

Séquence n°1

Comment protéger la population de l'éruption d'un volcan ?



Source : <https://www.flickr.com/photos/31379880@N05/23149618272/in/photostream/>

La protection des personnes et des biens passe par la surveillance du volcan. Un réseau d'instruments est implanté sur le site et les mesures sont réalisées en continu et envoyées au centre de contrôle.

Suite à l'éruption du Piton de la Fournaise de 1977, les élus des communes et du Conseil Général ont pris conscience de la nécessité de surveiller l'activité du volcan, les zones habitées étant menacées il fallait prendre des précautions. La Fournaise est un des volcans les mieux instrumentés au monde (nombreux capteurs installés) et son activité très intense permet une étude approfondie et la mise au point de nouvelles techniques utilisables dans le monde entier.

Le projet conduit les élèves à effectuer des recherches sur les moyens de surveillance et de mettre en œuvre des modèles d'instruments après l'étude des phénomènes physiques associés. Un [document](#) réalisé par Jean Baptiste Feriot Thomas Staudacher et Louis Philippe Ricard de l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise décrit de manière très détaillée l'ensemble des capteurs utilisés sur le piton de la Fournaise.

Les techniques d'étude du volcan sont les suivantes.

La sismologie : c'est la base du travail de surveillance. On détecte la surpression et les fracturations du sol, il n'y a pas d'éruption sans séismes.

Les déformations du volcan : quand le magma monte, on constate des déformations (fissures) et une variation de l'inclinaison des pentes.

Les mesures de distances entre différents points : Aujourd'hui elles sont effectuées par des mesures de GPS plus fiables et plus précises. Auparavant ces mesures étaient moins fréquentes (1 mesure par point et par heure), car elles étaient effectuées par visée laser et étaient donc plus difficiles voire impossibles quand il y avait des nuages. Elles permettent de suivre l'évolution du terrain et ses déformations.



Après une séance consacrée à la recherche des techniques d'étude mises en œuvre dans le cadre de la surveillance du volcan, un ensemble d'activités expérimentales est proposé en lien avec la problématique.

Partie 1 : étude d'un capteur de déformation, l'extensomètre

Partie 2 : détection d'une onde sismique, le sismomètre

Partie 3 : localiser l'épicentre d'un séisme

Partie 4 : influence de la nature du sol sur la détermination de l'épicentre du séisme

PARTIE 1 : Comment mesurer l'écartement des bords d'une fissure ?

L'extensomètre est un instrument basé sur la variation de la résistance d'un potentiomètre linéaire. L'objectif est de construire un système capable de mesurer l'épaisseur d'une fissure de manière automatique.

ACTIVITE 1. Découverte du capteur

- **Objectifs** : prendre en main le capteur pour relier la grandeur résistance à l'écartement de la faille.
- **matériel** : maquette extensomètre (potentiomètre linéaire de 10 k Ω avec bornes de connexion apparentes sur boîtier), ohmmètre
- **Ressources disponibles** : partie du document numérique « [Les instruments de surveillance au Piton de la Fournaise](#) » traitant de l'extensomètre
- **Explicitation des consignes, des attentes ; tâches possibles** :
 - Les élèves s'approprient le matériel et vérifient comment la résistance du potentiomètre peut varier à l'aide de l'ohmmètre.
 - A l'aide des résultats de la recherche documentaire et de l'expérience précédente, les élèves peuvent simuler une fissure à l'aide de deux morceaux de bois puis de positionner correctement le capteur, de repérer la partie fixe qui doit être ancrée sur une paroi de la faille puis la partie mobile (curseur) qui doit être ancrée sur la paroi opposée.
 - Les élèves doivent vérifier qualitativement à l'aide d'un ohmmètre que la résistance augmente lorsque l'écartement de la faille varie. Si c'est le contraire il faut inverser le sens du potentiomètre.

ACTIVITE 2. Comment le capteur permet-il de mesurer une longueur ?

- **Objectifs** : déterminer le lien entre la tension électrique aux bornes du montage et l'écartement de la faille.
- **Matériel fourni** : maquette extensomètre, multimètre, générateur de tension 5V, pied à coulisse ou règle ou piges étalon
- **Explicitation des consignes, des attentes ; tâches possibles** :
 - formuler des hypothèses sur la relation entre la longueur de l'écartement et la tension mesurée aux bornes de l'extensomètre.
 - Proposer un protocole expérimental afin de valider ou invalider les hypothèses.
 - Réaliser le protocole expérimental.
 - Modélisation afin de déterminer la relation entre la largeur de la faille et la résistance.
 - Comparaison de la valeur déterminée par le modèle et la valeur de référence

ACTIVITE 3. Comment récupérer des données mesurées au centre de contrôle ?

- **Objectif** : traiter le signal pour que la valeur affichée sur le voltmètre corresponde à la largeur de la faille ou utiliser une interface d'acquisition ou microcontrôleur et réaliser un programme pour afficher la valeur de l'écartement de la faille.
- **Matériel fourni** : maquette extensomètre, montage amplificateur, multimètre ou interface d'acquisition ou microcontrôleur, logiciel d'acquisition, logiciel de programmation

– **Explicitation des consignes, des attentes ; tâches possibles :**

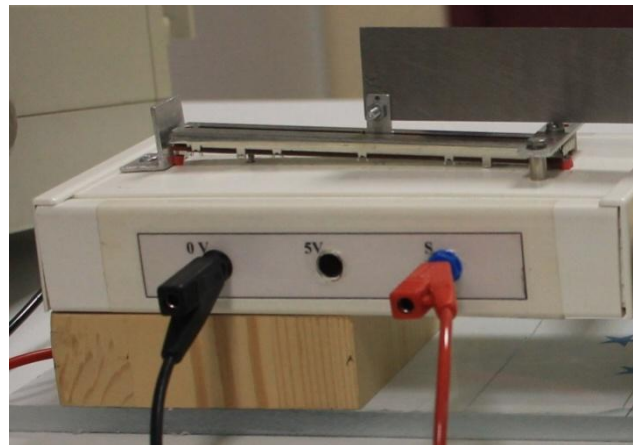
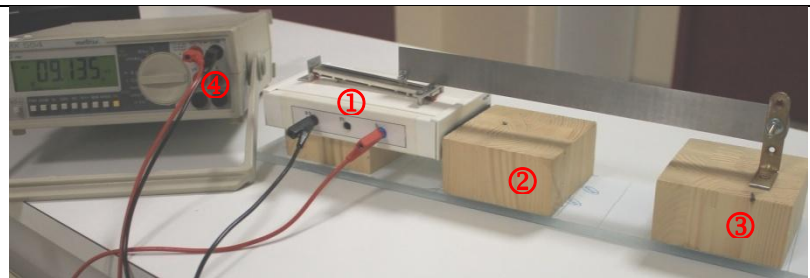
- Un protocole est fourni aux élèves afin qu'ils réalisent la chaîne d'acquisition complète. Le protocole est adapté en fonction du matériel. Les résultats de la modélisation sont utilisés pour réaliser la mesure de la fissure.
- La méthode la plus simple consiste à utiliser un multimètre et un montage amplificateur pour que la valeur affichée corresponde à la largeur de la faille. On peut demander aux élèves de réfléchir à cette stratégie de résolution.
- On peut demander aux élèves de comparer leur mesure à une valeur de référence.

Résultats d'expériences et dispositifs expérimentaux

Activité 1 : La Faille est simulée par les deux morceaux de bois (② et ③). Une barre métallique est reliée d'un côté à la partie mobile du potentiomètre linéaire ① et de l'autre au morceau de bois ③. Le bloc ② est solidaire de la partie fixe du bloc ①. L'ouverture ou la fermeture de la faille est simulée par le déplacement du bloc ③, l'autre bloc restant fixe.

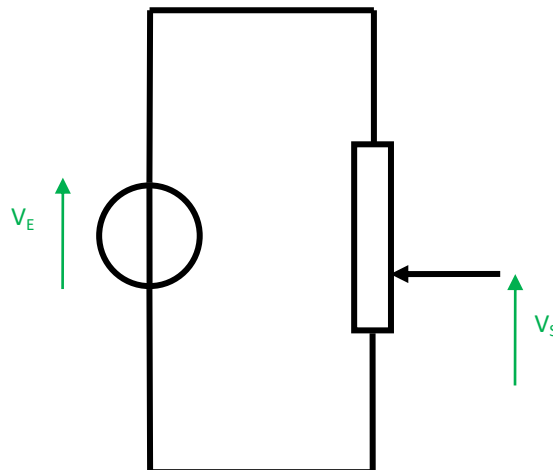
Le potentiomètre est monté sur une maquette afin de mesurer directement la résistance à ses bornes.

Les élèves constatent que lorsque la largeur de la fissure modélisée augmente, la résistance augmente.



Activité 2 : La maquette possède 4 bornes de connexion. Deux bornes permettent l'alimentation du montage diviseur de tension, deux autres permettent de mesurer la tension aux bornes de la résistance variable.

Hypothèse possible : La largeur est proportionnelle à la tension.



Pour chaque largeur de la faille on mesure la tension électrique. La mesure de la faille peut se faire à l'aide d'un pied à coulisse, d'un régllet ou à l'aide de cales de longueurs connues.

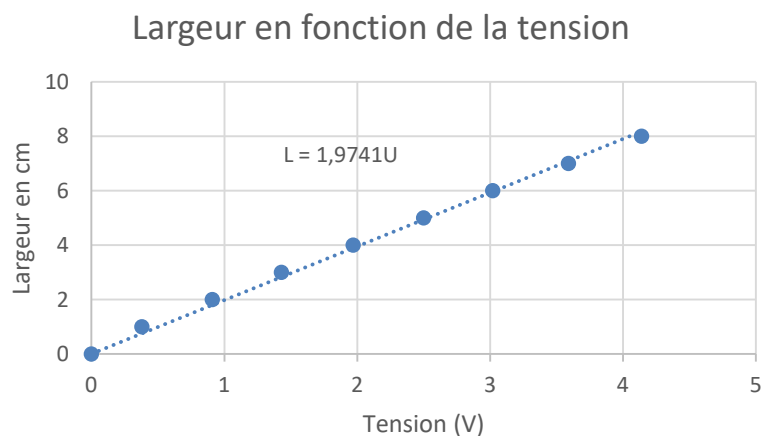


Jeu de 8 cales de longueur comprises entre 1,0 et 8,0 cm.



Le nuage de points est distribué autour d'une droite moyenne dont on détermine l'équation.

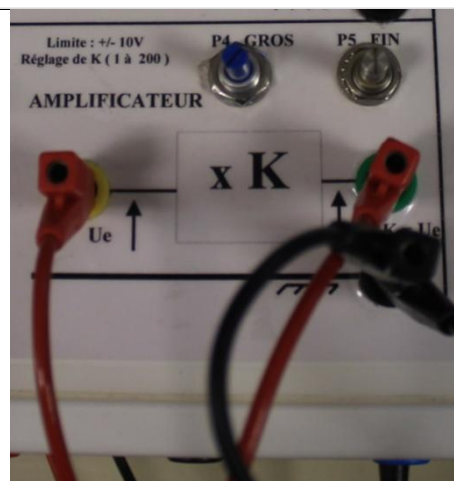
La relation obtenue grâce à la modélisation (entre la largeur de la faille et la tension) permet de mesurer la largeur à partir de la mesure de tension. Il faut proposer le modèle linéaire pour vérifier les hypothèses.



Activité 3 : La solution la plus simple est que l'indication donnée par le voltmètre corresponde à la valeur mesurée de la largeur. Pour cela il faut conditionner le signal en l'amplifiant.

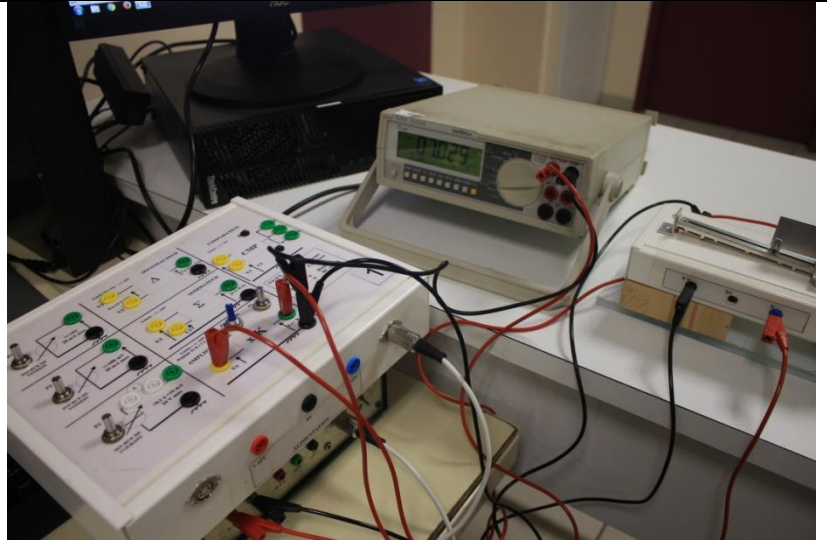
Dans ce cas, les élèves peuvent proposer de « multiplier le signal » par un nombre. On parle alors d'amplification de tension. Le gain d'amplification est donné par la relation :

$$U_3 = 1,974U$$



Montage amplificateur

Montage final avec amplification du signal. L'indication du voltmètre (mesure de la tension U_2) correspond à la valeur de la largeur de la faille.



Ce qu'il faut savoir faire :

Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie ?
APP	Rechercher et organiser l'information afin de proposer un modèle expérimental d'extensomètre	Activité n°1
ANA	Proposer un montage expérimental modélisant l'extensomètre	Activité n°1
	Formuler une hypothèse sur la relation entre tension et largeur de la faille à l'aide d'une loi associée au phénomène (loi d'ohm). Proposer un protocole expérimental.	Activité n°2
	Proposer une stratégie de résolution pour que la valeur affichée corresponde à la longueur de la faille fabriquer la chaîne de mesure (amplification de tension)	Activité n°3
REA	Réaliser le montage de l'expérience	Activité n°1 et n°2
	Réaliser les mesures de résistance et de largeur et déterminer le lien qualitatif entre les deux grandeurs.	Activité n°1
	Réaliser les mesures de tension et de largeur et déterminer le modèle quantitatif entre les deux grandeurs.	Activité n°2
	Mettre en œuvre la chaîne de la mesure	Activité n°3
VAL	Valider ou invalider les hypothèses Confronter le modèle aux résultats expérimentaux en calculant la valeur prévue par le modèle et en la comparant à la valeur expérimentale de référence.	Activité n°2
	Comparer l'indication donnée par la chaîne de mesure et la valeur de référence de la largeur	Activité n°3
COM	Rédiger les réponses aux questions	Activité n°1, 2 et 3



Liens avec le programme de physique chimie de seconde

Thème	Notions et contenus	Où dans cette partie ?
Mesure et incertitudes	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure unique. Comparer qualitativement un résultat à une valeur de référence.	
Ondes et signaux 3. signaux et capteurs	Loi des nœuds. Loi des mailles. Résistance et systèmes à comportement de type ohmique Loi d'Ohm Capteurs électrique	Activité n°1, 2 et 3



PARTIE 2 : Comment détecter une onde sismique ?

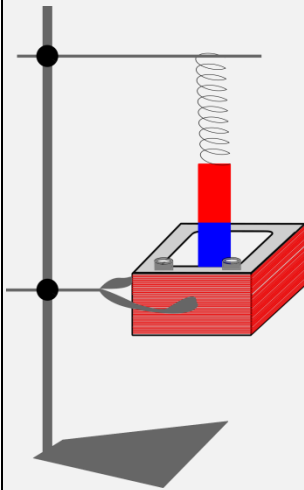
ACTIVITE 1. Qu'est ce qu'une onde sismique ?

- **Objectifs** : Cette activité est consacrée à la recherche d'informations sur les ondes sismiques et permet de faire le lien avec les notions relatives aux ondes du programme de physique chimie.
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** :
Les élèves réalisent une recherche documentaire pour déterminer la nature des ondes sismiques, leur origine, leurs caractéristiques (célérité, distance de propagation, intensité...).

ACTIVITE 2. Comment détecter des ondes sismiques provenant d'un épocentre éloigné ?

- **Objectifs** : réaliser un modèle de sismomètre à l'aide d'un protocole fourni
- **Matériel fourni** :
 - bobine carrée
 - ressorts
 - masses marquées à crochet pour étudier l'influence de la masse sur la période
 - aimant avec crochet
 - bécher pour réaliser l'amortissement
 - potence de fixation
 - système d'acquisition de données ou oscilloscope
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** :
L'objectif est de construire un sismomètre permettant de détecter des ondes sismiques de basse fréquence en mettant en œuvre le principe d'induction.

Document 1 : Expérience à réaliser



1. Réaliser le montage ci-contre en suspendant le ressort à la potence avec l'aimant droit attaché au ressort. Positionner l'aimant droit au centre de la bobine maintenue par une pince.
2. Brancher les câbles pour mesurer la tension aux bornes de la bobine à l'aide de l'oscilloscope.
3. Faire osciller l'aimant et régler l'oscilloscope pour visualiser le signal électrique. Observer l'allure du signal électrique obtenu.
4. D'après vos observations, l'amplitude du signal dépend-elle de l'amplitude du mouvement ou de la vitesse de l'aimant ?
5. Mesurer la période propre des oscillations. En déduire la fréquence d'oscillation propre correspondante.
6. Taper sur le bureau et réaliser un nouvel enregistrement.
7. Le système revient-il vite à l'équilibre ? Proposer une amélioration du dispositif.



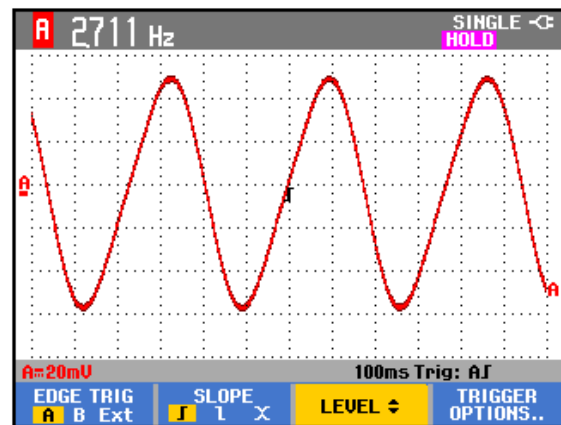
Résultats d'expériences

Le montage de l'activité 2 est le suivant.

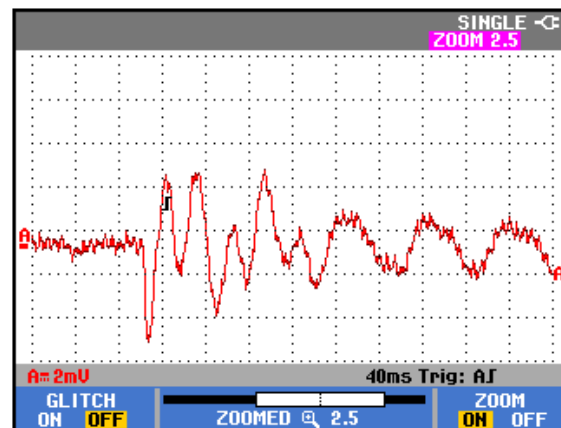
L'amplitude du signal du signal est d'autant plus élevée que la vitesse de l'aimant est grande.



La fréquence d'oscillation est égale à 2,7 Hz ce qui correspond à un détecteur basses fréquences.



Le dispositif détecte les vibrations basses fréquences du sol. En revanche le retour à l'équilibre est trop long. Il faut rajouter un système d'amortissement pour le temps de retour à l'équilibre.



Ce qu'il faut savoir faire :

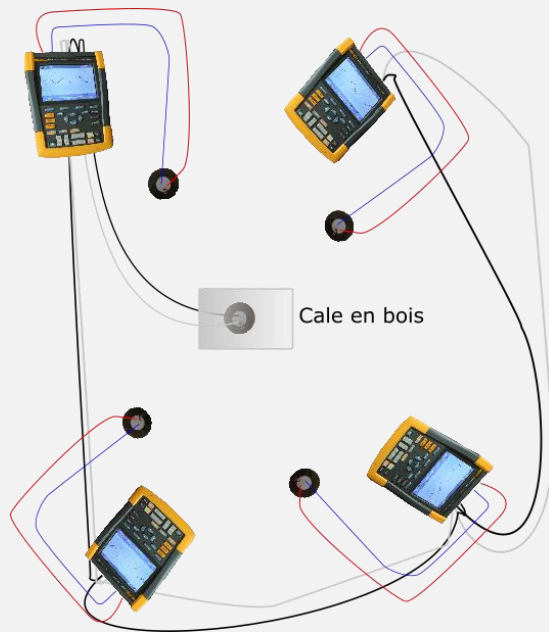
Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie ?
APP	Rechercher et organiser l'information pour en lien avec la problématique étudiée	Activité n°1
ANA	Observer l'allure du signal	Activité n°2
REA	Réaliser le montage de l'expérience	Activité n°2
	Réaliser les enregistrements	
	Mesurer la période du signal	
VAL	Relier l'évolution du signal électrique au mouvement de l'aimant droit.	Activité n°2
	Proposer une amélioration du dispositif (système d'amortissement)	
COM	Rédiger les réponses aux questions	Activité n°1 et 2

PARTIE 3 : Comment localiser l'épicentre d'un séisme ?

ACTIVITE 1. Détermination de l'épicentre d'un séisme à l'aide la méthode des demi-plans.

- **Objectifs** : déterminer l'épicentre d'un séisme simulé dans un plan à l'aide de l'analyse d'enregistrements issus de plusieurs capteurs
- **Matériel fourni** : capteurs piézoélectriques, systèmes d'acquisition (oscilloscope numérique, interface)
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : on cherche à localiser un épicentre (secousse générée en un point du sol de la classe) à l'aide de tous les enregistrements réalisés par les différents groupes (les capteurs piézoélectriques étant posés au sol). On précise que la vitesse de propagation des ondes peut être considérée identique dans tout le sol (matériau homogène) et on demande aux élèves de réfléchir, par groupe de 4, à une stratégie afin de localiser l'épicentre : voir les documents pédagogiques sur le site de l'IRMA de Grenoble http://www.irma-grenoble.com/PDF/mallettes/sismique/ENS_fiche07.pdf. Il est nécessaire que le début de l'enregistrement soit synchrone pour tous les groupes (tous les systèmes d'acquisition sont reliés entre eux pour déclencher en même temps). Après validation de la stratégie en classe entière, les élèves réalisent l'enregistrement et représentent au tableau le plan de la classe à l'échelle. La méthode permet de repérer une zone possible de l'épicentre et non un point. On demande en fin d'activité de proposer des améliorations éventuelles pour repérer plus précisément l'épicentre.

Document 1 : Protocole expérimental validé

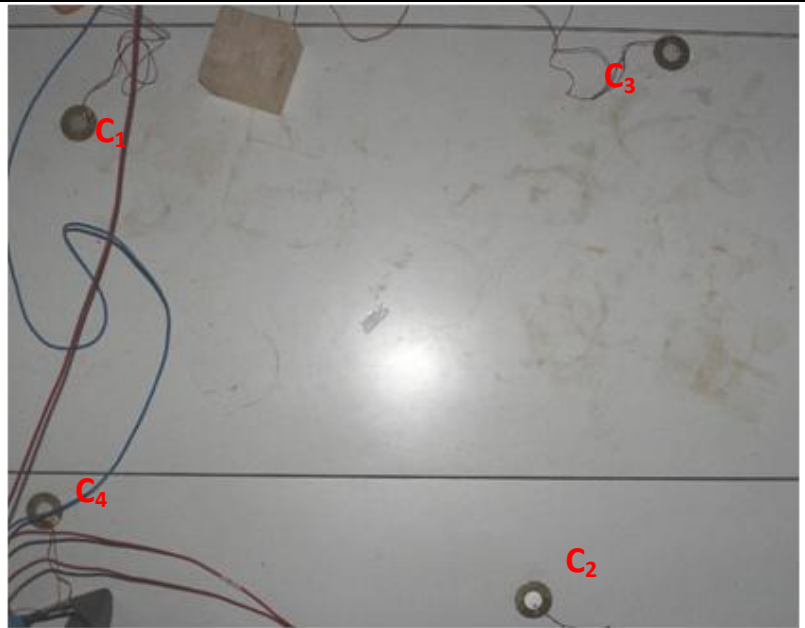


1. Positionner le capteur piézoélectrique au sol et relier le à la voie A.
2. Relier le câble de synchronisation à la voie B (le câble est connecté à un autre oscilloscope ou au capteur de déclenchement situé sous la cale en bois).
3. Régler l'oscilloscope selon le protocole spécifié (réglage mono coup, synchronisation sur la voie B correspondant au signal provenant du capteur de détection).
4. Le professeur frappe la cale en bois pour simuler le séisme, l'acquisition est réalisée automatiquement. Une fois le signal capturé suite au déclenchement du séisme, déterminer la date à laquelle le signal est reçu par votre capteur (la date t_0 correspondant au début de l'enregistrement).
5. Choisir un couple de capteurs représentés au tableau et tracer la médiatrice entre ces deux capteurs. Avec les mesurés réalisées, repérer lequel des capteurs est le plus proche de l'épicentre. Hachurer le demi-plan qui contient le capteur le plus éloigné de l'épicentre.
6. Reporter vos résultats et déterminer collectivement la position de l'épicentre.

Résultats d'expériences

Le travail est réparti entre les élèves.

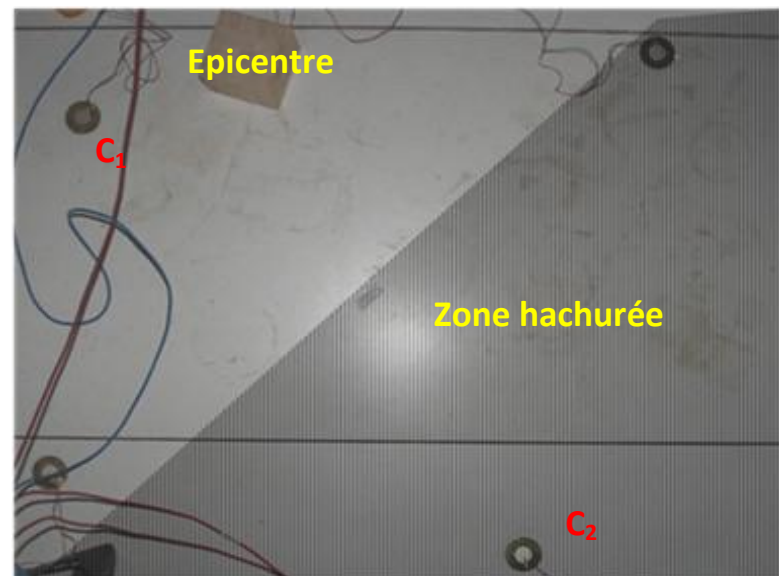
Chaque capteur est numéroté. Les couples de capteurs sont définis avant de tracer les demi-plans.



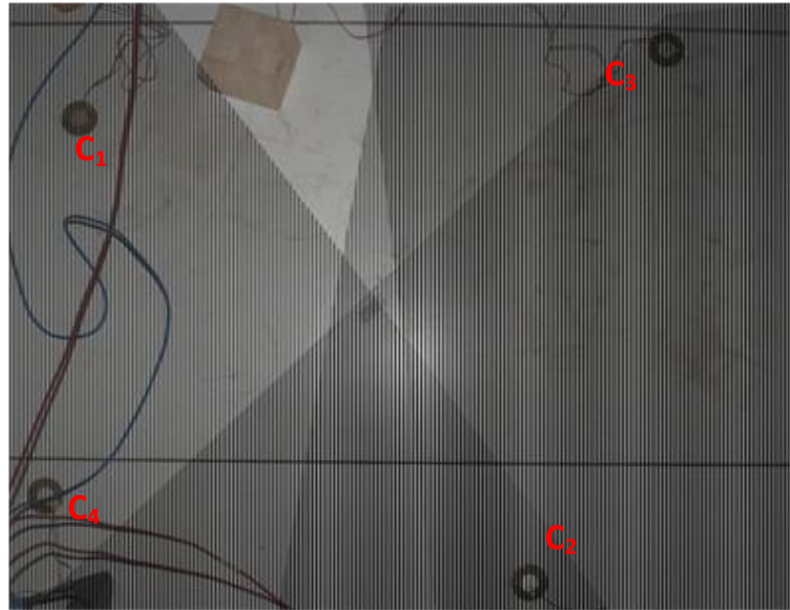
Pour un couple de capteurs donné (ici C_1 et C_2), on trace la médiatrice.

Les **dates** de réception des signaux sont comparées.

Comme C_1 reçoit l'onde en premier on hachure le demi-plan où se trouve l'autre capteur (C_2).



A la fin, il ne doit rester qu'une petite surface non hachurée dans laquelle se trouve l'épicentre.
Dans le cas ci-contre, la zone possible n'est pas complètement délimitée. Le nombre de détecteurs n'est pas suffisant. Il aurait fallu en rajouter dans la partie supérieure.



Ce qu'il faut savoir faire :

Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie ?
ANA	Proposer une stratégie de résolution pour déterminer la position de l'épicentre.	Activité 1
REA	Mettre en œuvre le protocole établi en classe	Activité 1
VAL	Identifier les sources d'erreur de position de l'épicentre	Activité 1
	Proposer une éventuelle amélioration du protocole pour améliorer la précision de localisation de l'épicentre.	
COM	Echanger entre pairs pour construire les demi-plans	Activité 1

Liens avec le programme de physique chimie de seconde

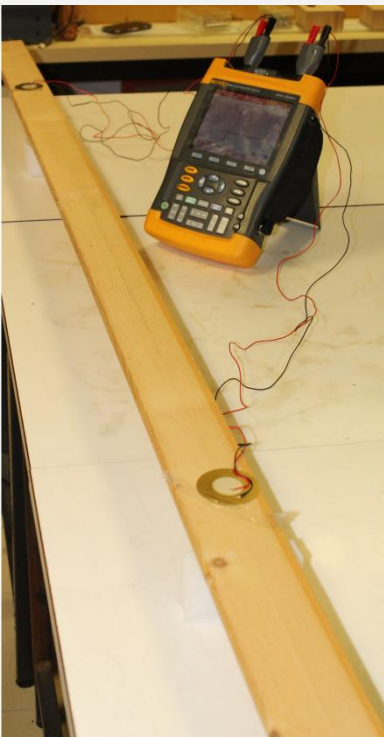
Thème	Notions et contenus	Où dans cette partie ?
Ondes et signaux 1. Emission et perception d'un son	Émission et propagation d'un signal sonore.	Activité n°1

PARTIE 4 : La nature du sol a-t-elle une influence sur la détermination de l'épicentre ?

ACTIVITE 1. Comment mesurer la vitesse de propagation d'une onde ?

- **Objectifs** : déterminer une méthode de mesure de célérité
- **Matériaux fournis** :
 - capteurs piézoélectriques
 - système d'acquisition (interface, oscilloscope numérique, carte son...)
 - polystyrène (pour isoler la barre de la paillasse)
 - planche en bois
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : on précise en introduction que la connaissance de la vitesse de propagation est nécessaire à la localisation des épicentres. Les élèves sont amenés à élaborer un protocole expérimental, à le présenter à la classe. Après une phase de validation en classe entière, chaque groupe réalise l'expérience.

Document 1 : Protocole expérimental validé



1. Positionner les capteurs piézoélectriques à plus d'un mètre de distance.
2. Relier les capteurs aux deux voies de l'oscilloscope.
3. Régler l'oscilloscope à l'aide de la fiche d'aide :
 - Amplitude : à adapter en fonction de la sensibilité du capteur
 - Sensibilité horizontale : 500 $\mu\text{V}/\text{div}$
 - Synchronisation : mode monocoup
4. Frapper l'extrémité de la planche à l'aide de la clé métallique.
5. Mesurer la durée de propagation de l'onde entre les deux capteurs.

ACTIVITE 2. La vitesse de propagation dépend-elle du milieu de propagation ?

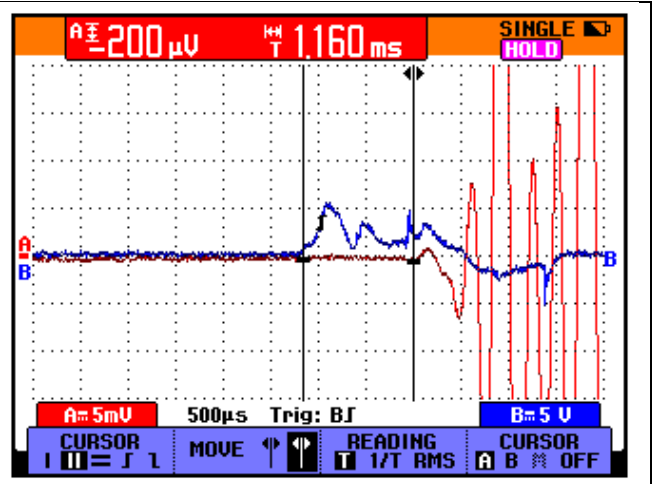
- **Objectifs** : Etudier l'influence de la nature des matériaux sur célérité des ondes sismiques.
- **Matériaux fournis** :
 - capteurs piézoélectrique
 - système d'acquisition (interface, oscilloscope numérique, carte son...)
 - barres de différents matériaux (marbre, métal...)
 - polystyrène (pour isoler la barre de la paillasse)
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** :



On propose aux élèves d'utiliser des matériaux homogènes de différente nature et de mesurer les célérités avec la même méthode que celle proposée dans l'activité 1 et de comparer les différentes valeurs obtenues.

Résultats d'expériences

Le capteur connecté à la voie B de l'oscilloscope reçoit l'onde en premier.
La durée est mesurée soit à l'aide des curseurs soit en mesurant le nombre de divisions à l'écran de l'oscilloscope.



Ce qu'il faut savoir faire :

Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie ?
ANA	Elaborer un protocole expérimental pour mesurer la célérité des ondes.	Activité n°1
	Comparer les différents ordres de grandeur de célérité.	Activité n°2
REA	Réaliser le protocole expérimental.	Activité n°1 et 2
COM	Présenter la démarche de manière argumentée	Activité n°1

Thème	Notions et contenus	Où dans cette partie ?
Ondes et signaux 1. Emission et perception d'un son	Émission et propagation d'un signal sonore. Vitesse de propagation d'un signal sonore.	Activité n°1