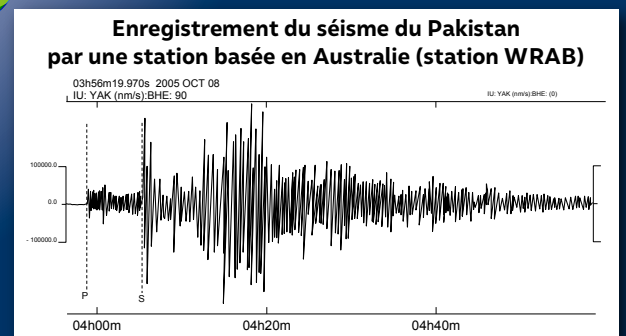
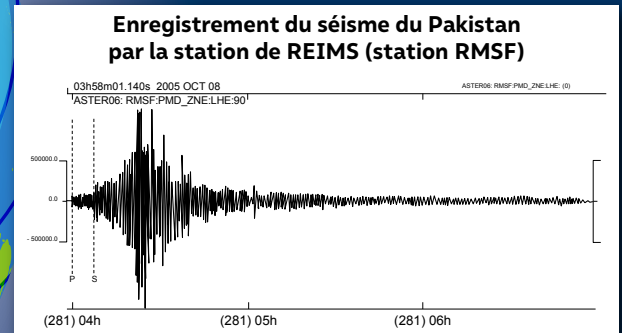
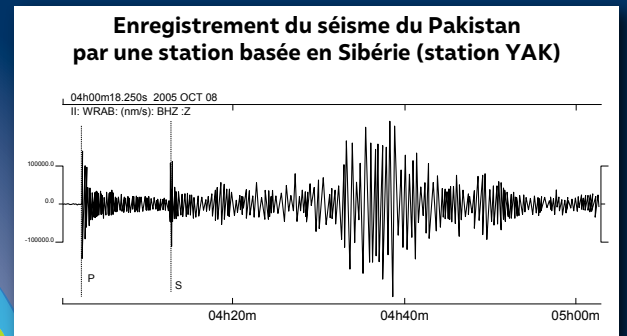
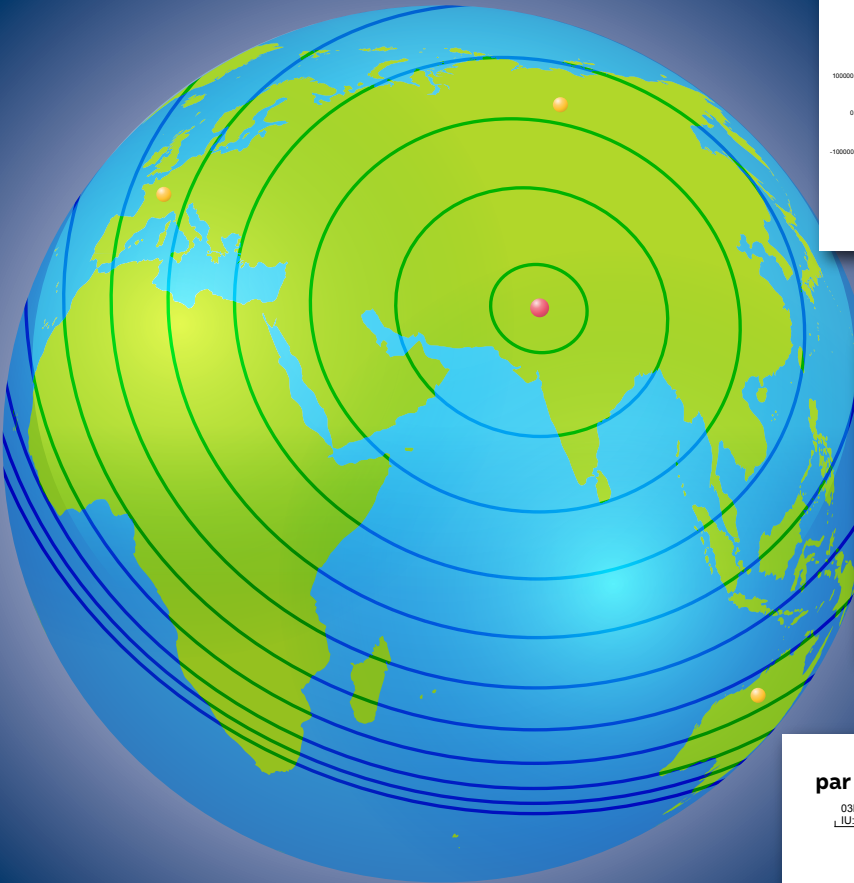


2

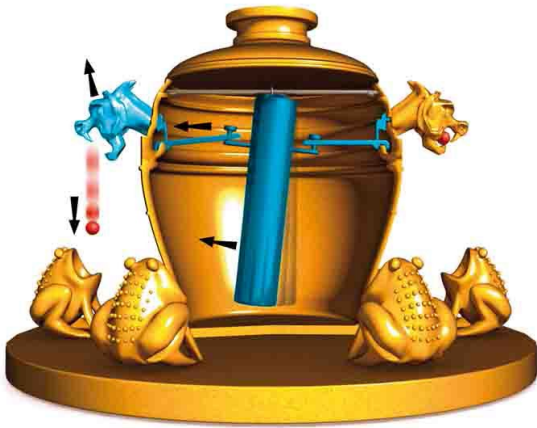
PROJET : Les ondes sismiques, sonder l'invisible

Un séisme correspond à la fracturation de roches en profondeur suite à l'accumulation de tensions. Cela entraîne la propagation d'ondes sismiques que l'on peut enregistrer à la surface de la Terre ou d'une planète.



- a. Lors d'un séisme les ondes se propagent dans toutes les directions. Certaines traversent le globe tandis que d'autres se propagent en surface.

► **Quelles sont les caractéristiques des ondes enregistrées par les stations sismiques?** → activités 1 et 5



b. Le Houfeng Didong Yi, premier sismographe au monde, permet de détecter l'existence d'un séisme ainsi que sa direction avec une précision remarquable, mais pas l'intensité ni la distance du séisme.

► **Comment peut-on actuellement mesurer les ondes sismiques en temps réel?**

→ activité 3



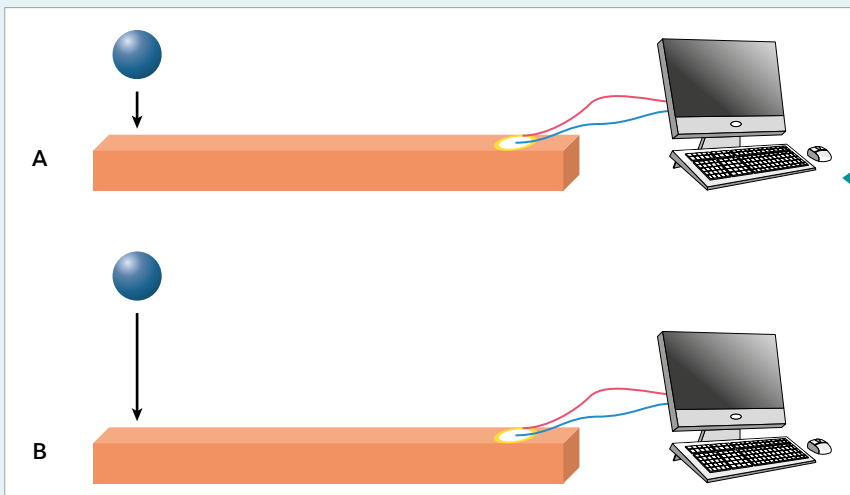
TEASER



c. Le sismomètre SEIS a été déployé sur le sol martien.

► **Quels capteurs peuvent être adaptés à la détection d'un séisme?**

→ activité 2 et 3



d. On peut modéliser la propagation d'ondes sismiques en laboratoire.

► **Quelles propriétés des ondes sismiques peut-on mettre en évidence expérimentalement?**

→ activité 4

La recherche d'une problématique en relation avec les séismes

TÂCHE COMPLEXE

Tous les jours, plusieurs séismes ont lieu dans le monde. Ils peuvent être enregistrés par des stations sismiques, très nombreuses à la surface de la Terre.

MISSION

Vous allez travailler en groupe durant plusieurs semaines sur un projet expérimental et numérique en lien avec les séismes. Plusieurs sortes de travaux sont possibles. Commencez par définir votre problématique.

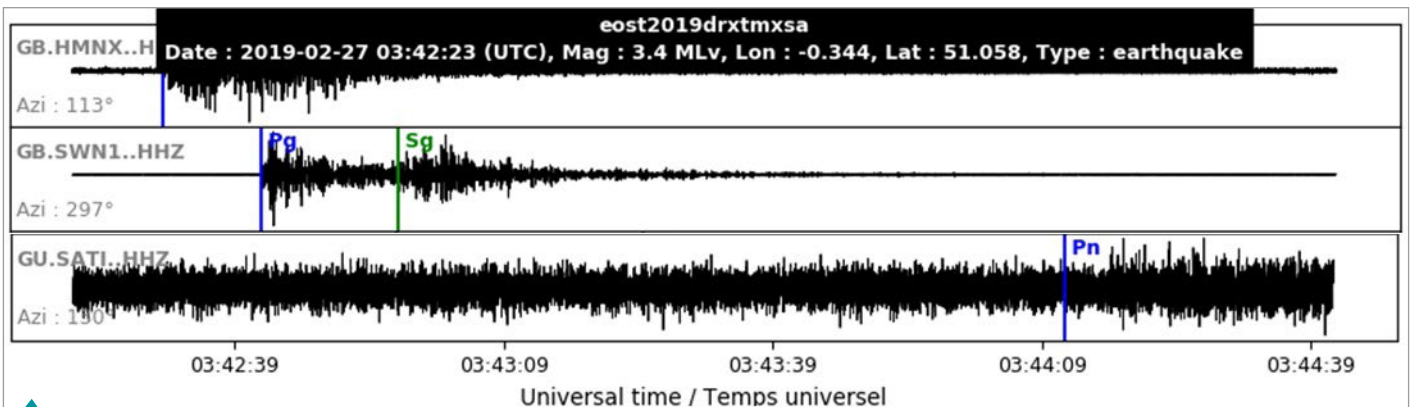
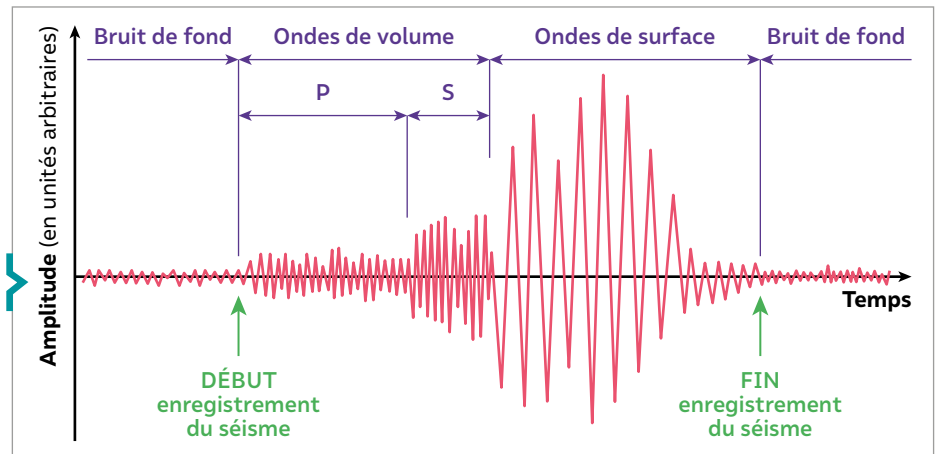
1 Enregistrer un séisme

- L'observation d'un séisme se fait à l'aide des ondes qu'il produit. Les ondes sismiques générées par les séismes sont complexes : elles ne se propagent pas toutes à la même vitesse, dont l'ordre de grandeur est de plusieurs $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$, et leurs amplitudes diminuent rapidement au cours de la propagation.
- La plage de fréquence de ces ondes sismiques va de quelques millihertz pour les séismes lointains à quelques hertz pour les séismes proches. Ce sont les ondes de très basses fréquences qui se propagent le plus loin.

- La détection de ces ondes par les stations sismiques est en général délicate car les amplitudes des mouvements du sol sont très faibles (de l'ordre du μm) pour des séismes fréquents.
- Cette détection nécessite donc un sismomètre qui est un appareil très sensible et en général complexe.

Il est néanmoins possible de fabriquer un sismomètre au lycée et d'utiliser un ordinateur pour tenter d'enregistrer un séisme. La validation de la détection d'un séisme peut se faire en recherchant des informations sur des sites de réseau de stations sismiques.

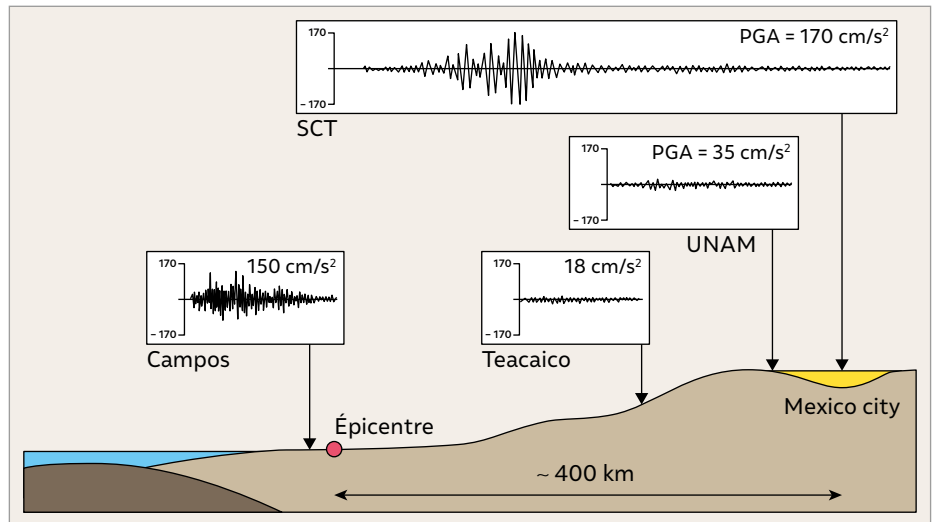
a. Structure générale des signaux enregistrés pour un séisme lointain



b. Enregistrements du séisme de Horsham au Royaume Uni, qui s'est produit le 27/02/2019 à 04h 42min 23s (heure française), par des stations gérées par le RéNaSS, Réseau National de Surveillance Sismique

2 Séismes et effets de site

- Le 19 septembre 1985, un important séisme a eu lieu à plusieurs centaines de kilomètres de Mexico, à la station de Teacalco située à environ 200 km de l'épicentre, les secousses enregistrées sont très faibles. En revanche à Mexico City, située à presque 400 km, les secousses sont très fortes et entraînent de nombreux dégâts et d'importantes pertes humaines.
- Cette amplification locale des ondes sismiques est qualifiée d'effet de site.

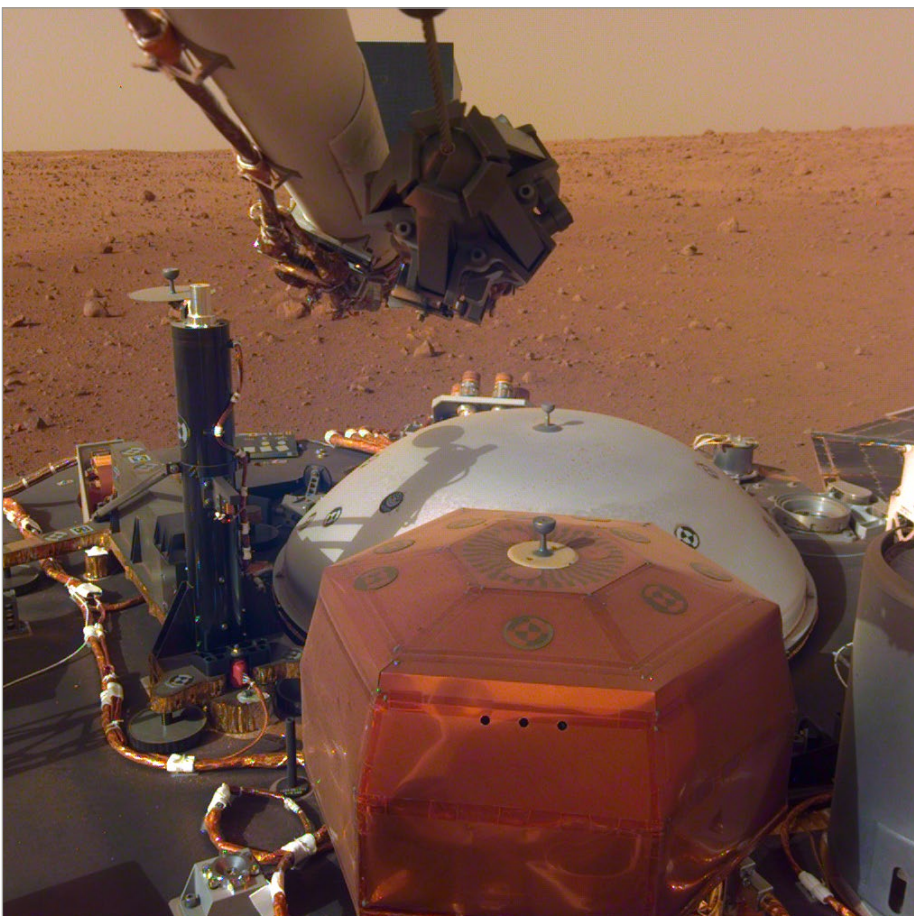


3 Un sismomètre sur le sol martien

- Le 19 décembre 2018, le sismomètre SEIS a été déposé sur le sol martien. Il a été conçu pour résister aux contraintes particulières de cet environnement.
- SEIS envoie les données enregistrées jusque sur la Terre, où elles sont traitées.
- L'exploitation de ces données va permettre de mieux comprendre la structure interne de la planète rouge.

COUPS DE POUCE

- ▶ Relever les interrogations soulevées par les différents documents.
- ▶ Noter toutes vos idées, d'abord individuellement, puis réaliser une mise en commun en groupe. Définir un projet autour de ces idées tout en restant dans la thématique des séismes. En complément d'informations, vous pouvez également explorer rapidement les pages suivantes de ce chapitre.
- ▶ Définir une problématique simple, concise et cohérente, c'est-à-dire une question qui définit le cadre du projet et qui appelle à un travail expérimental avec production et traitement numérique de données.
- ▶ La problématique sera validée si la réponse nécessite une recherche documentaire préalable et si elle implique un travail expérimental avec des initiatives personnelles : conception et/ou utilisation d'un capteur, acquisition numérique de données avec traitement mathématique informatisé puis validation des résultats obtenus.



Choisir un capteur adapté au projet

TÂCHE
COMPLEXE

L'étude des séismes comporte plusieurs domaines, comme l'enregistrement et l'exploitation des vibrations du sol à l'aide d'un réseau de stations ou encore les expériences en laboratoire permettant de modéliser les différents aspects de la propagation des ondes sismiques. Les capteurs utilisés dépendent du type de mesures que l'on souhaite réaliser et doivent être adaptés à celles-ci.

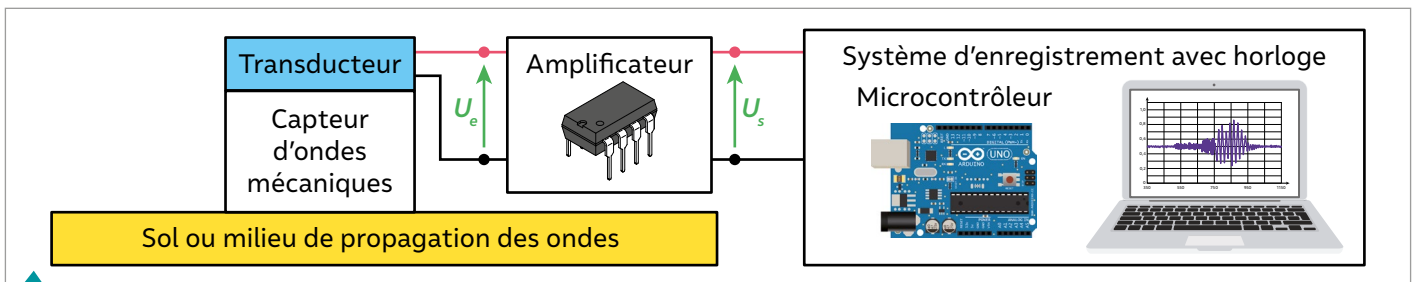
MISSION

- ▶ Vous devez choisir le type de capteur adapté à votre projet en étudiant les différentes possibilités décrites dans cette activité et en précisant quels types d'expériences vous souhaitez réaliser dans votre projet.

1 Description d'un système d'enregistrement

Un système d'enregistrement d'ondes mécaniques doit comporter différentes parties :

- Un **capteur d'ondes mécaniques**, qui permet de sélectionner des ondes mécaniques de basses (voire très basses) fréquences, ce qui est le cas des ondes sismiques.
- Un **transducteur** qui transforme les vibrations en signaux électriques.
- Un **système d'enregistrement** qui enregistre les signaux produits par l'amplificateur en fonction du temps donné par une horloge.
- Un **amplificateur** qui augmente l'amplitude du signal électrique issu du transducteur.

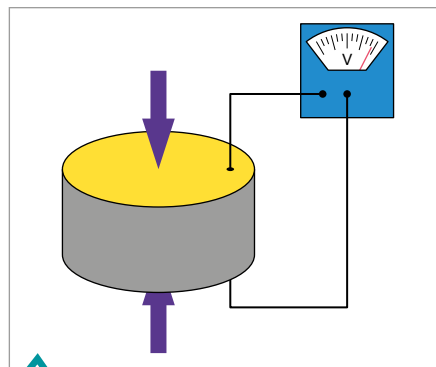


a. Schéma de principe d'un système d'enregistrement d'ondes mécaniques

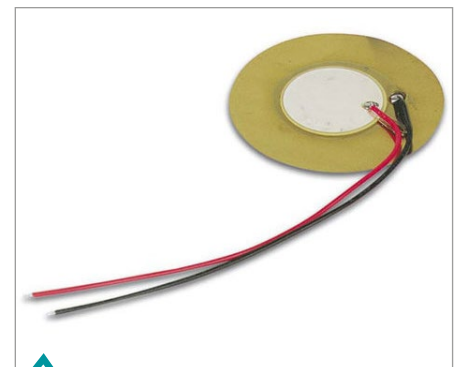
2 Utiliser des capteurs adaptés à des tests en laboratoire

- Dans certains cas, le capteur d'ondes mécaniques n'existe pas et le transducteur peut être mis directement en contact avec le matériau qui est traversé par des ondes mécaniques. C'est le cas pour un **capteur piézoélectrique** qui est simple à mettre en œuvre et bien adapté aux tests en laboratoire car utilisable dans une gamme de fréquences étendues, s'étendant par exemple de 0,3 Hz à 40 kHz.

- Ce type de capteur est bien adapté pour des expériences simples de propagation d'ondes mécaniques car il peut être directement relié sur l'entrée de la carte son d'un ordinateur (→ [fiche technique 6, Utiliser Audacity pour étudier la propagation d'une onde](#)).
- Un **capteur d'ondes mécaniques**, qui permet de sélectionner des ondes mécaniques, est un dispositif de très basses fréquences, ce qui est le cas des ondes sismiques.



b. Principe de la piézoélectricité

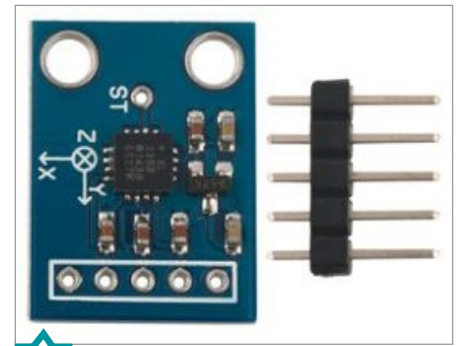


c. Un capteur piézoélectrique

- On peut également utiliser un **accéléromètre** qui est sensible aux accélérations, c'est-à-dire les variations de vitesses auxquelles il est soumis. On en trouve par exemple dans les smartphones.
- Un tel capteur peut être utilisé pour étudier la propagation des ondes mécaniques dans les matériaux. Il faut dans ce cas utiliser un

microcontrôleur pour récupérer les signaux sur les trois axes de détection X, Y et Z, comme le montre la photo ci-contre.

- Le temps de propagation des ondes mécaniques dans l'espace du laboratoire étant très court, la réalisation de tests en laboratoire peut s'effectuer sur un intervalle de temps de l'ordre de 1 h.



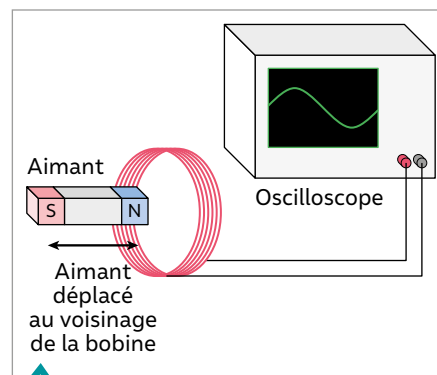
d. Accéléromètre 3 axes avec sorties analogiques

3 Utiliser des capteurs adaptés à l'enregistrement des ondes sismiques

- Comme vu à l'activité 1, les ondes sismiques qui se propagent le plus loin sont des ondes basses fréquences. Dans ce cas, les accéléromètres courants et les capteurs piézoélectriques se révèlent trop peu sensibles pour être utilisés.
- Il faut utiliser un capteur de type électromagnétique qui comportent en général un aimant et un bobine de fil électrique : lorsque l'aimant se déplace par rapport à la bobine, un champ magnétique variable dans le temps est créé autour de la bobine et une tension électrique apparaît aux bornes de celle-ci à cause du phénomène d'induction électromagnétique.

- L'amplitude de la tension électrique variable créée aux bornes de la bobine dépend des caractéristiques de la bobine (nombre de tours de fil et surface), de la valeur moyenne du champ magnétique et de la vitesse de déplacement de l'aimant par rapport à la bobine.

- On peut alors fabriquer un transducteur qui va transformer les mouvements du sol en une tension électrique de très faible amplitude qui nécessite alors une amplification (voir photo **f** ci-dessous → [fiche technique 2, Fabriquer un sismomètre de type Lehman](#) et → [fiche technique 4, Amplifier un signal](#)).
- On peut également utiliser un haut-parleur qui est un capteur d'ondes sonores : il faut alors découper la membrane du haut-parleur pour le rendre le moins sensible possible aux ondes sonores (→ [fiche technique 1, Fabriquer un sismomètre de type géophone](#)).



e. Principe d'un capteur électromagnétique

COUPS DE POUCE

- ▶ Expliquer l'intérêt d'utiliser un capteur d'ondes mécaniques pour enregistrer des ondes sismiques.
- ▶ Justifier que l'on peut enregistrer des ondes sonores avec un capteur piézoélectrique mais également des infrasons et des ultrasons.
- ▶ Expliquer pourquoi les capteurs piézoélectriques ou les accéléromètres s'utilisent généralement par paires pour des tests réalisés au laboratoire.
- ▶ Identifier le type de capteur adapté à votre projet : souhaitez-vous mener des expériences sur la durée d'une séance ou souhaitez-vous réaliser des mesures en continue sur du long terme? Évaluer la faisabilité des différentes options (temps de construction, disponibilité du matériel, coût, etc.)



f. Photo d'un capteur électromagnétique réalisé avec une bobine de 70 μ H et un aimant de type Géomag™

Comprendre les principes de la détection des ondes sismiques pour choisir un type de sismomètre

TÂCHE COMPLEXE

La détection d'un véritable séisme à grande distance nécessite un matériel spécifique en raison des caractéristiques particulières des ondes sismiques. Comprendre les principes physiques de la détection de ces ondes est essentiel pour choisir et utiliser correctement un type de sismomètre.

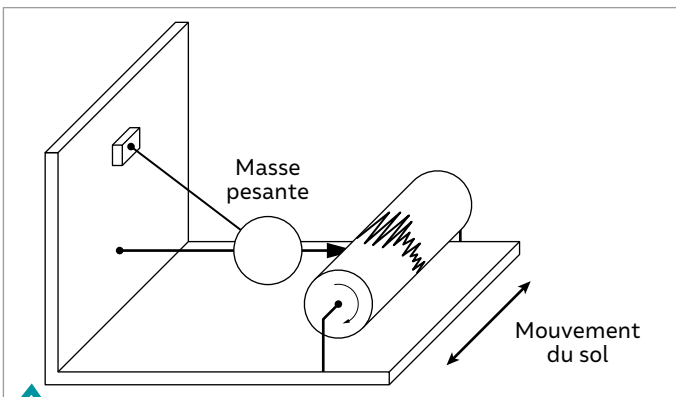
MISSION

- Comprendre le fonctionnement de deux grands types de détecteurs d'ondes sismiques et en choisir un dans le but de le construire et de l'utiliser pour détecter de véritables séismes.

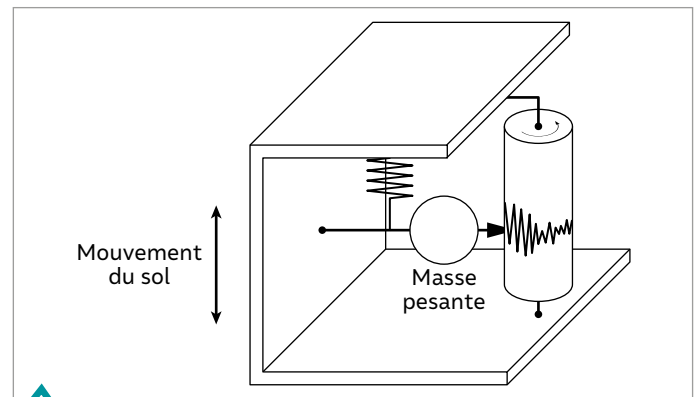
1 Principes physiques de la détection d'une onde sismique lointaine

- La détection d'ondes sismiques lointaines repose sur l'utilisation d'un système qui transforme les vibrations de la surface du sol, dues au passage des ondes sismiques, en un mouvement d'une masse par rapport

au sol : la masse, en raison de son inertie, ne bouge pas alors que le bâti de l'appareil suit les déplacements du sol. Historiquement, les premiers enregistrements réalisés étaient enregistrés directement sur du papier.



a. Sismographe horizontal



b. Sismographe vertical

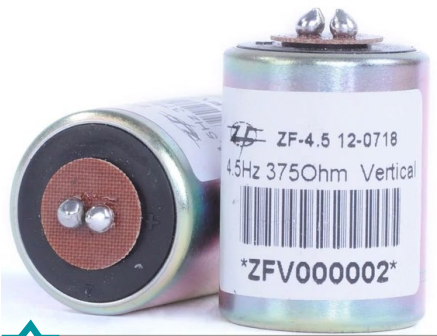
- Actuellement, les mouvements de la masse par rapport au sol sont d'abord transformés en une tension électrique analogique, variable dans le temps, qui est ensuite amplifiée, échantillonnée et numérisée avant d'être enregistrée sous forme de données numériques par un ordinateur.
- Les ondes sismiques lointaines sont caractérisées par des ondes mécaniques de basses, voire de très basses fréquences et des amplitudes généralement faibles. La détection de ces ondes peut être réalisée avec un oscillateur mécanique, défini par sa période propre, ce qui conduit à deux types de sismomètres :
 - des sismomètres « courte période », dont la période propre est centrée sur environ une seconde. Ces sismomètres sont très souvent du type vertical et détectent les mouvement verticaux du sol.
 - des sismomètres « longue période » ou « large bande », dont la période propre est centrée sur 20 ou 30 secondes, voire beaucoup plus sur les sismomètres les

plus performants, comme SEIS le sismomètre martien. Ces sismomètres horizontaux à rotation sont du type « longue période » et détectent les mouvements horizontaux du sol.

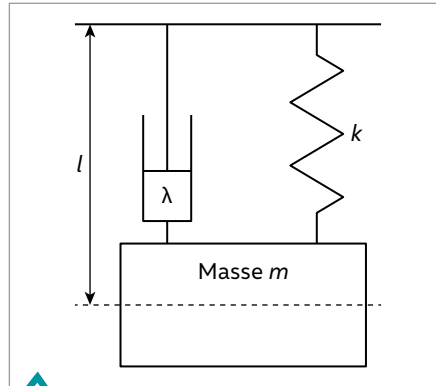
- Les mouvements lents de la masse du sismomètre par rapport au sol doivent ensuite être convertis en une tension électrique à l'aide d'un transducteur de type électromagnétique (→ [activité 2, Choisir un capteur adapté au projet](#)), les accéléromètres ou les capteurs piézoélectriques courants ne se révélant pas assez sensibles.
- La tension électrique est ensuite amplifiée à l'aide d'un amplificateur électronique, puis échantillonnée et numérisée par un microcontrôleur ou une interface d'acquisition de données reliée à un ordinateur. On peut aussi utiliser directement la carte son d'un ordinateur pour amplifier, échantillonner et numériser la tension électrique à condition que la fréquence des signaux ne soit pas trop basse et reste de l'ordre du hertz : c'est le cas pour les sismomètres « courte période ».

2 Un sismomètre courte période utilisant le principe du géophone

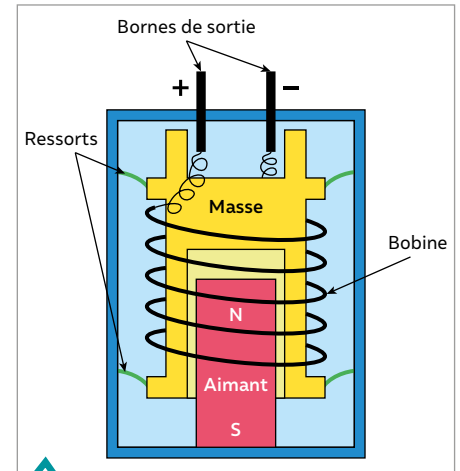
- Le géophone est un instrument qui est utilisé pour « écouter » les bruits provenant du sol. Il s'agit d'un oscillateur masse-ressort amorti de type vertical. Si l'amortissement caractérisé par le coefficient λ est négligeable, la période propre T_0 est donnée par l'expression : $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$, avec m la masse et k la raideur du ressort.



c. Géophone de fréquence propre 4,5 Hz



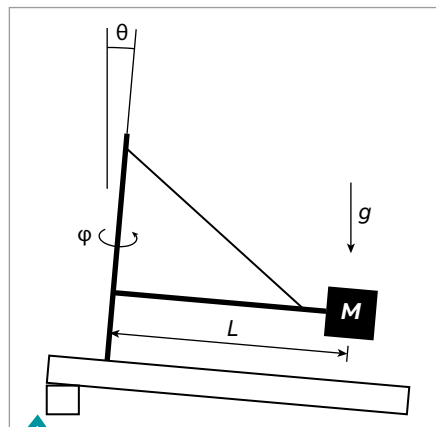
d. Schéma du géophone



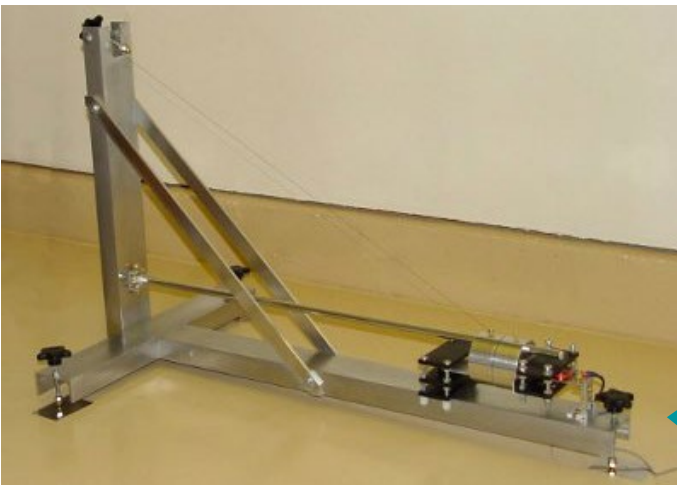
e. Schéma en coupe d'un géophone

3 Un sismomètre longue période de type Lehman

- Le sismomètre de Lehman a été décrit dans un article du Scientific American de juillet 1979. L'article décrit la construction d'un sismomètre à longue période dont le schéma et une photo sont présentés ci-dessous.
- Les oscillations se font quasiment dans le plan horizontal et la période propre T_0 des oscillations dépend de l'inclinaison θ de l'axe de rotation par rapport à la direction verticale. La période propre dépend aussi des caractéristiques de l'appareil dont la longueur du bras L et de la masse M . Pour un amortissement négligeable : $T_0 = \frac{\text{constante}}{\sin\theta}$.



f. Schéma de principe d'un sismomètre de type Lehman



g. Exemple de sismomètre de type Lehman

COUPS DE POUCE

- Justifier que la fréquence propre d'un sismomètre « longue période » soit de l'ordre de 0,1 Hz.
- Réaliser un schéma décrivant et expliquant la chaîne de transmission de l'information allant de l'onde sismique aux données enregistrées sur un ordinateur lors de la détection d'un séisme.
- Estimer la valeur de la masse m de l'oscillateur du géophone dont les dimensions extérieures sont de l'ordre de 5 cm et en déduire la valeur k de la constante de raideur du ressort.
- Montrer que la période propre T_0 d'un sismomètre de type Lehman tend vers l'infini lorsque l'angle d'inclinaison de l'axe de rotation par rapport à la direction verticale tend vers 0.
- Choisir un type de sismomètre adapté à votre projet : afin de pouvoir faire un choix raisonné consulter : → [fiche technique 1, Fabriquer un sismomètre de type géophone](#) et → [fiche technique 2, Fabriquer un sismomètre de type Lehman](#).

Expérimenter au laboratoire

TÂCHE
COMPLEXE

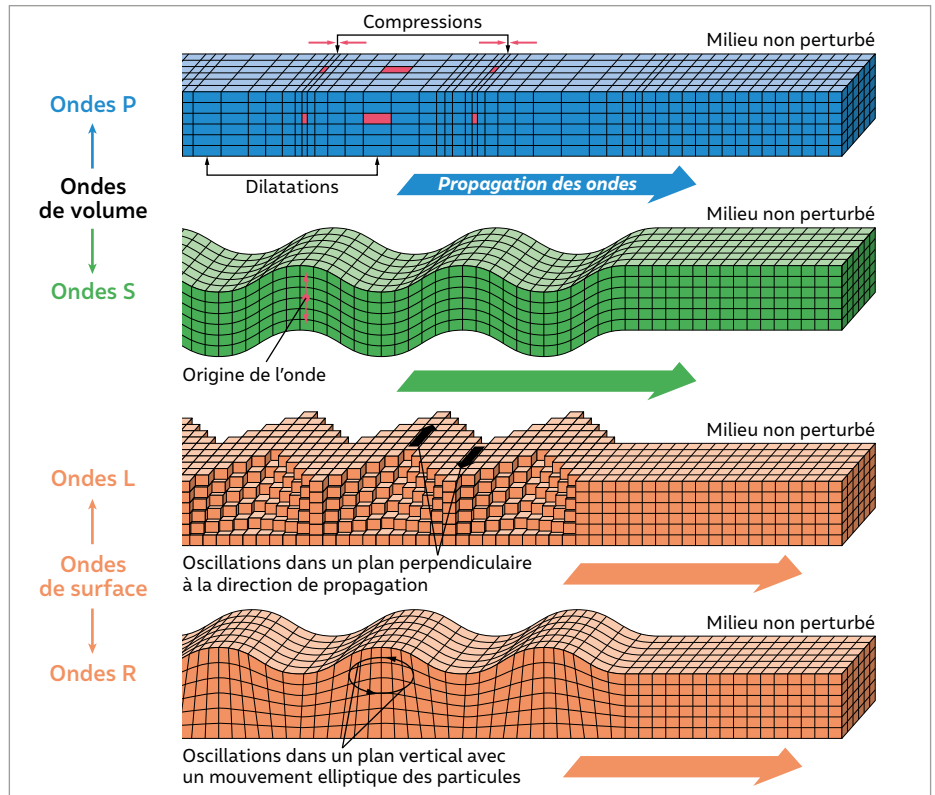
Les séismes sont des phénomènes complexes, qui comportent plusieurs types d'ondes. En laboratoire on peut modéliser la propagation de certaines de ces ondes mécaniques pour mieux comprendre leurs caractéristiques.

MISSION

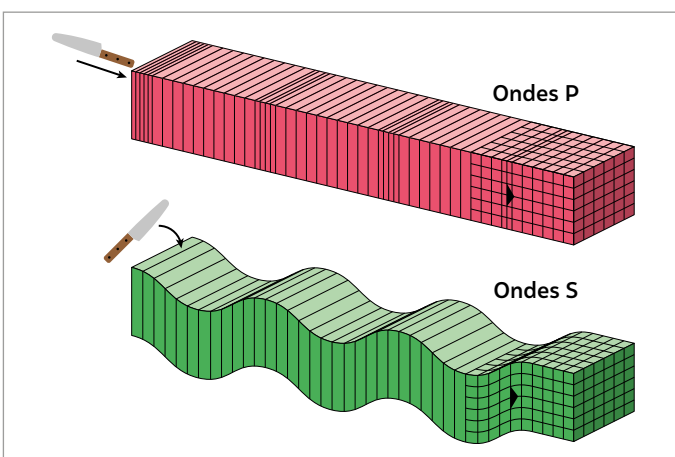
- Vous devez concevoir et mettre en œuvre des expériences permettant de déterminer certaines propriétés des ondes sismiques de volume.

1 Différents types d'ondes

- Les ondes sismiques sont des ondes mécaniques. Elles se propagent de proche en proche dans un milieu matériel.
- On distingue deux grands types d'ondes :
 - Les ondes de volume, qui se propagent à l'intérieur du globe terrestre. Ce sont les ondes P et S.
 - Les ondes de surface, qui se propagent uniquement à la surface de la Terre. Ce sont les ondes L et R.



2 Simuler la propagation des ondes de volume dans un solide



- La propagation des ondes sismiques à l'intérieur de la Terre est complexe et ne peut pas être reproduit à l'identique.
- On peut simuler la propagation des ondes de volume dans différents matériaux en prenant par exemple une barre de marbre ou de granite.
- Pour simuler la propagation des ondes P, qui sont des ondes de compression, on peut exercer un choc sur la section de la barre.
- Pour simuler la propagation des ondes S, qui sont des ondes de cisaillement, on peut appliquer un choc sur le dessus de la barre à l'aide d'un objet relativement tranchant comme un couteau de table.

3 Tester un modèle expérimental

● La propagation de l'onde dans la barre peut être enregistrée à l'aide de capteurs piézoélectriques appelés aussi « piézomètres ». Ces capteurs transforment les vibrations de la surface sur lequel il est posé, provoquées par le passage d'ondes mécaniques, en une tension électrique qui peut être numérisée, enregistrée et visualisée avec un logiciel comme Audacity. Consulter la [fiche technique 6, Utiliser Audacity pour étudier la propagation d'une onde](#) pour obtenir des précisions sur l'utilisation du logiciel.

● Mise en place du dispositif :

- On dispose une barre sur deux morceaux de polystyrène expansé, de façon à l'isoler de la table.
- On place deux piézomètres sur la barre. Ils doivent être le plus éloigné possible pour minimiser l'erreur relative sur la valeur de la distance entre les deux capteurs.
- Les deux piézomètres doivent être reliés à un dédoubleur jack connecté à l'entrée stéréo de la carte son de l'ordinateur.
- Le choc permettant de déclencher la propagation des ondes doit être exercé par un objet suffisamment massif et relativement tranchant comme un couteau à dents ordinaire de table.
- Dans la pratique, le choc peut être appliqué à proximité de l'un ou l'autre des piézomètres : ce qui importe est le décalage temporel entre les ondes perçues par ces deux capteurs.

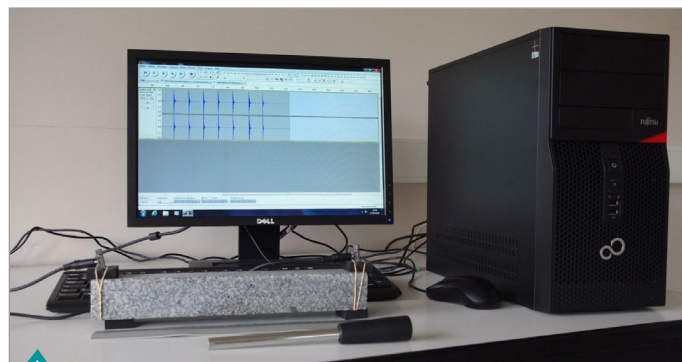
● Résultats obtenus :

- L'onde passe d'abord au niveau du capteur le plus proche du choc, se propage le long de la barre et atteint ensuite le 2^e capteur.
- On peut mesurer l'intervalle de temps ou retard entre les deux enregistrements.
- Connaissant la distance entre les deux capteurs et le retard, on peut en déduire la vitesse de propagation de l'onde.

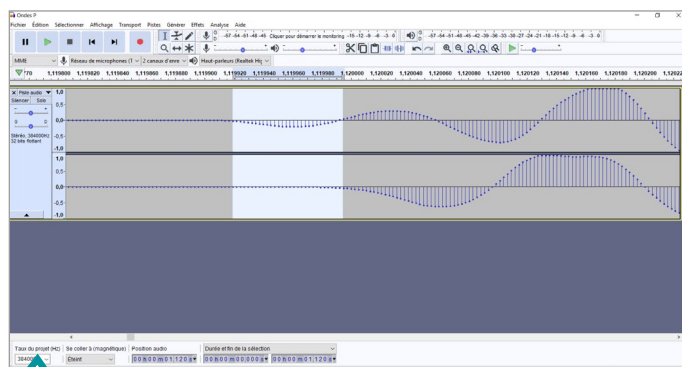
● Confrontation avec les résultats attendus :

Des mesures réalisées en laboratoire donnent le tableau suivant :

Matériau	Vitesse des ondes P (en m·s ⁻¹)	Vitesse des ondes S (en m·s ⁻¹)
Calcaires	3,5·10 ³ à 6,0·10 ³	2,0·10 ³ à 3,3·10 ³
Granite	4,5·10 ³ à 6,0·10 ³	2,5·10 ³ à 3,3·10 ³
Basalte	5,0·10 ³ à 6,0·10 ³	2,8·10 ³ à 3,4·10 ³
Glace	3,4·10 ³ à 3,8·10 ³	1,7·10 ³ à 1,9·10 ³



a. Photographie du montage



b. Résultats obtenus avec Audacity

La piste supérieure correspond au premier capteur, la piste inférieure correspond au deuxième

COUPS DE POUCE

- ▶ À partir des documents présentés, mettre en place l'expérience permettant de simuler la propagation des ondes P et S, et déterminer les vitesses de propagation ainsi obtenues.
- ▶ Confronter les résultats obtenus aux résultats attendus du tableau : cette modélisation de la propagation est-elle cohérente avec les mesures faites en laboratoire ?
- ▶ Utiliser le même principe de montage pour découvrir certaines propriétés des ondes de volume : leur vitesse de propagation dépend-elle de la température ? Comment évolue l'amplitude du signal en fonction de la distance ?
- ▶ Prendre du recul et faire un lien avec le projet : ce genre d'expérience peut-elle être adaptée à une partie de votre projet ?

Étudier des séismes réels

TÂCHE
COMPLEXE

Étudier des séismes réels sur Terre est une opération complexe nécessitant un réseau mondial de stations sismiques réparties à la surface de la planète. Dans le cadre du projet expérimental et numérique, il est néanmoins possible de valider la détection d'un séisme réel en confrontant les données expérimentales obtenues par votre sismomètre aux données officielles des réseaux de stations sismiques.

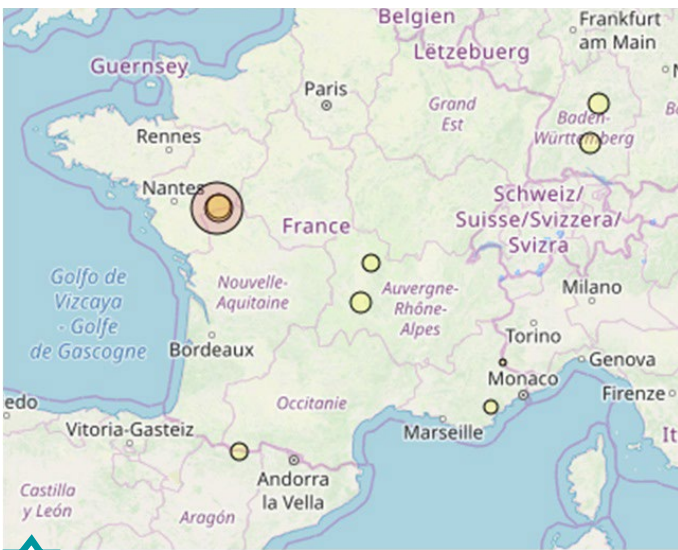
MISSION

- Définir ou utiliser une stratégie pour valider la détection d'un séisme réel.

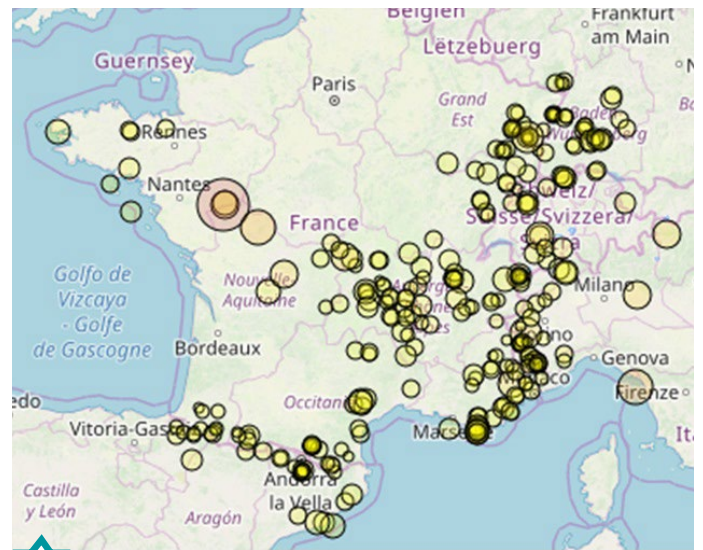
1 Identifier les signaux correspondants à un séisme potentiel

- La probabilité de détecter un séisme dépend de la région où l'on se trouve et de l'intervalle de temps pendant lequel on fait l'enregistrement. Le site RéNaSS, Réseau National de Surveillance Sismique, recense

quotidiennement les séismes se produisant en France métropolitaine et dans le monde : <https://renass.unistra.fr/sismicite/derniers-seismes-en-metropole>



a. Séismes détectés en France le 21/06/19 sur les dernières 24 h



b. Séismes détectés en France le 21/06/19 et durant les 15 derniers jours précédents

Date	UTC	Locale	
21/06/2019	07:29:58	09:29:58	Séisme de magnitude 2.3, proche de Bressuire Validé
21/06/2019	07:25:38	09:25:38	Tir de carrière de magnitude 1.4, proche de Fréjus Validé
21/06/2019	06:59:12	08:59:12	Séisme de magnitude 2.6, proche de Bressuire Validé
21/06/2019	06:50:58	08:50:58	Séisme de magnitude 5.2, proche de Bressuire Validé

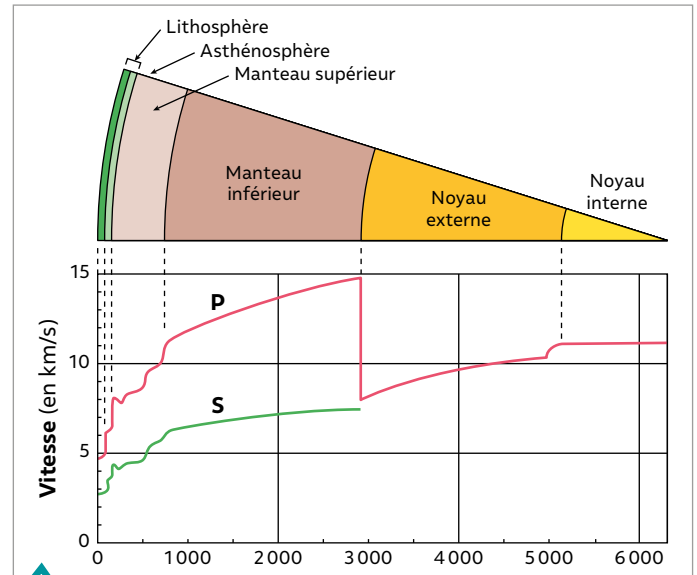
c. Principales caractéristiques associées à la détection de séismes

- La probabilité de détection dépend aussi de la sensibilité du sismomètre. Avec les techniques simples proposées dans le cadre du projet, il est parfois délicat de détecter des séismes de magnitudes inférieures à 3, pour une distance supérieure à une centaine de km.
- Pour identifier un séisme dans un enregistrement, commencer par repérer les signaux qui sortent du bruit de fond pour un enregistrement réalisé avec un microcontrôleur et une carte SD (typiquement pour le cas d'un sismomètre

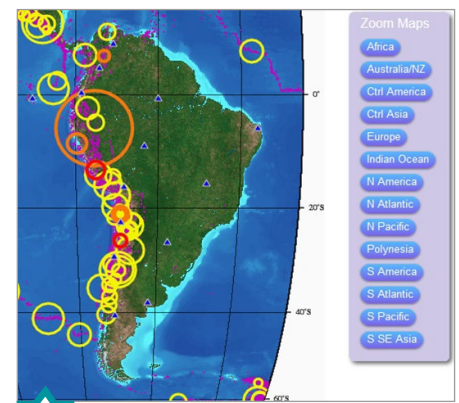
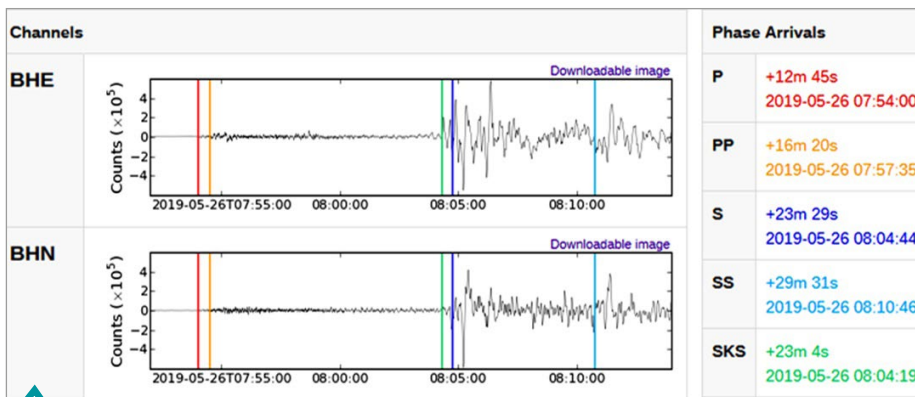
Lehman) puis « zoomer » sur ces signaux pour voir s'ils présentent la structure caractéristique d'un séisme. Pour un enregistrement réalisé directement avec Audacity dans le cas d'un sismomètre de type géophone, il est très intéressant de réaliser un traitement du signal de type filtrage passe-bas (→ [fiche technique 5, Filtrer un signal](#)) pour éliminer la majeure partie du bruit de fond, suivi d'une amplification pour rendre le signal bien visible à l'écran (→ [fiche technique 4, Amplifier un signal](#)).

2 Valider la détection d'un séisme

- La validation de la détection se fait en recensant les séismes qui se sont produits avant l'heure de la détection.
- 2 cas de séismes peuvent alors se présenter :
 - séisme proche, se produisant à une distance de l'ordre de plusieurs centaines de km. Pour ce type de séisme les ondes P se propagent essentiellement dans la croûte terrestre avec des vitesses de l'ordre de 7 à 8 km/s. Il suffit de relever l'heure d'arrivée des ondes P sur l'enregistrement et de rechercher, sur un site comme celui du **RéNaSS**, le ou les séismes proches qui se sont produits, quelques minutes avant.
 - séisme lointain, se produisant à une distance de l'ordre de plusieurs milliers de km. Pour ce type de séisme les ondes se propagent dans le manteau solide de la Terre sous la croûte terrestre et la vitesse moyenne de propagation varie en fonction de la distance entre l'épicentre du séisme et le lieu de la détection. La seule validation vraiment efficace consiste à comparer les données expérimentales à des données officiellement validées de stations sismiques appartenant à un réseau de surveillance mondiale comme par exemple de **l'IRIS** : Incorporated Research Institutions for Seismology : <https://ds.iris.edu/seismon/>

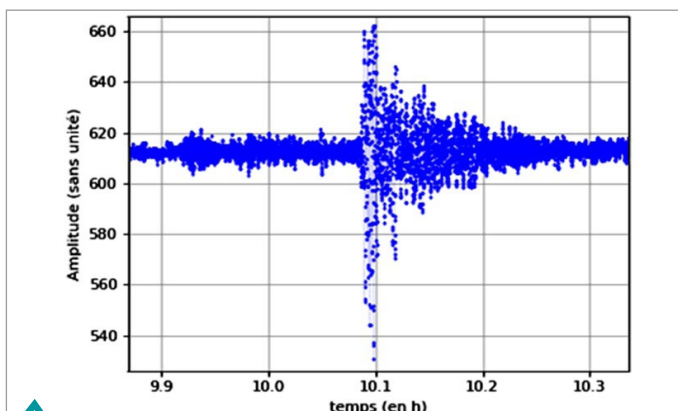


d. Vitesse de propagation des ondes P et S



f. Séisme au Pérou du 26/05/19 de magnitude 8,0 Mlv (source : IRIS)

e. Enregistrement du séisme du Pérou du 26 05 19 à la station BFO (Black Forest Observatory en Allemagne dans la Forêt Noire, source : IRIS)



g. Représentation graphique Python de l'enregistrement du séisme du 26/05/19 enregistré à Beauvais avec un sismomètre de type Lehman

COUPS DE POUCE

- Proposer une explication pour la phrase du paragraphe 1 : « Avec les techniques simples proposées dans le cadre du projet, il est parfois délicat de détecter des séismes de magnitudes inférieures à 3 ».
- Justifier la première phrase du paragraphe 2 : « La validation de la détection se fait en recensant les séismes qui se sont produits avant l'heure de la détection ».
- Estimer l'ordre de grandeur du temps de propagation des ondes sismiques P issues d'un séisme « proche » et justifier la méthode utilisée pour déterminer quel est le séisme officiellement détecté correspondant.
- Réaliser un schéma en coupe de la Terre et expliquer pourquoi la vitesse moyenne de propagation des ondes sismiques P ou S varie en fonction de la distance pour des séismes lointains.