

Surveillance sismique et Raspberry Shake

Version juin 2025

Les ressources éducatives développés par le Service Sismologique Suisse à l'ETH de Zurich en collaboration avec l'Université de Lausanne et le Centre Pédagogique Prévention Séismes (CPPS) à Sion.

Date de publication

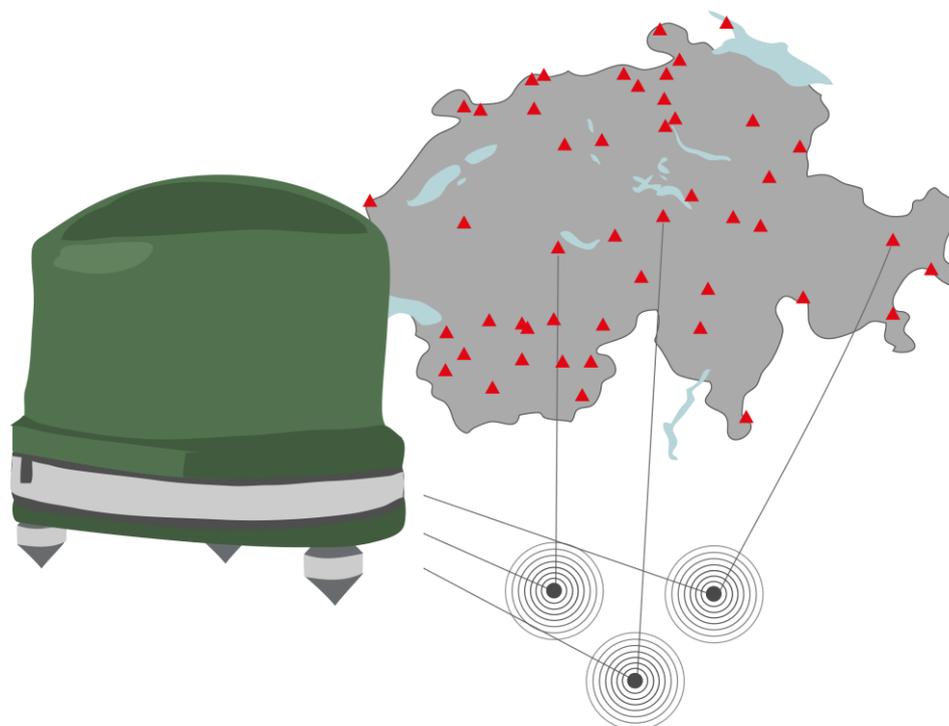
Publié

Mentions légales

La présente unité d'enseignement peut être téléchargée sans restriction et utilisée gratuitement à des fins pédagogiques. Les modifications et adaptations sont également autorisées. La mention de l'origine du matériel et de la source correcte, par exemple pour les graphiques et les images, ne doit pas être supprimée.

Plus d'informations

Vous trouverez de plus amples informations sur cette unité d'enseignement et sur d'autres modules sur le site Internet du Service Sismologique Suisse (SED) à l'ETH de Zurich, à l'adresse suivante : www.seismo.ethz.ch.



Vue d'ensemble

Durée	– 2 x 45 min (double période)
Connaissances préalables	<ul style="list-style-type: none"> – Les ondes sismiques – Origine des séismes – Notions de base
Objectifs d'apprentissage (Niveaux cognitifs)	<ul style="list-style-type: none"> – Les élèves savent ce que sont les sismomètres et comment ils fonctionnent. (C1) – Les élèves connaissent les sismogrammes et les spectrogrammes et savent les interpréter. (C3) – Les élèves comprennent et peuvent décrire avec leurs propres mots ce qu'est un sismomètre Raspberry Shake. (C2) – Les élèves savent comment les sismologues déterminent le lieu et la force des séismes. (C3) – Les élèves peuvent identifier eux-mêmes les différentes ondes sismiques et localiser les séismes à l'aide des données du Raspberry Shake. (C4)
Matériel nécessaire	<ul style="list-style-type: none"> – Ordinateur portable – Internet
Informations complémentaires	<p>Seismo@school Raspberry Shake</p> <ul style="list-style-type: none"> – Seismo@school Raspberry Shake Suisse via SED, stations – Seismo@school Raspberry Shake Suisse via SED, bruit de fond – Jupyter Notebook « Raspberry Shake Switzerland » – Carte interactive pour la localisation de séismes par triangulation – Localisation interactive des tremblements de terre par la méthode Bisector ou Grid Search (niveau avancé) – Raspberry Shake (raspberrypi.org) : <ul style="list-style-type: none"> – Application ShakeNet – Carte des stations, application web : Station View – Sismogrammes, application web : Data View – Localisation par triangulation, application web: Locator – Idées pour des projets (de maturité) (programmation) <p>Tremblements de terre dans le monde</p> <ul style="list-style-type: none"> – Carte interactive des tremblements de terre d'Earthscope – Carte interactive des tremblements de terre de l'US Geological Survey (USGS) – Propagation interactive des ondes sismiques : Seismic Waves Viewer, Seismic Shadow Zones – Visualisation du mouvement souterrain pour un séisme sélectionné, animé : Champs d'ondes – Visualisation et téléchargement de sismogrammes dans le monde entier – Rapports sur les tremblements de terre forts (pour l'enseignement scolaire) – Propagation des ondes pour les forts séismes, animé : ShakeMovie

Structure et contenu du module

1.	Mesurer les séismes hier et aujourd'hui	4
1.1	Types de sismomètres	6
1.2	Réseau sismique suisse	7
2.	Localisation des séismes	8
3.	Raspberry Shake	14
3.1	Réseau scolaire Raspberry Shake de Suisse	16
3.2	Carte des stations et données en temps réel	18
3.3	Sismogramme, spectrogramme et fréquence	19
3.4	Héliplot : le sismogramme sur 24 heures	20
3.5	Bruit sismique	24
4.	Jupyter Notebook « Raspberry Shake Switzerland »	25

1. Mesurer les séismes hier et aujourd'hui

Depuis la fin du 19e siècle, les sismomètres enregistrent les tremblements de terre. Ces enregistrements nous permettent de savoir où exactement un tremblement de terre s'est produit (**localisation**) et quelle était sa force (**détermination de la magnitude**). Pour prouver l'existence de séismes antérieurs, la recherche dépend des **rapports historiques** sur les observations et les dégâts des séismes. A partir de telles descriptions ainsi qu'à l'aide de méthodes statistiques, il est possible d'estimer a posteriori les paramètres du séisme (localisation, magnitude, profondeur). Grâce à cette méthode, les séismes peuvent parfois être retracés jusqu'au premier millénaire.

Pour les périodes très anciennes, on s'appuie sur les « **archives naturelles** » pour trouver des indices sur les anciens séismes : des stalactites brisées dans les grottes, des vestiges découverts par les archéologues, ou encore des couches de sédiments au fond des lacs montrant des glissements de terrain causés par de fortes secousses. On ne peut généralement repérer ces anciens tremblements de terre que s'ils ont laissé des traces visibles. Cette méthode, qu'on appelle la « **paléosismologie** », reste toutefois associée à de grandes incertitudes.

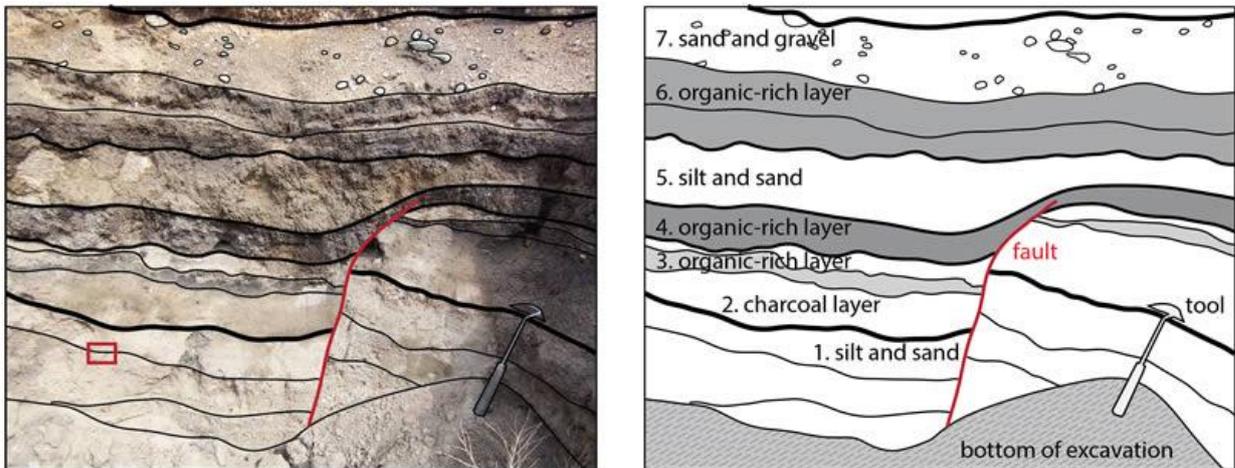


Figure 1 Exemple d'archive naturelle : une faille créée par un grand tremblement de terre au niveau de la faille de San Andreas en Californie, alors que la couche 4, riche en matière organique, se trouvait à la surface de la terre. La 5e couche de limon et de sable (en anglais « silt and sand ») sur le côté gauche de la faille (en anglais « fault ») est plus épaisse parce qu'elle comble la marche (au bord de la faille) qui s'est formé suite au mouvement sur la faille (Source : USGS, 29.10.2024).

L'histoire des instruments sismiques remonte à l'année 132 après Jésus-Christ. C'est à cette époque que Zhang Heng, un érudit chinois, a inventé le premier sismoscope. L'extérieur du récipient est orné de huit dragons qui regardaient vers les huit points cardinaux. Si un tremblement de terre se produisait, une boule de cuivre se détachait et tombait de la bouche d'un dragon. Il existe différentes hypothèses sur le fonctionnement exact du sismoscope de Zhang, car l'original n'a pas été conservé. A partir du 18e siècle, différents appareils ont été développés en Italie, dont un sismomètre électromagnétique de Luigi Palmieri en 1855, qui pouvait également fournir des indications sur la durée du séisme.

Les premiers **instruments de mesure mécaniques basés** sur le principe de la « **masse d'inertie** » ont été inventés à la fin du 19e siècle (par exemple par John Milne et Filippo Cecchi). Pendant le séisme, le sol, la suspension de la masse au repos (« masse d'inertie ») et le papier avec le sismogramme se déplacent de haut en bas. L'aiguille d'écriture est suspendue à un ressort avec la masse d'inertie. Elle reste sur place en raison de son inertie et enregistre le mouvement sur le papier qui tourne vers l'avant. La représentation des mouvements du sol enregistrés sur un axe temporel est appelée **sismogramme**. Les fluctuations sur le sismogramme, les **amplitudes**, indiquent l'intensité du mouvement du sol à l'endroit où se trouve le sismomètre. En règle générale, plus le sismomètre est éloigné de l'hypocentre, plus les amplitudes sont faibles.

Le principe d'un sismomètre repose sur le fait qu'un corps lourd est suspendu librement, de sorte qu'il reste au repos en tant que masse d'inertie lorsque le sol tremble.

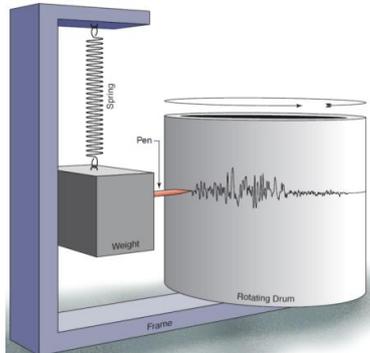


Figure 2 Sismomètre qui enregistre les mouvements verticaux (de haut en bas) du sol © IRIS.

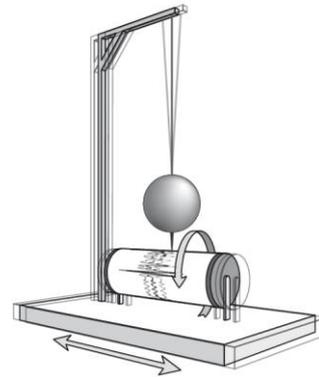


Figure 3 Sismomètre enregistrant les mouvements horizontaux (nord-sud, est-ouest) du sol.

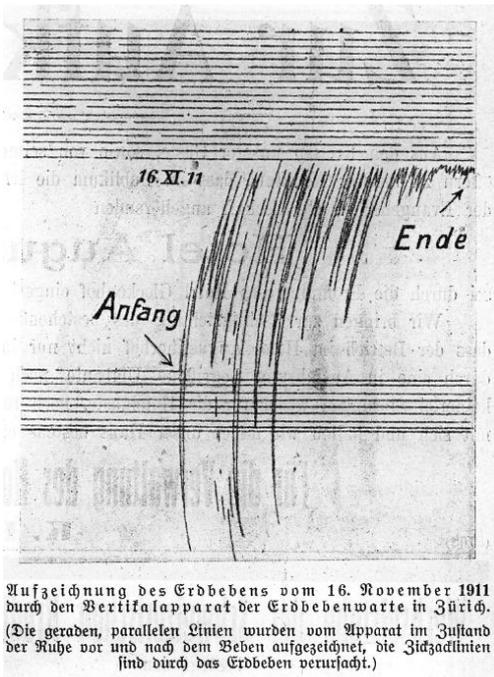


Figure 4 Sismogramme du tremblement de terre d'Albstadt dans le sud de l'Allemagne (magnitude 6.1) du 16.11.1911, enregistré à la station sismique de Zurich (source : Quervain, 1911 in Grolimund, R., & D. Fäh, 2021).

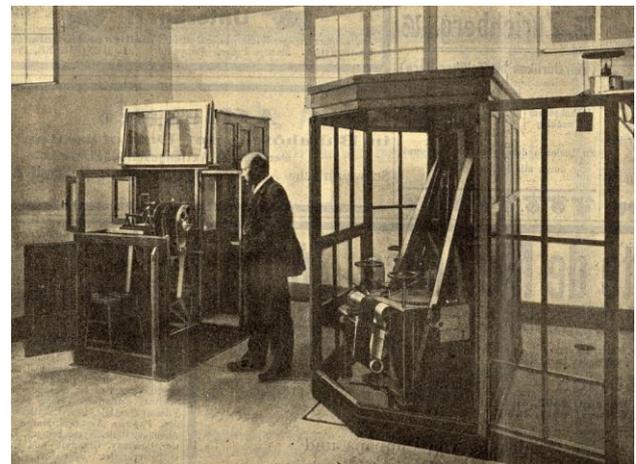


Figure 5 Salle des instruments de l'époque de la station sismique de Degenried à Zurich. A gauche le sismographe vertical, à droite le sismographe horizontal (source : Quervain, 1911 in Grolimund, R., & D. Fäh, 2021).

Les sismomètres utilisés aujourd'hui sont des appareils électromécaniques très sensibles qui détectent des mouvements du sol de l'ordre de quelques **nanomètres** (10^{-9} mètres). A titre de comparaison, un cheveu humain a un diamètre d'environ 70'000 nanomètres !

Outre l'enregistrement et la caractérisation des tremblements de terre, les sismomètres sont aujourd'hui également utilisés pour de nombreuses autres applications, par exemple, pour détecter les mouvements souterrains de magma, étudier la structure du sous-sol pour des projets géothermiques ou surveiller les essais nucléaires.

1.1 Types de sismomètres

Plusieurs facteurs influencent le choix du sismomètre approprié. Outre le coût et l'emplacement, la sensibilité de l'appareil est déterminante. Selon l'utilisation prévue, il peut être décisif de savoir si le sismomètre est plus sensible à la vitesse ou à l'accélération, car ces deux paramètres permettent de détecter au mieux différents événements sismiques (p. ex. séismes locaux faibles vs séismes locaux forts).



Figure 6 Une des plus de 200 stations sismiques que le SED a installé en Suisse.



Figure 7 Un sismomètre à large bande très sensible, capable d'enregistrer les plus faibles vibrations du sol (vitesses). Les sismomètres à large bande sont particulièrement bien adaptés à l'enregistrement de séismes locaux de faible intensité, de séismes régionaux d'intensité moyenne et de séismes mondiaux d'intensité moyenne à forte.



Figure 8 Accéléromètre (capteur d'accélération), capable d'enregistrer principalement les fortes secousses du sol. Les accéléromètres sont utilisés pour enregistrer les tremblements de terre locaux de moyenne et forte intensité.



Figure 9 Un sismomètre Raspberry Shake bon marché de type RS3D, qui a notamment été installé dans plus de 40 écoles suisses dans le cadre du programme seismo@school. © Raspberryshake.org

1.2 Réseau sismique suisse

Il y a un réseau de plus de 200 stations sismiques en Suisse (Figure 10). Le réseau national suisse (CHNet) comprend différents types de stations.

▲ Sismomètre à large bande & sismomètre à courte période

Réseau ultrasensible pour l'enregistrement des plus petites secousses.

Installé de préférence dans des zones calmes sur une surface rocheuse solide.

▲ Sismomètre à fort mouvement (Accéléromètre)

Pour l'enregistrement de forts séismes (à partir d'une magnitude de 2,5).

Installé dans des régions et des zones d'habitation particulièrement vulnérables.

Stations temporaires
(pas représentées sur la carte)

Pour densifier le réseau en cas de sismicité naturelle élevée ou pour surveiller des projets spéciaux tels que la géothermie, la construction de tunnels, ou de barrages.

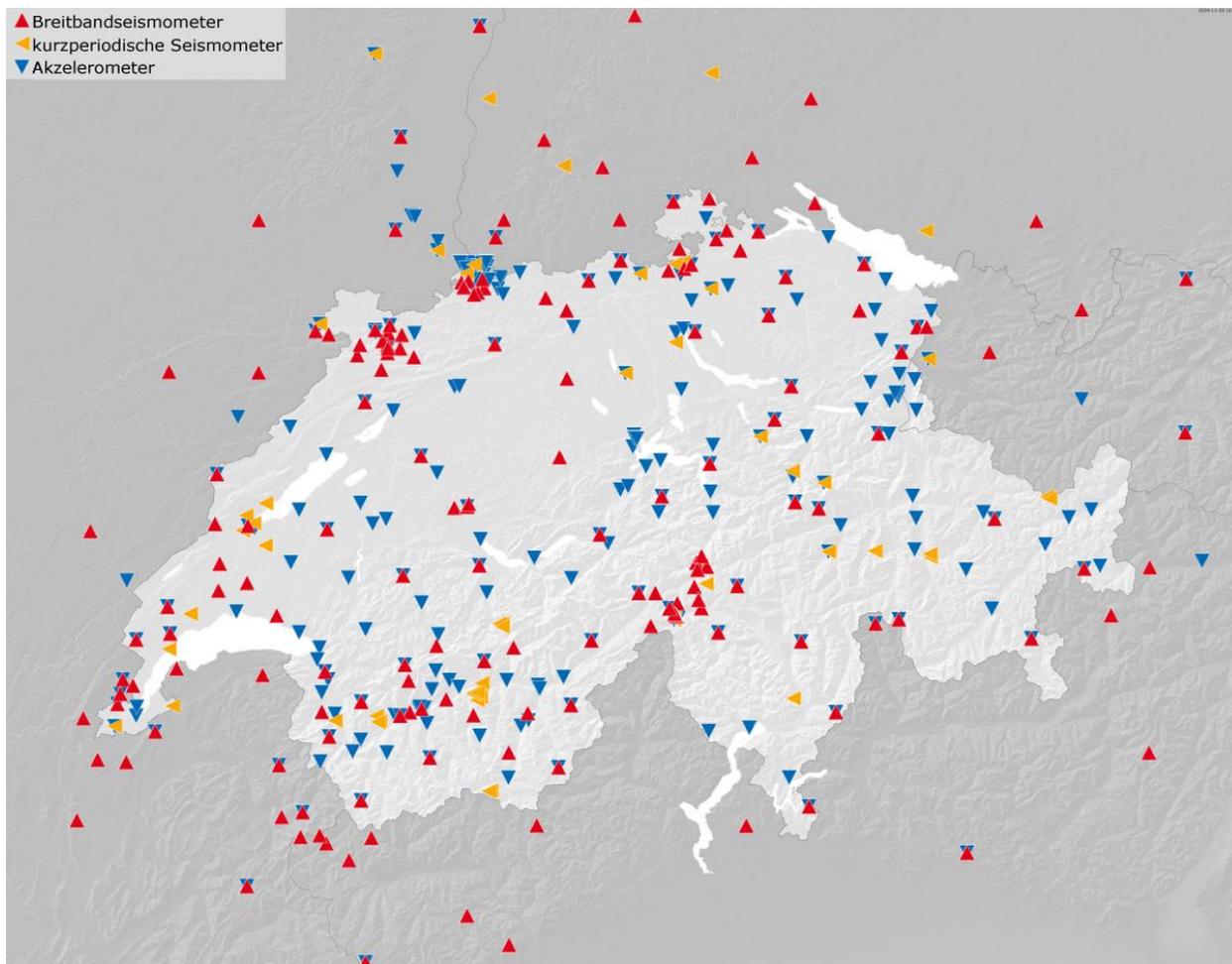


Figure 10 Carte de toutes les stations de surveillance sismique en temps réel utilisées par le SED en Suisse et dans les régions limitrophes. De plus, le SED exploite des stations temporaires pour des projets spécifiques, comme la surveillance des activités sismiques lors de forages pour des projets géothermiques (état au 20.11.2024).

Les données des stations sismiques sont transmises en temps quasi-réel au SED, où elles sont d'abord analysées automatiquement puis, peu de temps après, manuellement par des sismologues. Les tremblements de terre à proximité des frontières peuvent également causer des dégâts en Suisse. C'est pourquoi plusieurs stations sismiques sont installées dans les régions limitrophes et l'échange transfrontalier de données est encouragé. Plus il y a de stations qui enregistrent un tremblement de terre, plus le séisme peut être localisé avec précision.

2. Localisation des séismes

La triangulation est une méthode simple pour localiser approximativement un tremblement de terre, c'est-à-dire pour déterminer son emplacement : épicentre et hypocentre¹. Les ondes P et S sont des facteurs importants pour la localisation. Elles se propagent depuis le foyer du séisme (= hypocentre) à travers le sous-sol à des vitesses différentes et atteignent donc les stations sismiques à des moments différents.

- Les **ondes P** (ondes primaires) ont une vitesse moyenne d'environ **5,8 km/s** (kilomètres par seconde ; équivalent à 5'800 m/s) dans la croûte terrestre et sont donc les premières à atteindre la station sismique.
- Les **ondes S** (ondes secondaires) sont un peu plus lentes, avec environ **3,4 km/s** (ce qui correspond à 3'500 m/s), et atteignent donc la station un peu plus tard.

L'intervalle de temps entre l'arrivée des ondes S et P à une station, (**ts-tp**), peut être déterminé à partir du sismogramme et est caractéristique d'une distance donnée de la station par rapport au séisme (Figure 11).

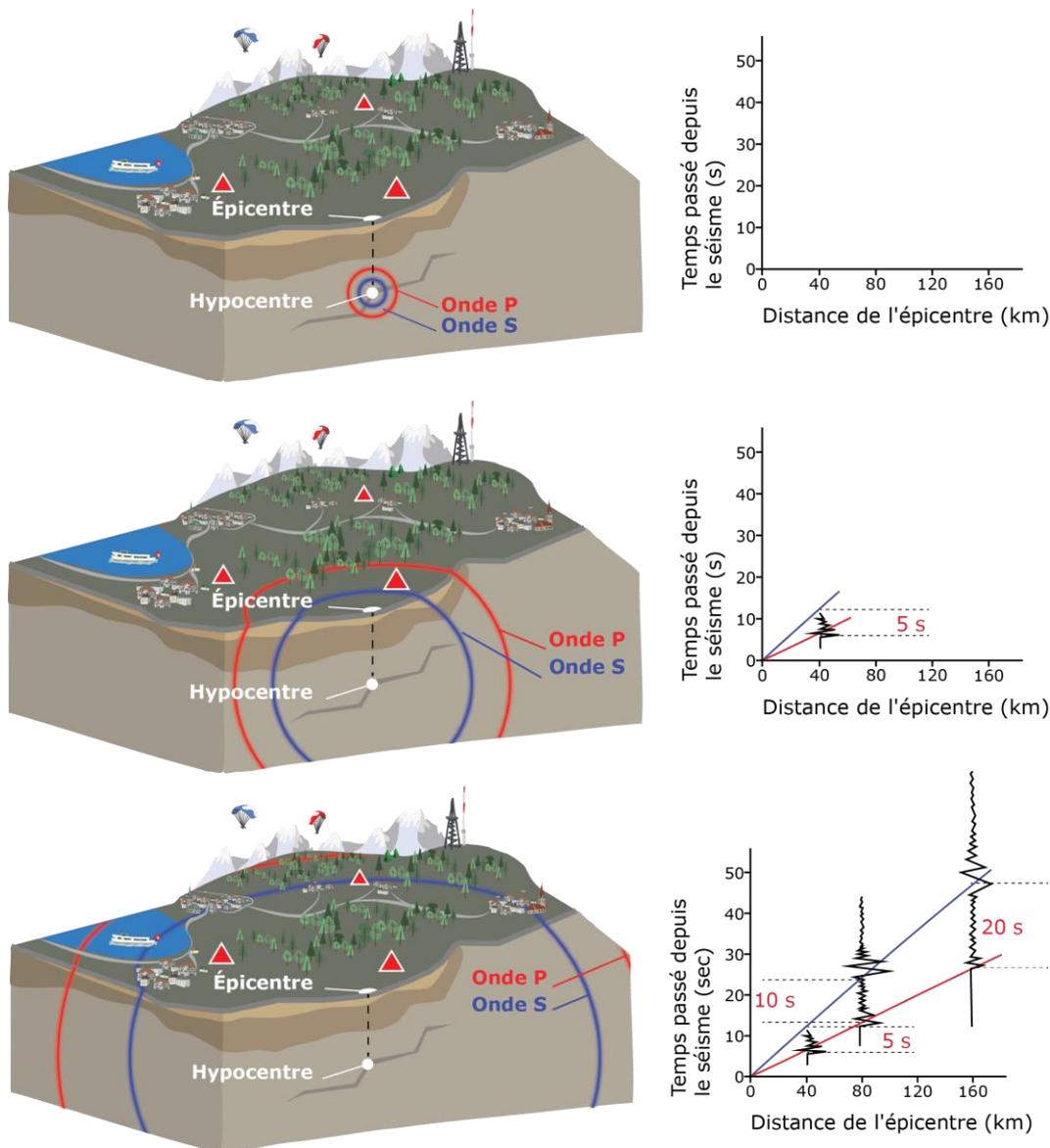


Figure 11 L'écart temporel entre les arrivées des P et S est caractéristique de la distance respective entre le séisme et la station.

¹ Hypocentre : lieu d'origine d'un séisme à l'intérieur de la Terre ; épocentre : lieu situé à la surface de la Terre, à la verticale de l'hypocentre.

Par exemple, si l'intervalle de temps entre les ondes S et P est de 1 seconde, le séisme est à environ 8,2 km de la station. Pour 2 secondes, il est de 16,4 km, pour 3 secondes de 24,6 km et ainsi de suite.

De manière générale, on peut estimer la distance **D** (en kilomètres) entre le séisme et la station au moyen de la formule **$D=8.2*(t_s-t_p)$** et la tracer sous la forme d'un cercle de **rayon D** autour de la station (Figure 12) : Le séisme doit s'être produit en un point quelconque de ce cercle. Si l'on répète cette procédure pour au moins deux autres stations, les cercles se croiseront en un point. Cela signifie qu'il existe une solution commune. C'est là, à l'intersection des cercles, que se trouve l'épicentre du séisme. Pour déterminer l'hypocentre du séisme, il faut au moins une quatrième station. Pour cela, on calcule à nouveau les distances pour toutes les stations, mais cette fois-ci dans toutes les directions – pas seulement en surface (sous forme de cercles), mais aussi en profondeur (sous forme de sphères). L'intersection de ces sphères indique la position de l'hypocentre.

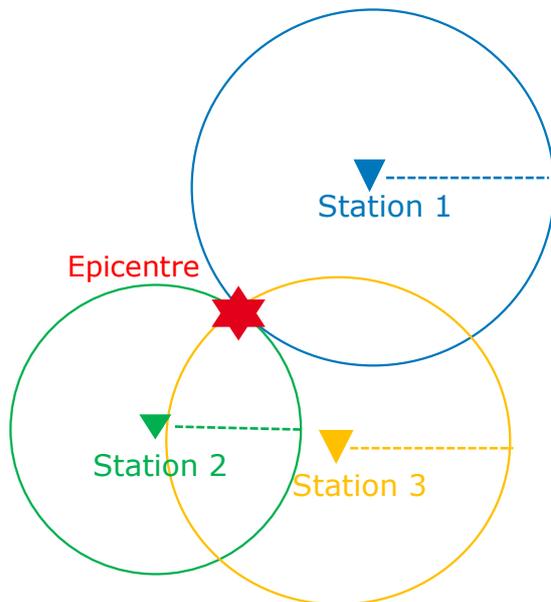


Figure 12 Le principe de la triangulation pour la localisation des séismes à la surface de la terre (épicentre).

D'où vient cette formule ?

$$t_s - t_p = D / V_s - D / V_p$$

$$= D(1 / V_s - 1 / V_p)$$

Par conséquent,

$$D = (t_s - t_p) / (1 / V_s - 1 / V_p)$$

$$= (t_s - t_p) / (1 / 3.4 - 1 / 5.8)$$

$$= (t_s - t_p) 8.2 \text{ km/s}$$

t_p : Temps d'arrivée de l'onde P

t_s : Temps d'arrivée de l'onde S

V_p : Vitesse moyenne de l'onde P (5,8 km/s)

V_s : Vitesse moyenne des ondes S (3,4 km/s)

D: Distance entre le séisme et

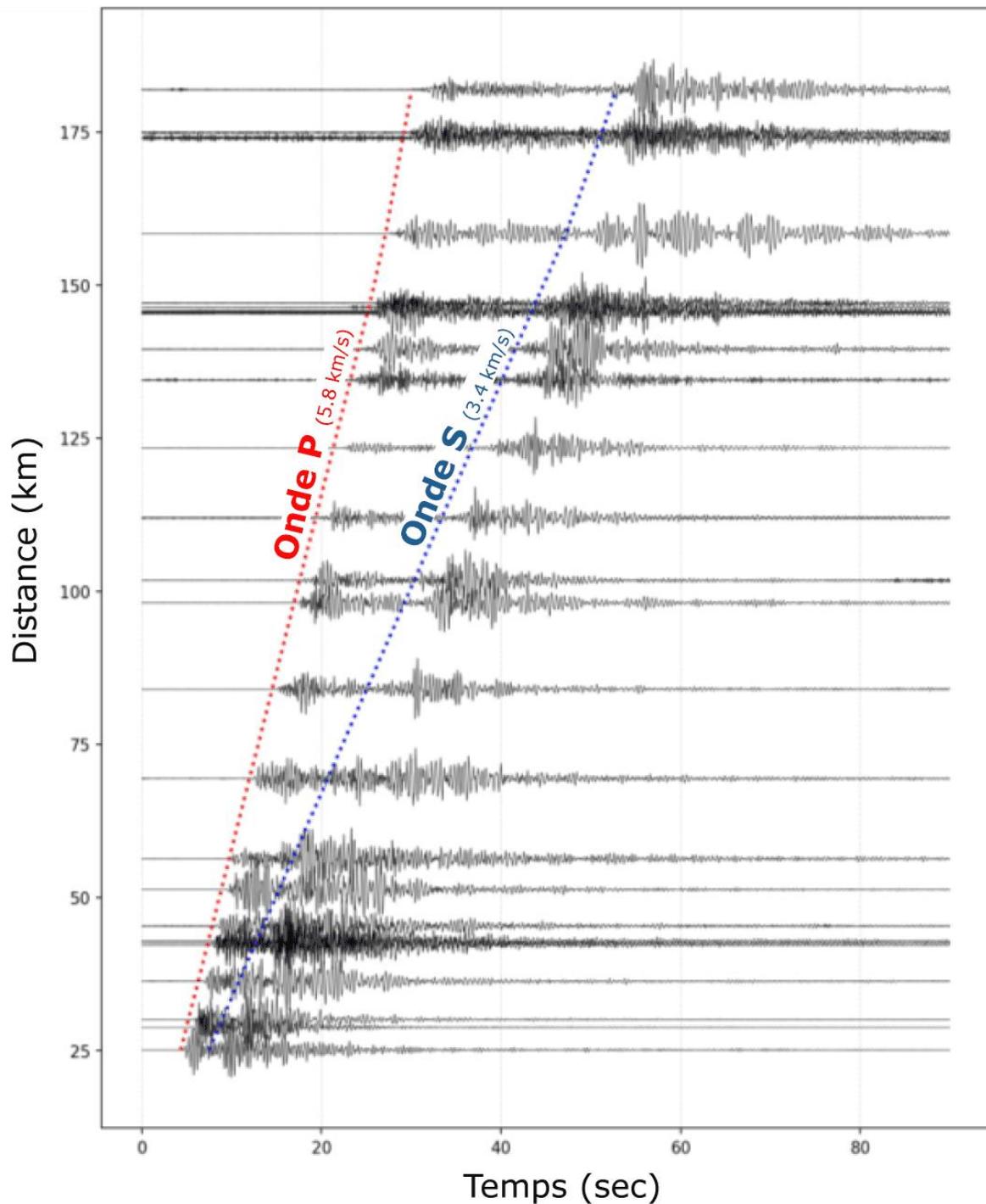
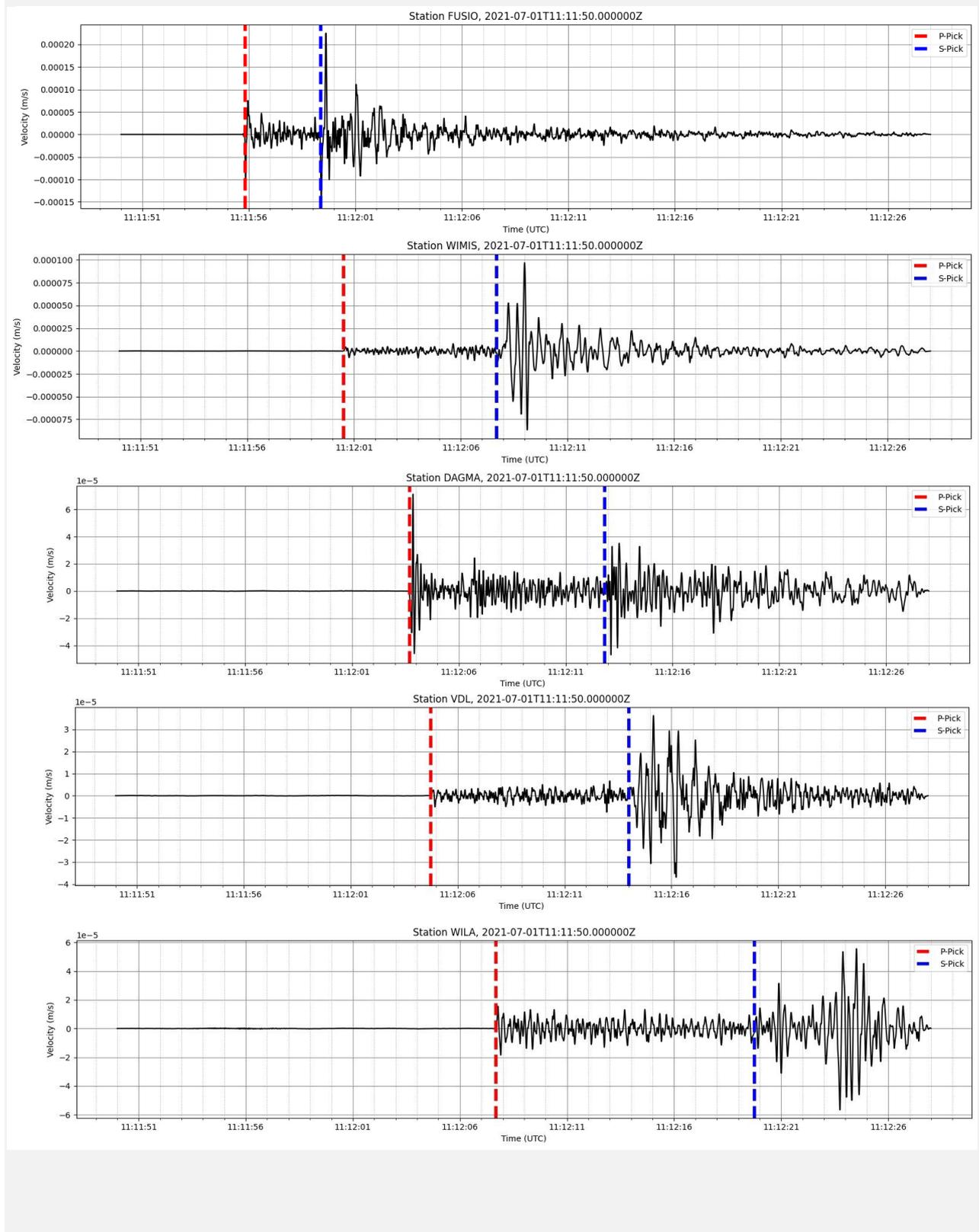


Figure 13 Plusieurs stations sismique en Suisse ont enregistré le tremblement de terre dans la partie supérieure de la vallée de la Sihl (SZ) le 4 juin 2024, ce qui a permis d'obtenir ces sismogrammes. L'axe des y indique la distance entre les stations et l'épicentre, tandis que l'axe des x représente l'évolution temporelle des mouvements du sol enregistrés à chaque station. Plus une station est éloignée de l'épicentre, plus les ondes P et S y arrivent tardivement. L'intervalle de temps entre l'arrivée des deux ondes augmente avec la distance en raison de leurs vitesses différentes.

Exercice 1 : Localiser les tremblements de terre

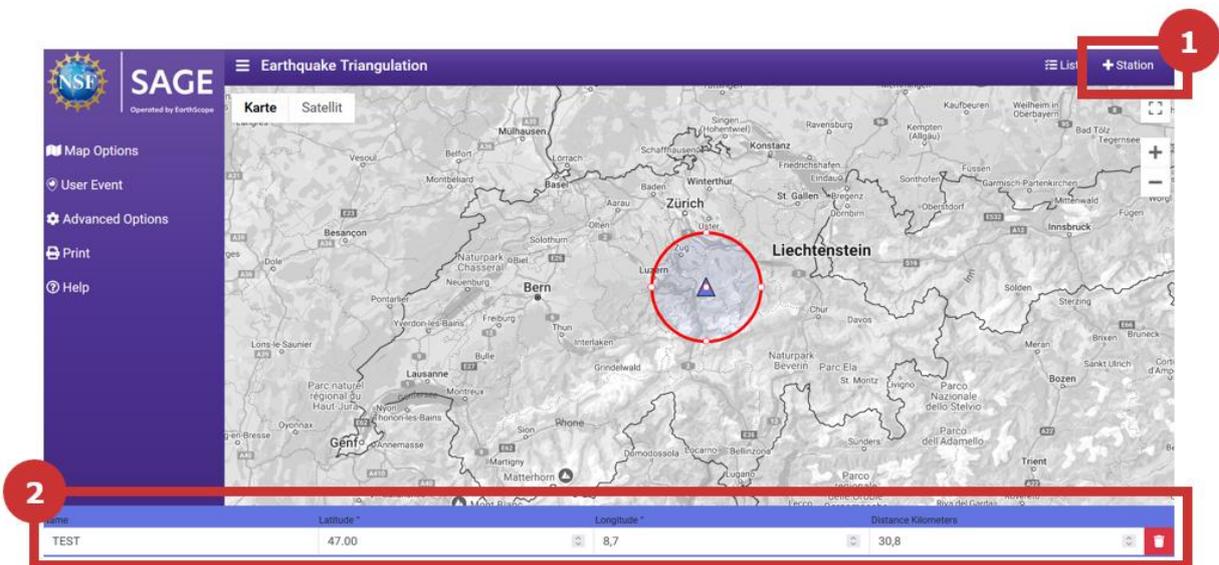
Tu peux voir ici les sismogrammes enregistrés par cinq sismomètres lors d'un tremblement de terre en Suisse. Les traits rouges indiquent l'arrivée des ondes P et les traits bleus, celle des ondes S.



1. Détermine les heures d'arrivée des ondes P et S pour au moins 3 stations et remplis le tableau :

Nom de la station Latitude et longitude	Intervalle de temps (secondes) ts-tp	Distance D (kilomètres) D=8.2 *(ts-tp)
FUSIO (46.46°N ; 8.66°E)		
WIMIS (46.67°N ; 7.62°E)		
DAGMA (47.23°N ; 8.01°E)		
VDL (46.48°N ; 9.45°E)		
WILA (47.42°N ; 8.91°E)		

2. Va maintenant sur le site Internet suivant : <https://dev.iris.edu/app/triangulation>.
3. Clique sur « +Station » en haut à droite. Une fenêtre pop-up devrait alors s'ouvrir en bas de la page.
4. Pour chaque station que tu as déterminée dans le tableau ci-dessus, inscris son nom, sa latitude et sa longitude, ainsi que la distance D.
5. Tu devrais maintenant voir un triangle et un cercle sur la carte. Zoomez sur la carte :



Les cercles se croisent-ils en un point ? Alors, c'est là que se trouve l'épicentre du séisme. Si ce n'est pas le cas, tu devrais vérifier à nouveau les calculs du tableau ci-dessus et, le cas échéant, localiser à nouveau le séisme.

Le séisme a eu lieu le 1er juillet 2021 à 11:11:50 UTC. Regarde maintenant sur le site du Service Sismologique Suisse (www.seismo.ethz.ch) si tu peux y trouver le séisme. As-tu correctement localisé le séisme ? Cherche sur le site web d'autres informations sur le séisme (magnitude, ShakeMap, ...).

La triangulation est une méthode simple mais imprécise de localisation des séismes, qui n'est donc pas utilisée dans la pratique. La principale raison en est qu'il est difficile de connaître le moment exact de l'arrivée des ondes P et S sur le sismogramme. En outre, les ondes sismiques se propagent dans le sous-sol de manière très complexe, car les différentes couches de roches ont des épaisseurs différentes et les ondes s'y propagent à des vitesses différentes. Dans la pratique, les sismologues, ou plutôt les programmes informatiques, mesurent généralement les temps d'arrivée des ondes P à de nombreuses stations différentes. A l'aide de modèles locaux du sous-sol, basés sur de nombreuses données de séismes antérieurs, ils peuvent calculer l'endroit exact où le séisme s'est produit.



Plus d'informations

Autres outils de localisation de tremblements de terre d'EarthScope : www.iris.edu/app/eq-locate/method

3. Raspberry Shake

Le Raspberry Shake est un sismomètre bon marché qui peut mesurer les mouvements du sol. La précision de mesure du Raspberry Shake est inférieure à celle d'un sismomètre professionnel. Toutefois, en raison de son faible coût et de sa simplicité d'utilisation, il peut être utilisé par des amateurs.

Le Raspberry Shake (modèle RS1D ou RS3D) se compose de deux éléments principaux :

- **1 ou 3 capteurs de haute précision** (géophones)
Ils mesurent le mouvement du sol (plus précisément la vitesse de déplacement du sol), soit dans le sens vertical, soit dans le sens vertical et horizontal, selon le type d'appareil.
- **1 convertisseur analogique-numérique**
Il convertit les données enregistrées de manière analogique par les capteurs en signaux numériques qui peuvent être traités par des ordinateurs.

Lorsqu'un aimant se déplace dans une bobine, un courant électrique est généré (*induit*) dans la bobine. Un **géophone** fonctionne également selon ce principe. Une bobine est suspendue à un ressort et l'aimant se trouve à l'intérieur de la bobine. Les mouvements du sous-sol font également bouger l'aimant dans la bobine, ce qui génère un signal électrique.

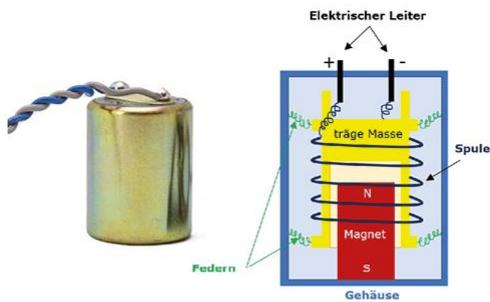
Le **convertisseur analogique-numérique** convertit ce signal électrique en un signal numérique qui peut être traité par des ordinateurs. La Figure 15 donne un aperçu des principaux composants du Raspberry Shake et de leur fonction.



Figure 14 Raspberry Shake RS3D © Raspberryshake.org

DONNÉES ANALOGIQUES

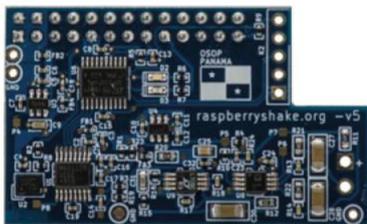
Le capteur convertit les mouvements du sol en tension électrique.



Le capteur contient un aimant dans une bobine. L'aimant est relié au boîtier et donc au sol. La bobine est suspendue à des ressorts avec un poids (masse inerte) et entoure l'aimant sans le toucher. Si le sol bouge, l'aimant se déplace à l'intérieur de la bobine, qui reste immobile. Cela génère un courant électrique dans la bobine.



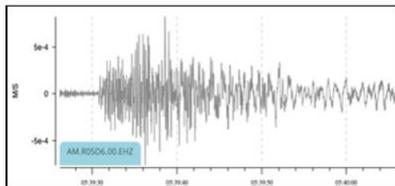
DONNÉES NUMÉRIQUES



Le courant dans la bobine est converti par un **numériseur** en un signal qui peut être traité par l'ordinateur et affiché sous la forme d'un sismogramme.



SISMOGRAMME



Sismogramme (composante verticale) du tremblement de terre du 5 octobre 2021 à Arolla (VS) d'une magnitude de 4,1, enregistré avec un sismomètre RaspberryShake à une distance d'environ 30 kilomètres de l'épicentre.



ACCÈS AU WEB



Toutes les données des sismomètres Raspberry Shake du monde entier sont disponibles sur le site web à l'adresse suivante www.raspberrysshake.org.

Figure 15 Aperçu du fonctionnement d'un sismomètre Raspberry Shake. (Source des images : https://edu.raspberrysshake.org/wp-content/uploads/2020/01/Lesson-1_-_Lets-get-Shaking-Presentation.pdf ; 30.12.2024)

3.1 Réseau scolaire Raspberry Shake de Suisse

Dans le cadre du programme seismo@school, nous avons équipé de nombreux gymnases et écoles cantonales de Suisse d'un sismomètre Raspberry Shake, qui enregistre en continu les mouvements de la terre. Ces appareils enregistrent les tremblements de terre en Suisse et dans le monde. Le [site web Raspberry Shake²](https://stationview.raspberrypi.org) permet de consulter les données sismiques de plus de 2'000 capteurs dans le monde entier.



Figure 16 Réseau sismique scolaire de Suisse, développé dans le cadre du projet seismo@school. Vue interactive de la carte : sas-viewer.ethz.ch.

Ton école participe-t-elle au projet seismo@school Suisse ? Si oui, tu trouveras le nom de la station du sismomètre Raspberry Shake de ton école dans le tableau de la page suivante. Mais tu peux aussi choisir n'importe quel autre Raspberry Shake pour les exercices suivants.

Plus d'informations

Projet Seismo@school Suisse : www.seismo.ethz.ch/fr/research-and-teaching/projects/seismo-at-school



² <https://stationview.raspberrypi.org>

Station	Lieu	Station	Lieu
RA652	CO d' Anniviers	R5D35	ES Nyon-Marens
S7A06	École de l' Arpille	R19BB	Gymnase de Haute-Argovie
RB15C	CO Ayent	RDFB5	Gymnase d'Oberwil
R65E9	EPS de Begnins - L'Esplanade	S3900	CO Orsières
R0CD2	EPS Bergières	R46E5	ES du Pays-d'Enhaut
S8C09	Gymnase Bienne-Seeland Bienne	RA83F	CO des Perraires
RB22F	École cantonale des Grisons, Coire	R7DBB	Lycée de mathématiques et de sciences naturelles de Rämibühl
R8710	EPS Ecublens	R58D2	École cantonale de Romanshorn
R5BF0	Collège/EPS de l' Élysée	RF726	École cantonale Rychenberg , Winterthur
RD3C4	École cantonale Enge Zurich	R2D50	CO Savièse
R3B57	EPS Grandson	R05D6	Sion CPPS HES-SO
RB289	CO Hérens	RFE6B	École cantonale de Soleure
RE5E7	École cantonale Hottingen Zurich	R103E	École cantonale de Saint-Gall
RC23B	École cantonale de Küsnacht	R7694	CO St-Guérin
RC676	Espace des Inventions Lausanne	R1F5E	ES St-Imier
R8E4D	ES de La Sarraz et environs	R52F7	ES des Trois-Sapins
R3BDC	Collège du Léman	R4335	Gymnase Unterstrass
RE4DE	EPS Les Ormonts-Leysin	R8F49	École cantonale d'Uri
RA7C7	CO Leytron	RF727	EPSCS Collège du Verney
RE4EF	CO des Liddes	R4AF0	École cantonale de Wattwil
RDFB5	Gymnase de Liestal	RF726	École cantonale de l'Oberland zurichois, Wetzikon
		R3BE0	École cantonale de Zoug

3.2 Carte des stations et données en temps réel

En quelques clics, il est possible de consulter les données en temps réel de n'importe quelle station Raspberry Shake.

- Aller à la carte interactive de la station Raspberry Shake : <https://stationview.raspberrysshake.org>.
- Ici, tu peux voir une carte avec tous les Raspberry Shake accessibles au public dans le monde entier.
- Clique sur « **Stations** » dans le menu et saisis le nom de n'importe quelle station du tableau ci-dessus (par exemple R8710).
- En cliquant sur le nom de la station, les données enregistrées de la station apparaissent maintenant : sur le côté droit de la fenêtre du navigateur, tu peux voir les vibrations du sol que la Raspberry Shake est en train d'enregistrer (avec un petit retard).

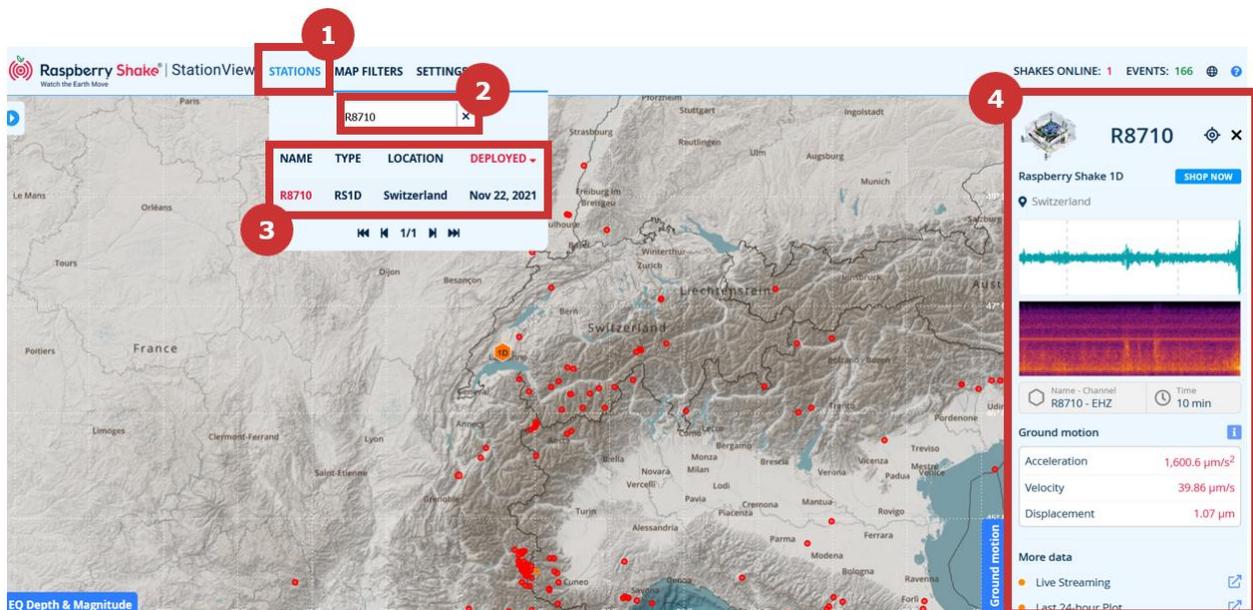


Figure 17 Voici comment accéder aux données en temps réel d'un sismomètre Raspberry Shake via la carte interactive des stations du Raspberry Shake (stationview.raspberrysshake.org). Les stations ont des symboles différents : les sismomètres « 3D » enregistrent les 3 directions (1 verticale, 2 horizontales) du mouvement du sol. « 1D » sismomètres n'enregistrent que le mouvement vertical (c'est-à-dire vers le haut et vers le bas).

3.3 Sismogramme, spectrogramme et fréquence

Pour afficher les enregistrements en grand, clique sur l'icône  à côté de « **Live Streaming** ». Un nouvel onglet s'ouvrira alors dans ton navigateur (voir Figure 18).

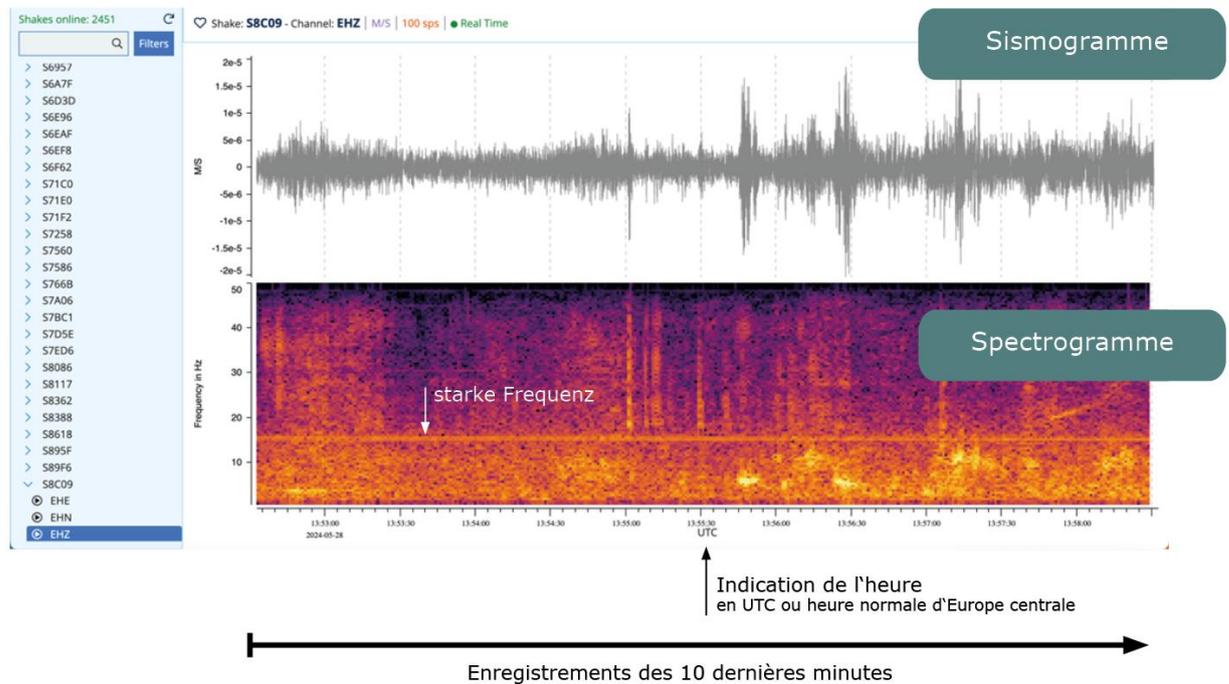


Figure 18 Live-Streaming de la station S8C09 dans le navigateur web. Le sismogramme est affiché en haut et le spectrogramme en bas. L'axe temporel (ici UTC - Coordinated Universal Time) va de gauche à droite. Sur le côté gauche, tu peux voir une liste de tous les Raspberry Shakes disponibles.

La partie du haut de la page web affiche le sismogramme, celle du bas le spectrogramme. Ces deux graphiques montrent comment les **mouvements du sol et leurs fréquences changent** avec le temps. Le temps s'écoule de gauche à droite. En cliquant sur l'heure affichée, tu peux passer de l'heure UTC (temps universel coordonné) à l'heure utilisée en Suisse (heure d'Europe centrale, été ou hiver).

La fréquence correspond au nombre de vibrations du sol par seconde. Plus le sol bouge rapidement, que ce soit de haut en bas ou d'avant en arrière, plus la fréquence est élevée. Sur le spectrogramme, les fréquences les plus intenses apparaissent en couleurs claires.

Dans l'exemple de la Figure 18, on observe que des fréquences d'environ 15 Hertz (Hz) ont été activées en continu entre 13:52:30 et 13:58:30. Cela se voit clairement grâce à la ligne horizontale sur le spectrogramme. « 15 Hertz » signifie que le sol vibre 15 fois par seconde.

3.4 Héliplot : le sismogramme sur 24 heures

Un héliplot affiche les mouvements du sol sur une longue période de temps. Comme le montre la figure 19, chaque ligne correspond à environ 30 minutes d'enregistrement, lue de gauche à droite. L'ensemble des lignes représente les dernières 24 heures, de haut en bas.

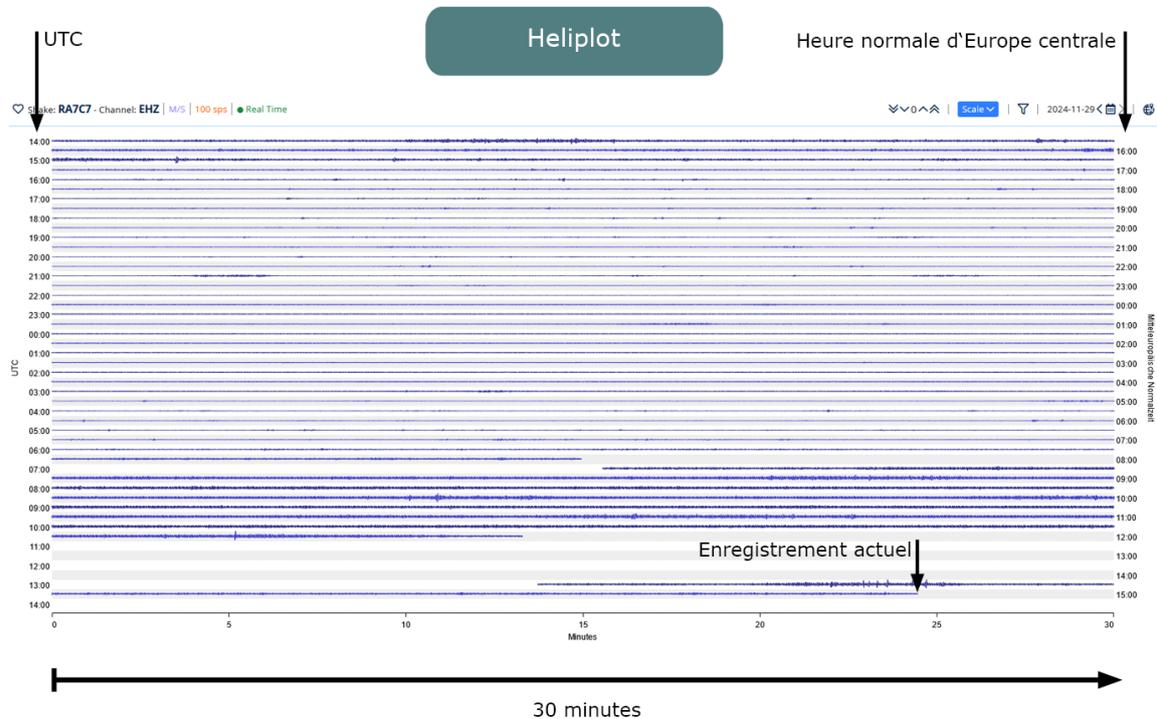


Figure 19 Héliplot (sismogramme sur 24 heures) de la station RA7C7, enregistré le 29 novembre 2024.

1. Dans le livestreaming de la station sélectionnée, clique sur l'icône  située en haut à droite.
2. Tu peux maintenant voir, en un coup d'œil, tous les enregistrements (sismogrammes) des dernières 24 heures du Raspberry Shake, comme dans l'exemple de la Figure 19 .

Le plus simple est de te repérer grâce à l'axe du temps situé à droite de l'héliplot, affiché en heure d'Europe centrale (été ou hiver), comme en Suisse. Tu peux cliquer n'importe où sur l'héliplot pour afficher cette partie en plus grand, tout en haut de la page. Tu peux aussi zoomer et dézoomer en faisant défiler la page.

Exercice 2 : Sismogramme en direct, spectrogramme et héliplots

Regarde attentivement le sismogramme et le spectrogramme en direct de n'importe quel Raspberry Shake. Le mieux est de choisir une station du réseau scolaire Raspberry Shake de Suisse (voir tableau ci-dessus).

1. Décris ce que tu remarques. Fais une ou plusieurs captures d'écran.

2. Qu'est-ce qui pourrait être à l'origine des vibrations enregistrées par le Raspberry Shake ? Si tu te trouves à proximité du Raspberry Shake, tu peux sauter et voir si les secousses sont enregistrées.

Attention : il y a un petit délai avant que tu ne puisses voir ton saut dans le live streaming. Si les secousses sont trop fortes, les amplitudes peuvent "clipper", c'est-à-dire que les valeurs mesurées dépasseront la plage de mesure maximale et que le mouvement ne sera plus représenté correctement).

Exercice 3 : Reconnaître les tremblements de terre

Les **Figure 20** et **Figure 21** présentent deux héliplots enregistrés par un Raspberry Shake en Suisse, respectivement le 1er janvier 2024 et le 27 février 2024.

Dans chacun de ces héliplots, un tremblement de terre est « caché ».

1. Parviens-tu à repérer le séisme ?
2. En quoi les enregistrements de ces deux tremblements de terre sont-ils différents ?

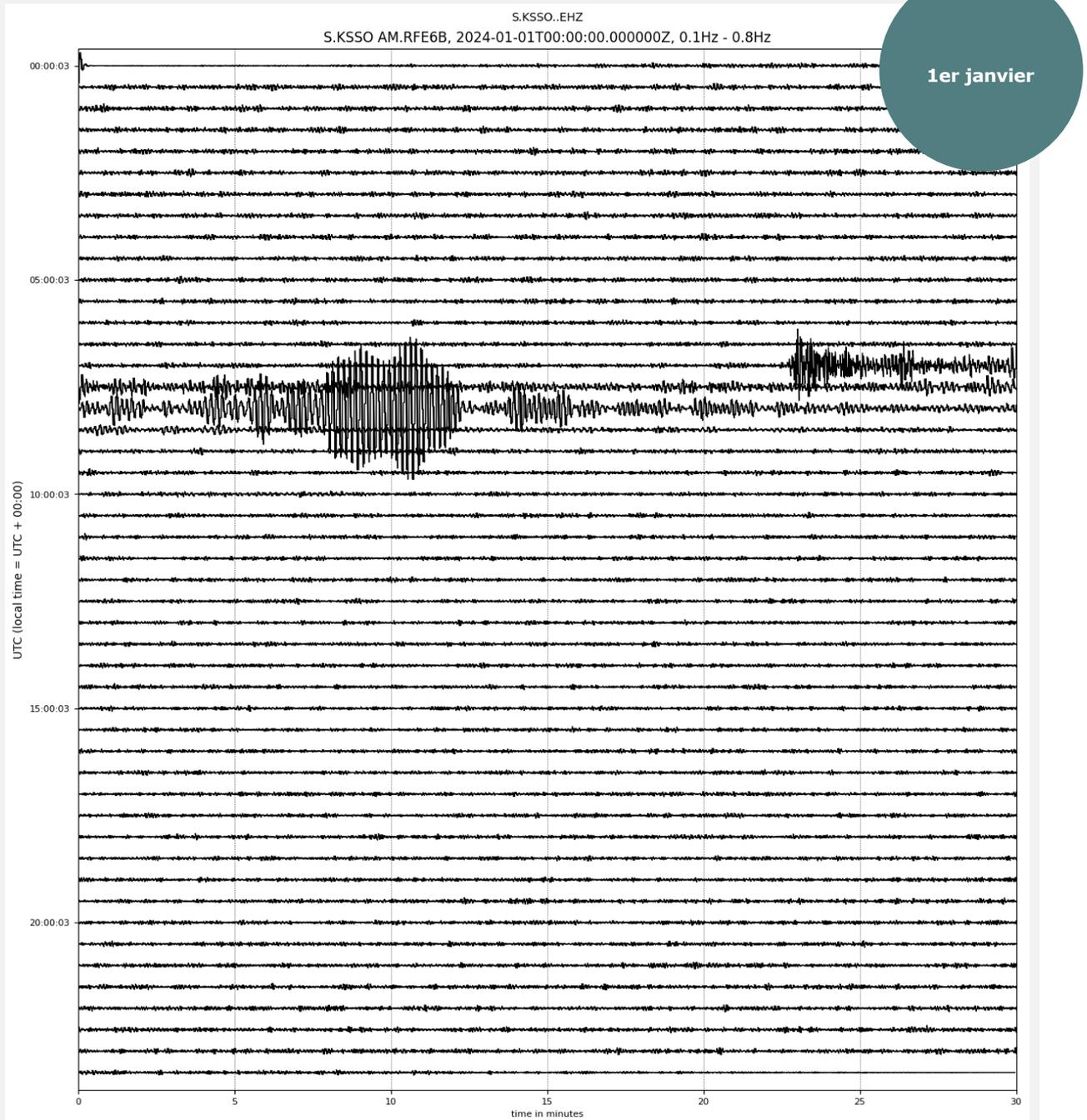
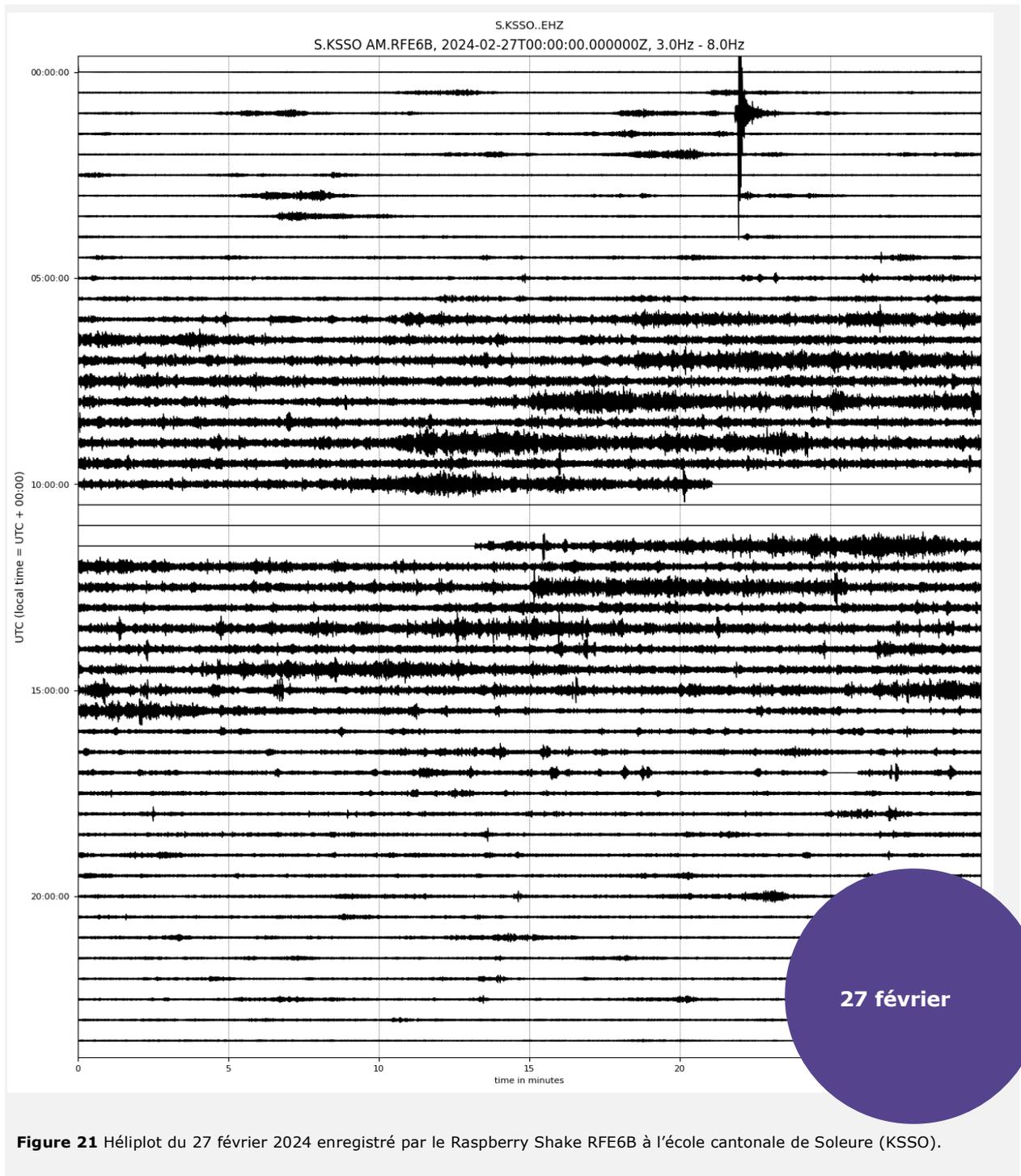


Figure 20 Héliplot du 1er janvier 2024 enregistré par le Raspberry Shake RFE6B à l'école cantonale de Soleure (KSSO).



3.5 Bruit sismique

Les stations sismiques enregistrent tous les mouvements du sol — pas seulement les tremblements de terre. La majorité des signaux captés provient du **bruit sismique**. Ce bruit est causé par des phénomènes naturels comme les mouvements de l’océan ou les variations de pression atmosphérique, mais aussi par des activités humaines : explosions dans des carrières, circulation, chantiers ou encore feux d’artifice.

Ce bruit, bien qu’indésirable pour certains usages, peut aussi être utile. Il permet par exemple de **cartographier le sous-sol** ou d’estimer **dans quelle mesure une région pourrait amplifier les secousses d’un séisme**.

En regardant ces données de plus près, on peut parfois reconnaître la signature d’événements spécifiques. Cela peut être un phénomène naturel, comme un éboulement, ou une activité humaine : un chantier, le passage d’un train, un avion supersonique... Même **des concerts ou des matchs de football** peuvent laisser une trace visible dans les données, lorsqu’un grand nombre de personnes bouge en rythme au même moment !.

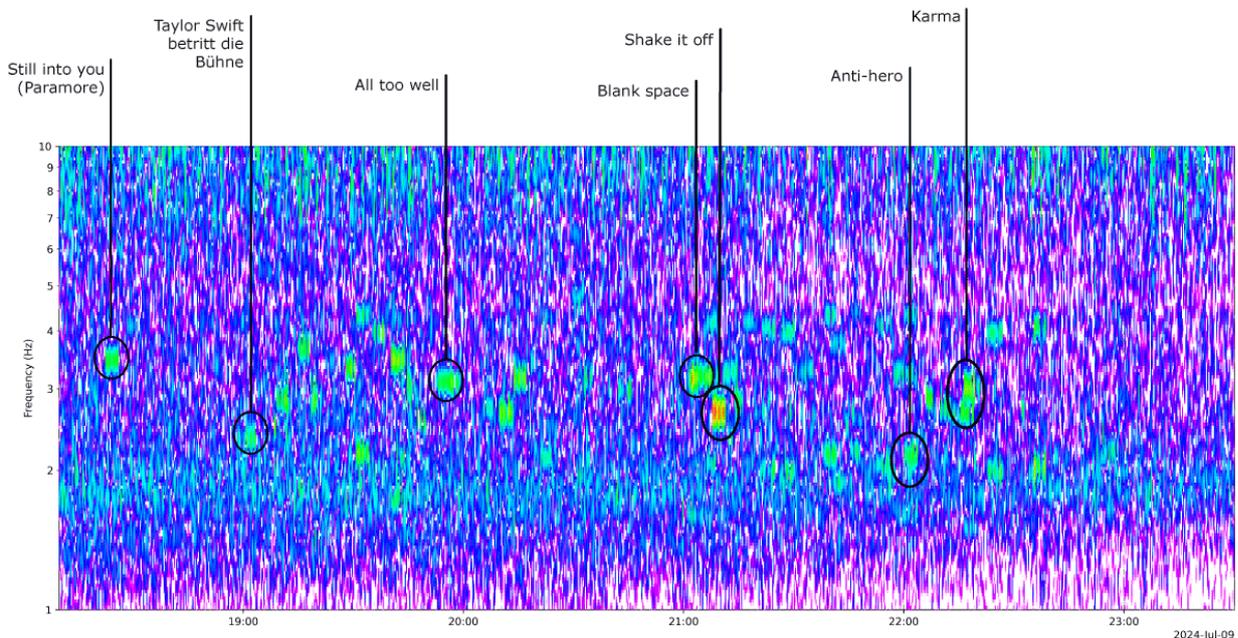


Figure 22 Vibrations enregistrées lors du concert de Taylor Swift à Zurich en juillet 2024 sous forme de spectrogramme.

Exercice 4 : Qu'est-ce que c'est ?

Notre sismomètre Raspberry Shake a enregistré non seulement des tremblements de terre, mais aussi de nombreuses autres secousses. Les sismogrammes et les spectrogrammes te permettent-ils de savoir de quoi il s'agit ?

Vers le quiz



Lien vers le quiz : <https://forms.office.com/e/w55vvtAqDb>

4. Jupyter Notebook « Raspberry Shake Switzerland »

L'application web « Jupyter Notebook Raspberry Shake Switzerland » te permet d'accéder aux données de tous les Raspberry Shake du réseau scolaire suisse.

Si tu as déjà de l'expérience en programmation Python, tu peux modifier ou étendre le code. Sinon, tu peux utiliser l'application dans un mode simplifié, comme décrit ci-dessous.

Ouvre **Jupyter Notebook Raspberry Shake Switzerland** dans ton navigateur web : https://mybinder.org/v2/gh/maboese/seismo_at_school/master

Le chargement peut prendre un moment, merci de patienter. Sur le côté gauche de la fenêtre du navigateur, différents cahiers électroniques (.ipynb) sont disponibles.

1. Double-cliquez sur **seismograms.ipynb**
2. Clique ensuite sur « **Run** » dans le menu supérieur, puis sur « **Run All Cells** ».
3. Après quelques secondes, un menu apparaît.

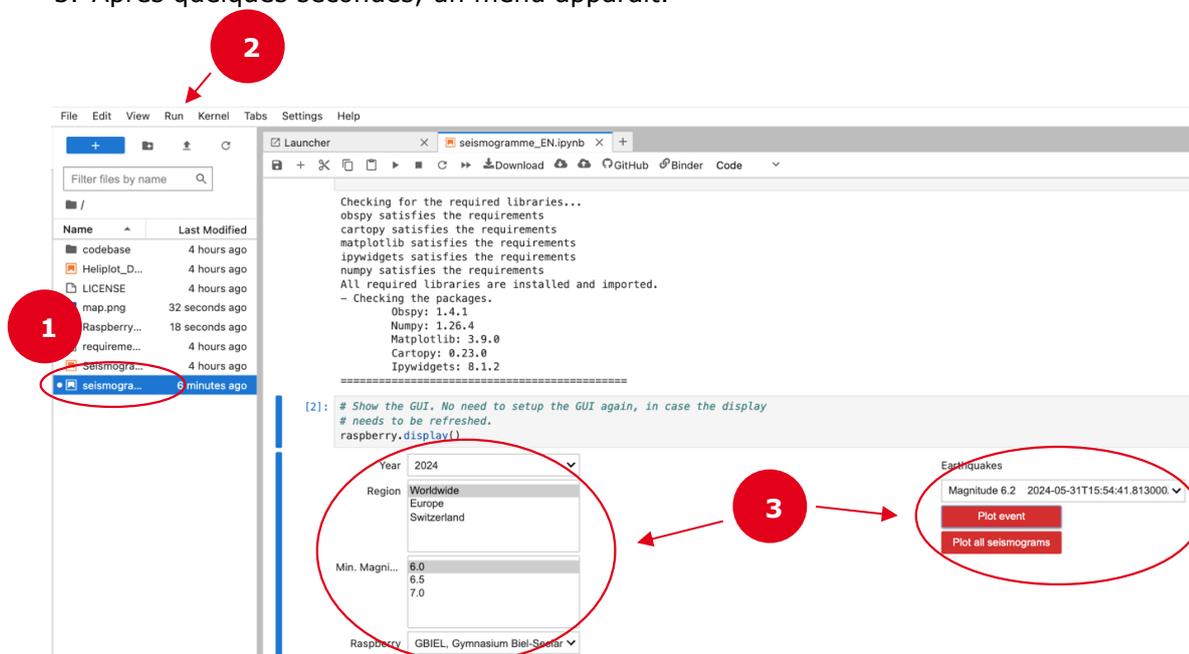
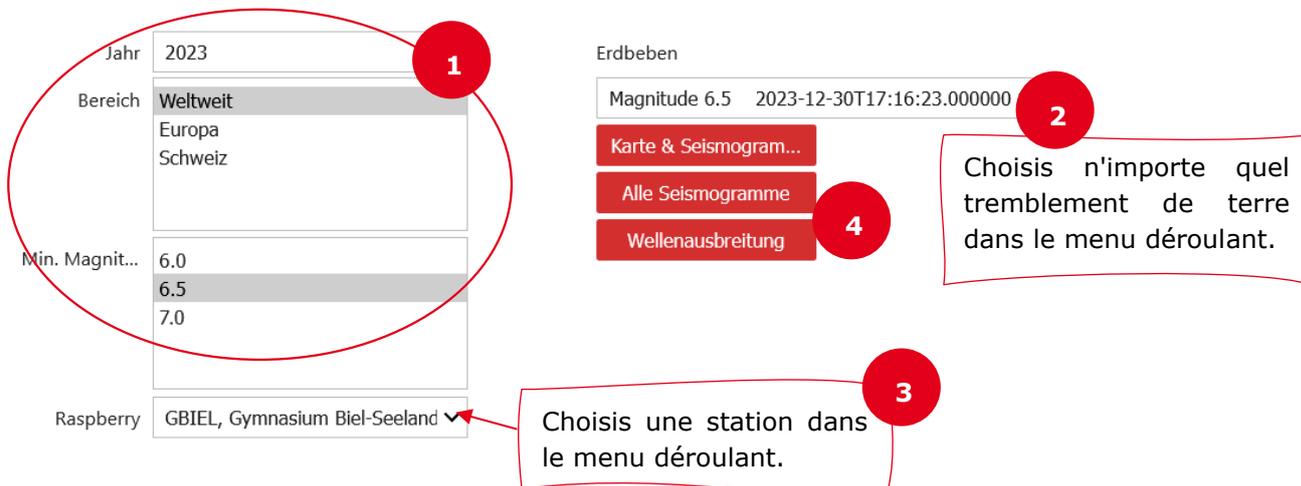
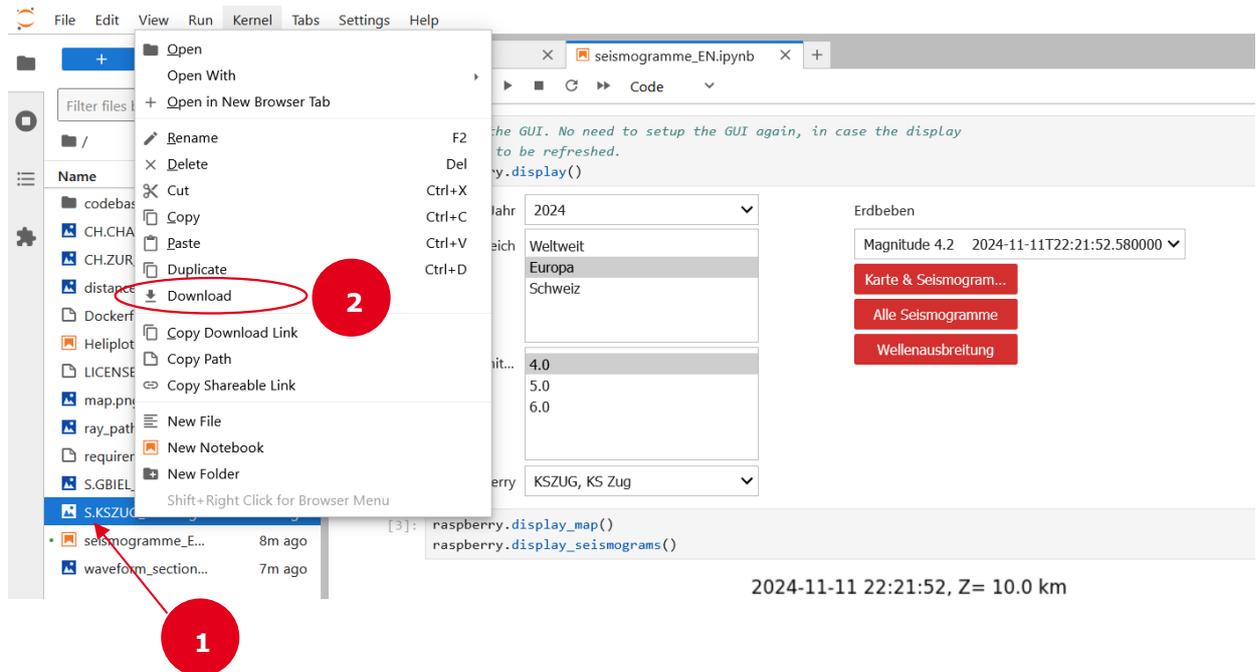


Figure 23 Capture d'écran de Jupyter Notebook.

1. Dans le menu, tu peux maintenant choisir une année (« year »), une région (« Region ») et une magnitude minimale (« Min. Magnitude ») sur le côté gauche. Sur le côté droit, tu peux voir sous « Earthquakes » quels séismes ont été trouvés à chaque fois.



2. Choisis un tremblement de terre dans cette liste.
3. Choisis également un « Raspberry Shake » sur la gauche.
4. Clique ensuite sur « Carte & sismogrammes » pour afficher une carte et les sismogrammes. Si tu veux voir les sismogrammes de tous les Raspberry Shake en même temps, clique sur « Tous les sismogrammes ». Remarque : parfois, l'affichage de la carte et des sismogrammes peut prendre quelques secondes, car les données doivent d'abord être téléchargées du serveur.
5. Les cartes et les sismogrammes sont automatiquement sauvegardés sous forme de fichiers image « .png ». Tu peux télécharger les images dans la liste de gauche en cliquant sur le bouton droit de la souris et en sélectionnant « Download ».



Exercice 5 : Analyser des séismes à l'aide des données en ligne – notebook Jupyter

1. Recherche de séismes

Modifie les paramètres de recherche pour répondre aux deux questions suivantes :

- Quel a été le plus fort tremblement de terre dans le monde en 2024 ? (Recherche : « tremblement de terre mondial »)
- Quel a été le plus fort séisme en Suisse en 2024 ? (Recherche : « séisme local »)

2. Exercice bonus pour les plus rapides :

Choisis n'importe quel Raspberry Shake dans le monde et lance une recherche en cliquant sur :

« Carte et sismogrammes », puis « Tous les sismogrammes »

Pour chacun des deux séismes que tu as trouvés :

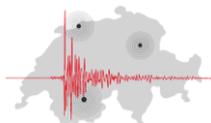
- Décris brièvement tes observations
- Ajoute une illustration (une carte et un sismogramme)

Ensuite, réponds aux questions suivantes :

- Quelles sont les différences entre les sismogrammes des deux séismes en termes de durée et de contenu fréquentiel ?
- Arrives-tu à repérer les ondes P et S sur les sismogrammes ?
- Quelle est la différence entre les enregistrements des ondes P et S pour le séisme local en Suisse et le séisme lointain ?
- Peux-tu expliquer cette différence ?
- Peux-tu estimer la distance du séisme local à la station à partir du décalage entre les ondes P et S ?

Matériel pédagogique supplémentaire

Vous voulez en savoir plus sur les séismes ? Découvrez plus d'informations ici :



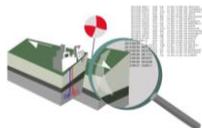
Tremblements de terre : Module d'introduction - Principes de base et principaux concepts

[Téléchargement](#)



Fausse information et éducation médiatique

[Téléchargement](#)



Sismicité induite

[Téléchargement](#)



Aléa et risque sismique en Suisse

[Téléchargement](#)

Vous trouverez de plus amples informations sur les tremblements de terre sur le site Internet du Service Sismologique Suisse de l'ETH Zurich à l'adresse www.seismo.ethz.ch.

Nous sommes à votre disposition pour répondre à vos questions et suggestions concernant les modules d'apprentissage ou d'autres sujets liés à l'enseignement des tremblements de terre dans les écoles.

E-mail : seismo_at_school@sed.ethz.ch

