

L'objectif de cet exercice est de comprendre comment on peut localiser l'épicentre d'un séisme.

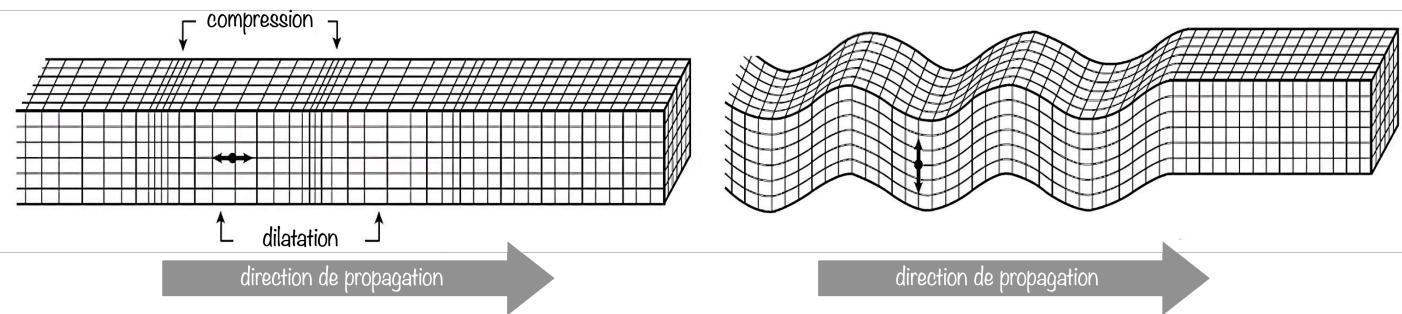
Pour répondre à cette question, il faut d'abord s'intéresser aux ondes de différentes natures responsables des secousses sismiques.

Nature des ondes sismiques

Doc. 1 : deux types d'onde

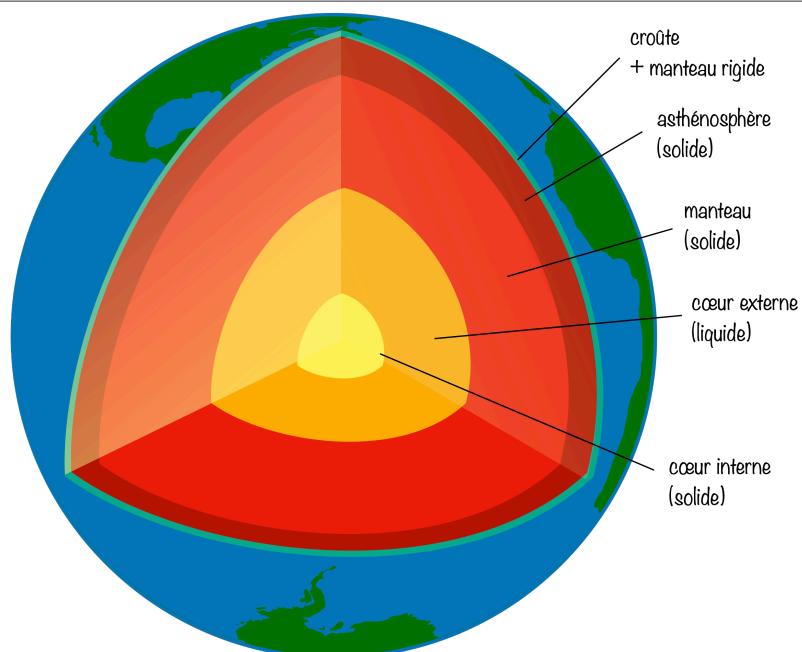
Ondes P

Ondes S



- Les **ondes P** sont aussi appelées ondes longitudinales. La vibration du sol se fait par des dilatations et des compressions successives. Ces perturbations se déplacent parallèlement à la direction de propagation de l'onde. Les ondes P se propagent dans les milieux solides ainsi que dans les liquides.
- Les **ondes S** sont aussi appelées ondes transversales. À leur passage, les perturbations du sol s'effectuent perpendiculairement au sens de propagation de l'onde. Les ondes S ne se propagent que dans les milieux solides.

Doc. 2 : structure de la Terre



1. Les ondes P et S sont qualifiées d'ondes de type mécanique. Justifier cette affirmation.
2. Indiquer quel est le type d'onde (P ou S) qui traverse le noyau terrestre. Justifier.

Détection des séismes

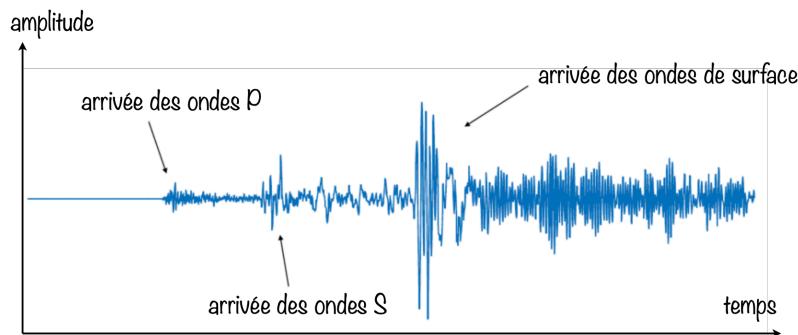
Lorsqu'un séisme se produit, les ondes sismiques ne sont pas forcément détectées par l'être humain, mais elles peuvent être suivies par les nombreux sismographes situés sur la Terre dans des stations de surveillance sismique.

Un sismographe traditionnel est constitué d'un bâti fixe et d'un pendule qui réagit aux secousses.

Le dispositif permet de transcrire les secousses enregistrées sous forme d'une courbe tracée si le mécanisme est mécanique, ou sous forme de données informatiques pour les sismographes numériques modernes.

Ces sismographes permettent d'obtenir des sismogrammes comme celui du document 3.

Doc. 3 : exemple de sismogramme



3. Quelles sont les ondes les plus rapides ?

Localisation de l'épicentre

Un séisme se produit généralement à l'intérieur du globe terrestre. L'épicentre du séisme est le lieu de la surface, le plus proche de la source du séisme. C'est le premier endroit de la surface à recevoir les ondes sismiques.

Un séisme dont l'épicentre se situe en Équateur, pays d'Amérique du Sud, s'est produit le 22 février 2019. L'enregistrement du sismographe de la station de surveillance LFCV située au Venezuela, un autre pays d'Amérique du Sud, a permis de mesurer les heures d'arrivée des ondes P et S.

On fera les hypothèses suivantes pour modéliser simplement la situation :

- hypothèse 1 : les ondes P et S se propagent quasiment à la surface de la Terre;
- hypothèse 2 : le rayon de courbure de la Terre est négligeable;
- hypothèse 3 : les ondes se déplacent avec des célérités de valeurs constantes.

Données :

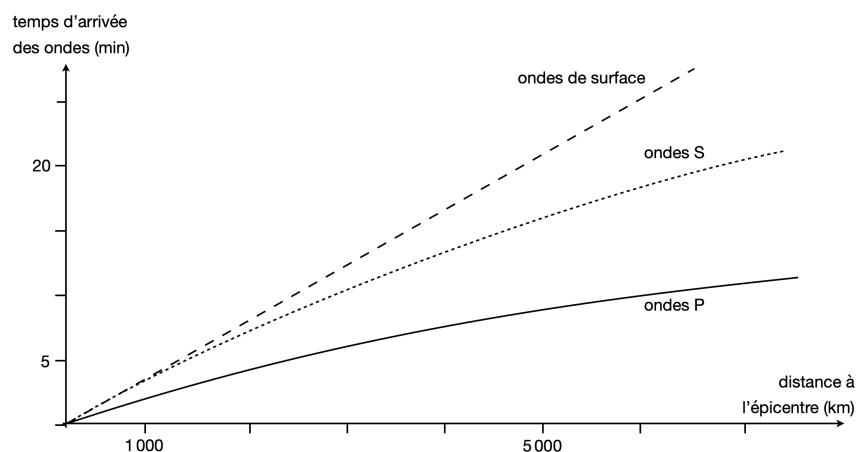
Type d'onde	Heure d'arrivée à la station LFCV	Célérité moyenne des ondes	Distance parcourue depuis l'épicentre
ondes P	$H_P = 10 \text{ h } 21 \text{ min } 01 \text{ s}$	$c_P = 8,7 \text{ km.s}^{-1}$	d
ondes S	$H_S = 10 \text{ h } 24 \text{ min } 03 \text{ s}$	$c_S = 4,7 \text{ km.s}^{-1}$	d

- On note d la distance entre l'épicentre du séisme et la station LFCV. En notant t_S et t_P respectivement les durées de propagation de l'onde S et de l'onde P entre l'épicentre et la station LFCV, exprimer $t_S - t_P$ en fonction de d , c_S et c_P .
- Exprimer la distance d et donner sa valeur.

En réalité, les calculs de localisation d'épicentre prennent en compte le fait que les célérités des ondes P et S ne sont pas constantes.

On réalise pour cela une hodochrone (voir ci-dessous) à partir des enregistrements obtenus par plusieurs sismographes situés en divers endroits du globe. Elle représente l'évolution du temps de propagation des ondes sismiques P et S en fonction de la distance à l'épicentre.

Doc. 4 : hodochrone



- D'après l'hodochrone, que peut-on dire de la célérité des ondes de surface. Déterminer cette célérité.
- En exploitant l'hodochrone, déterminer la distance L entre l'épicentre et une station de mesure dans le cas où l'onde S arrive avec 5 min de retard par rapport à l'onde P.

Station	durée $t_S - t_P$	distance L de la station à l'épicentre
LFCV (Vénézuela)	183 s	$1,93 \cdot 10^3$ km
HPAP (Haïti)	231 s	$2,39 \cdot 10^3$ km
GCAPE (Guadeloupe)	247 s	$2,78 \cdot 10^3$ km

On considère que, pour chaque station, l'épicentre se trouve sur un cercle de rayon L . Pour déterminer graphiquement la position de l'épicentre, on a utilisé un programme informatique en langage Python. Ce programme permet de créer un fond de carte, de positionner les trois stations LFCV, HPAP et GCAPE, de tracer des cercles dont les centres sont les stations.

Doc. 5 : programme Python

```
 1 # Ce programme en Langage Python permet de positionner L'épicentre d'un séisme à partir de stations de sismographie.
 2
 3 # Importe la bibliothèque folium qui contient les éléments de carte
 4 import folium
 5
 6 # Crée une carte que l'on nomme CarteEpicentre
 7 # Cette carte est centrée sur la latitude et la longitude indiquées dans
 8 # location = [,] et zoom_start donne La valeur du zoom utilisée pour la carte
 9 CarteEpicentre = folium.Map(location=[10,-60], zoom_start=5)
10
11 # Crée des tableaux de valeurs avec la latitude, la longitude, le nom, et la distance à l'épicentre
12 # pour chaque station de sismographie
13 lat = [10.491, 18.54, 16.2786]
14 long = [-66.832, -72.32, -61.504]
15 nom_station = ['LFCV', 'HPAP', 'GCAPE']
16 distance_epicentre = [1.93, 2.39]
17
18 # Crée 3 icônes (3 marqueurs) sur la carte, avec nom et position des stations
19 for i in range(3):
20     folium.Marker([lat[i],long[i]], popup = folium.Popup(nom_station[i]), icon=folium.Icon(icon='flag')).add_to(CarteEpicentre)
21
22 # Crée 2 cercles de rayon L autour des stations LFCV et HPAP
23 # Le rayon doit être exprimé en m
24 for i in range (2):
25     folium.Circle([lat[i],long[i]],radius = distance_epicentre[i]*1E6, color='red').add_to(CarteEpicentre)
26
27 # Enfin on crée un fichier dans un format lisible par l'utilisateur
28 CarteEpicentre.save('CarteFinale.html')
```

8. Exécuter le programme et expliquer pourquoi la carte produite ne permet pas encore de positionner précisément l'épicentre du séisme.
9. Indiquer l'information chiffrée manquante dans ce programme informatique pour tracer le cercle autour de la station GCAPE. Préciser le numéro de la ligne à corriger et réécrire cette ligne entièrement sur votre copie. Puis modifier le programme.
10. À la ligne 24, proposer une modification du programme permettant de faire apparaître le cercle autour de GCAPE.
11. Où se trouve finalement l'épicentre du séisme. Justifier.