflexion sur la discontinuité noyau externe/noyau interne (discontinuité de Lehman) ou d'onde PKIKP pour une onde ayant traversé le noyau interne et subit les réfractions associées à ce type de parcours. On note enfin des ondes PP, SS résultant d'ondes ayant traversé exclusivement le manteau et s'étant réfléchies à la surface du globe avant d'atteindre la station sismologique.