Test de traitement de données

2021 – Paroxysmes volcaniques de l'Etna

Figure 1 : Carte montrant la position de l'Etna le long de Giarre et Zafferana Etna.La distance entre l'Etna et la ville de Giarre est d'environ 30 km.

Le volcan Etna est visible à la fois de la terre et de la mer et est bien connu pour sa longue histoire documentée depuis les civilisations anciennes de Méditerranée jusqu'à nos jours. Localisé en Sicile, l'Etna est le plus grand volcan d'Europe (3326 mètres). Le volcan a une forme conique couvrant une aire de 1200 km^2. Des douzaines de cratères sont présents sur ses pentes abruptes ainsi qu'une caldeira, la Vallée del Bove, orientée vers l'est.

L'Etna est un volcan quaternaire. Ses fréquentes éruptions à travers l'histoire ont changé, parfois profondément, le paysage environnant menaçant de manière répétée les populations installées aux alentours durant le dernier millénaire. Il s'agit d'une zone de risques sismiques modérés dû à l'activité volcanique.

Le volcan était très actif durant les mois de février et mars 2021, avec plusieurs épisodes de paroxysme successifs.

Voici ce que les populations locales ont rapporté :
'Les derniers jours ont été remplis d'émerveillement et de stupéfaction liés à l'activité éruptive que l'on continue d'admirer. Cependant, les éruptions volcaniques peuvent aussi avoir des inconvénients, notamment pour les personnes localisées sur les pentes du volcan. Le vent transporte des particules fines et légères éjectées du cratère sur des centaines de kilomètres à la ronde. Les paroxysmes des dernières semaines ont entrainé de fortes retombées de cendres et des coulées de lave.'

Objectif principal de cette étude de cas > l'exploration géologique a pour but de mieux comprendre cette activité volcanique afin de se protéger. Nous proposons de découvrir les outils et les enregistrements utilisés par les chercheurs pour étudier cette période éruptive du volcan.

Ressources disponibles en ligne pour ce test :

Films : 2 films courts sur la phase éruptive du volcan et de ses différents aspects.

Pluie de cendres à Zafferana Etna (petite ville sur la pente est du volcan de l'Etna) https://youtu.be/5LaCQT_ph_Q

Fontaines de lave sur l'Etna https://youtu.be/gBGFrGpYMVU

Images satellites (Sentinel 2 et Sentinel 5) :
Accès au site 'Sentinel eo browser' (Agence Spatiale Européenne) pour découvrir les images satellites du volcan sur une période de temps.
https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/ > Etna

Sismicité et sismogrammes enregistrés en Sicile :
Enregistrement des mouvements du sol par un réseau de stations sismologiques installées à l'Etna et catalogues de sismicité.
http://edumed.unice.fr/ieso2021/seismo/

Logiciel Tectoglob3D
Pour afficher et analyser les données sismiques (sismogrammes et catalogue de sismicité) accessibles depuis le site précédent.

Time lapse GPS de l'Etna INGV-EO (Institut National de Géophysique et de Volcanologie). Données pour évaluer les mouvements globaux du sol du volcan.
https://edumedobs.maps.arcgis.com/apps/dashboards/47d44dbc36af457c9df4f4e6d85527e3

Lorsque vous voyez ce signe ⍰: vous devez accéder aux données en ligne et/ou les analyser

Lorsque vous voyez ce signe ⍰: vous devez répondre aux questions

_
28 février 2021, 9h25 :
'Une éruption spectaculaire au sud-est du cratère de l'Etna a eu lieu.
La première explosion, qui a marqué le début de ce nouvel épisode éruptif, a eu lieu à 07h55UTC. Les cendres se sont dispersées et sont ensuite retombées dans les zones de Zafferana Etna et Giarre (Figure 1). Les fontaines de laves étaient principalement concentrées au niveau de deux évents éruptifs et ont atteint une hauteur d'environ 300 mètres. L'activité sismique du volcan qui initialement est restée à un niveau modéré a atteint de forte valeur dans la demie heure suivant le début de la mise en place de la fontaine de lave.
A 10h30, la fontaine de lave dans le cratère du sud-est s'arrêta soudainement, pendant que la coulée de lave dévalant vers la Vallée del Bove restait active...'

Partie 1 : DÉCOUVRIR l'éruption volcanique avec les images satellites de Sentinel

Sentinel est une mission d'observation de la Terre permettant l'acquisition systématique d'images optiques de haute résolution spatiale (10 m à 60 m) des terres et des eaux côtières. La mission est une constellation de deux satellites jumeaux : Sentinel-2 and Sentinel 5.

💻 Accès au site internet Sentinel (ESA) > https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/Chercher

Etna area > 'Etna'
Découvrez les images prises par Sentinel 2, le 28 février 2021 à 09h50 (UTC)

☛ Le nord est localisé en haut de l'écran pour toutes les images satellites.

✎ **Question 1 :** *[Une seule bonne réponse]* *(1 pt)*
Quelle est la meilleure combinaison de bandes spectrales pour visualiser, distinguer et différencier des coulées de lave anciennes, des coulées de lave actuelles, la végétation, les nuages et la neige dans une seule image ?

1A : Vraie couleur (basé sur les bandes 4,3,2)
1B : Fausse couleur (basé sur les bandes 8,4,3)
1C : Index d'humidité
1D : SWIR (basé sur les bandes 12,8A,4)

Jetons un coup d'œil à la lave !

✎ **Question 2 :** *[Une seule bonne réponse]* *(1 pt)*
Quelle est la localisation approximative (en degrés décimaux) du point en aval atteint par la lave à 9h50 ce jour ?

2A : Latitude : 37,750 / Longitude : 14,997
2B : Latitude : 37,650 / Longitude : 15,000
2C : Latitude : 37,740 / Longitude : 15,030
2D : Latitude : 37,710 / Longitude : 15,090

✎ **Question 3 :** *[Plusieurs réponses correctes]* *(2 pts)*
Sachant que l'éruption volcanique a commencé à environ 8h00, quelles sont les réponses correctes ?
☛ Vous devez vous connecter au site* pour utiliser la fonction 'Measure' (mesure)
*Connectez-vous avec : mail > ieso2021@geoazur.unice.fr ; password (mot de passe) > ieso2021

3A : La lave a coulé sur environ 2600 mètres à une vitesse moyenne de 1500 m/h
3B : La lave est fluide car elle a coulé à une vitesse rapide de plus d'1 km/h
3C : La lave a coulé sur environ 2600 mètres à une vitesse moyenne de 500m/jour
3D : La lave n'est pas très fluide car sa vitesse moyenne n'a pas excédé quelques mètres par heure

✏ **Question 4 :** *[Une seule bonne réponse]* *(2 pts)*

En comparant* différentes éruptions (08/04/2017, 26/12/2018 et 28/02/2021, visualisez les coulées de laves émises.

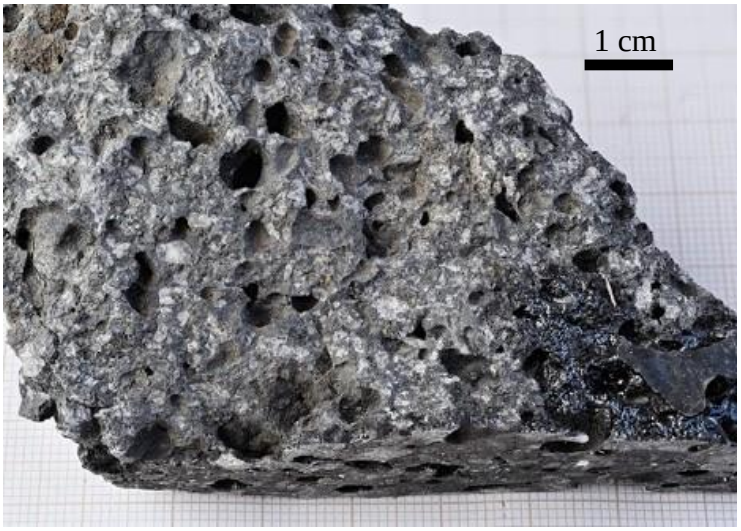
☛ *Pour chaque date, choisissez une image satellite à visualiser (Visualize), ajoutez ensuite l'image ⇆ pour comparer et ouvrir le tableau de comparaison (Compare tab) pour permettre une comparaison aisée entre les trois dates.

Répondez à la question suivante :

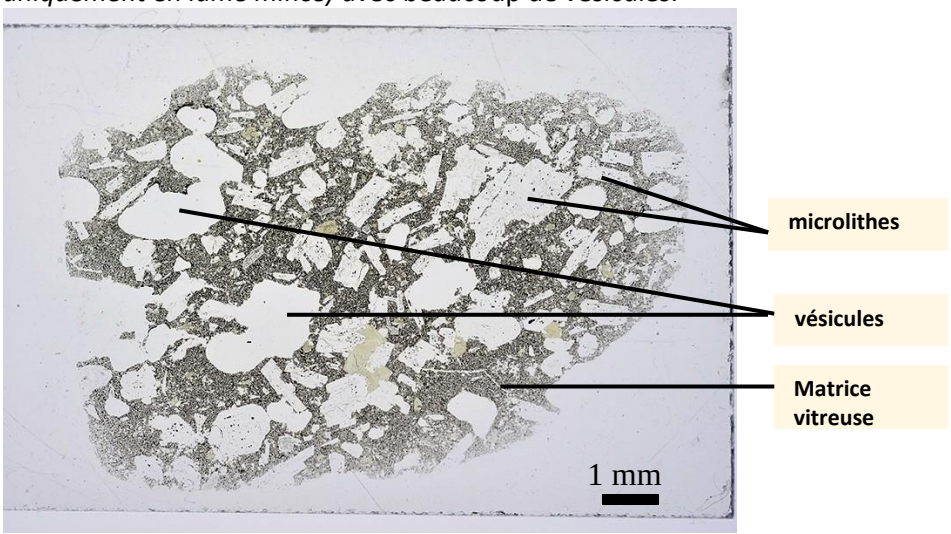
4A : Toute la lave de ces éruptions a coulé dans la Vallée del Bove
4B : La lave de l'éruption du 26/12/2018 a coulé à plus de 6 km de distance du cratère
4C : L'éruption volcanique du 26/12/2018 a produit de la lave coulant depuis une fissure éruptive latérale
4D : Toutes éruptions prises en compte, la coulée de lave du paroxysme du 28/02/2021 apparaît comme étant la plus inquiétante pour la population

Une fois refroidie, la lave du volcan apparaît sombre sur les images satellites. Des échantillons prélevés sur le terrain révèlent une roche particulière.

Analyse chimique de l'échantillon : taux de SiO_2 dans la roche totale : 45% à 50%



Observation pétrologique au microscope : matrice vitreuse et microlithes *(petits cristaux visibles uniquement en lame mince)* avec beaucoup de vésicules.



✏ **Question 5 :** *[Une seule bonne réponse]* *(1 pt)*
Comment caractériser la lave de l'Etna ?

5A : Roche présentant une texture aphanitique (pas de cristaux visibles à l'œil nu autres que des phénocristaux), riche en plagioclase et pyroxène, dérivant d'une lave très fluide
5B : Roche présentant une texture phanéritique (tous les cristaux sont visibles à l'œil nu) composée de plagioclase et pyroxène, et de beaucoup de vésicules
5C : Roche présentant une texture aphanitique (pas de cristaux visibles à l'œil nu autres que des phénocristaux) riche en feldspaths, quartz, micas, dérivant d'une lave très visqueuse
5D : Roche avec beaucoup de vésicules, et sans aucun minéral visible au microscope

✏ **Question 6 :** *[Une seule bonne réponse]* *(1 pt)*
Quelle est la meilleure hypothèse sur l'identité de la roche ainsi formée ? Les roches de l'Etna appartiennent à la famille des :

6A : rhyolites
6B : diorites
6C : andésites
6D : basaltes

✏ **Question 7 :** *[Une seule bonne réponse]* *(1 pt)*
Chaque fois qu'un volcan entre en éruption, le magma peut couler de la montagne à différents endroits. Dans quelle situation la coulée de lave est un réel danger pour les populations et les infrastructures ?

7A : Une coulée de lave en dehors de la Vallée del Bove provenant d'une fissure latérale
7B : Une coulée de lave dans la Vallée del Bove
7C : Une coulée de lave provenant d'un magma plus siliceux
7D : Un vent fort provenant de l'ouest

Tournons notre attention sur le panache de cendres !

💻 Vous avez besoin d'une pause ? … Regardez cette vidéo d'introduction de la section suivante. https://youtu.be/InEQKf4O-Vs

✏ **Question 8 :** *[Une seule bonne réponse]* *(1 pt)*
Dans quelle direction le panache de cendre s'est dispersé dans l'atmosphère le 28 février 2021 ?

☛ Ne pas hésiter à zoomer sur les images satellites

8A : nord 10°
8B : est 90°
8C : sud est 110°
8D : sud 180°

✏ **Question 9 :** *[Une seule bonne réponse]* *(1 pt)*
En comparant* les images prises par Sentinel-2 sur la période du 26 février 2021 au 3 mars 2021, quelle est la réponse la plus appropriée ?

☛ *Pour chaque date, choisissez une image satellite à utiliser (Visualize), ajoutez ensuite une image ⇆ pour comparer et ouvrir le tableau de comparaison (Compare tab) pour permettre une comparaison aisée entre les trois.

9A : Le panache a changé de direction
9B : Le panache disperse encore des cendres vers les villes localisées sur la pente est
9C : Il y avait un panache de cendres seulement le 28 février
9D : Le panache forme une colonne de cendres qui monte de façon verticale uniquement

Sentinel est une famille de satellites. Sentinel-5 est un satellite qui fournit des mesures atmosphériques utilisées pour évaluer la qualité de l'air, surveiller la quantité d'ozone, les radiations UV, surveiller le climat et faire des prévisions. La résolution spatiale est de : 7 x 3.5km (c'est-à-dire que seuls des détails plus gros que 7 x 3.5km peuvent être repérés). Temps de revisite: un jour maximum pour revisiter la même zone. Usage commun : surveiller la concentration de monoxyde de carbone (CO), dioxyde d'azote (NO_2) et d'ozone (O_3) dans l'air. Surveiller l'index UV aérosol (AER_AI) et des paramètres géophysiques variés relatifs aux nuages (Cloud).

⍰ **Question 10 :** *[Plusieurs réponses correctes]* *(2 pts)*
En regardant les images de Sentinel-5, quels éléments semblent être présents dans le panache de cendres de haute altitude du 28 février ?
☛ Ne pas hésiter à zoomer sur les images satellites

10 A : SO_2
10 B : O_3
10 C : CH_4
10 D : aérosols

✏ **Question 11 :** *[Une seule bonne réponse]* *(1 pt)*
Dans les jours suivant le 28 février, dans l'atmosphère de quels pays pouvons-nous nous attendre à retrouver le plus de cendres provenant du volcan ?

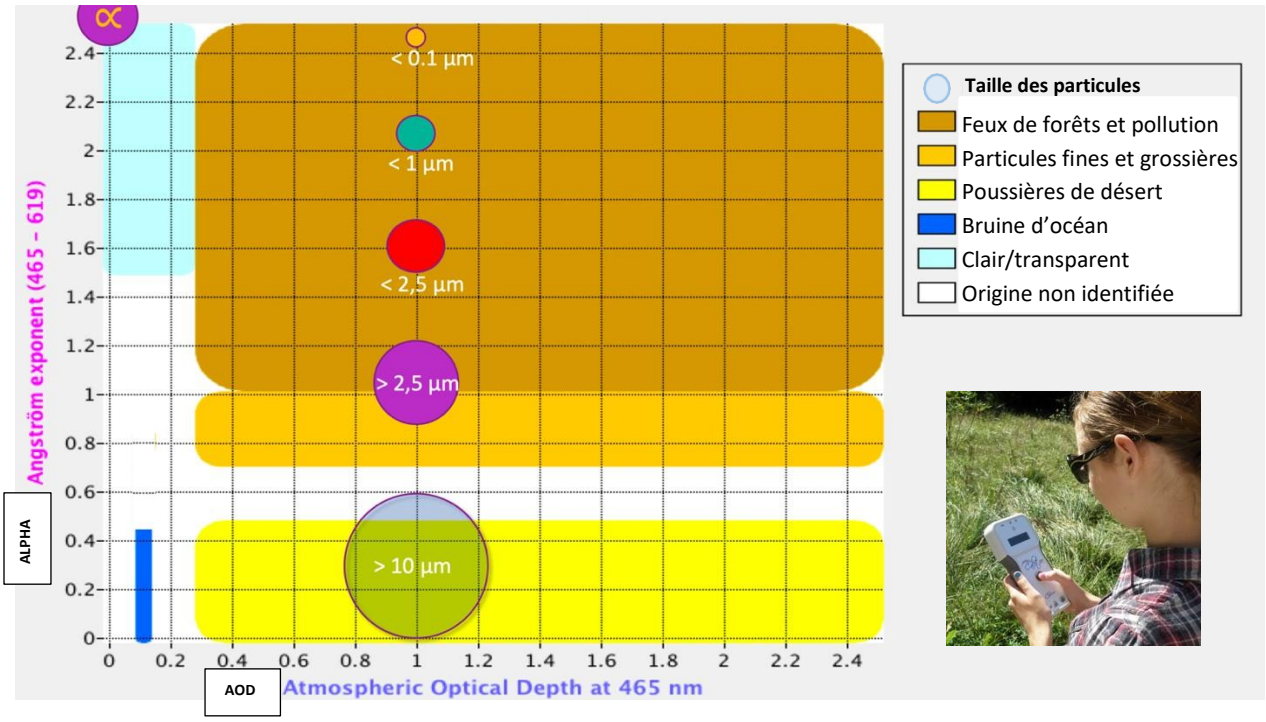
11 A : Grèce et Turquie
11 B : Tunisie et Afrique du nord
11 C : Italie du nord et Europe
11 D : Malte (La Valette) et Libye

Dans « Catane aujourd'hui » (journal Sicilien) : Le vent transporte avec lui toutes les particules fines et légères éjectées par les cratères, les transportant sur des centaines de kilomètres. Le paroxysme de ce dimanche 28 février a causé une énorme retombée de cendres sur le flanc est de l'Etna entre Giarre et Acireale ...

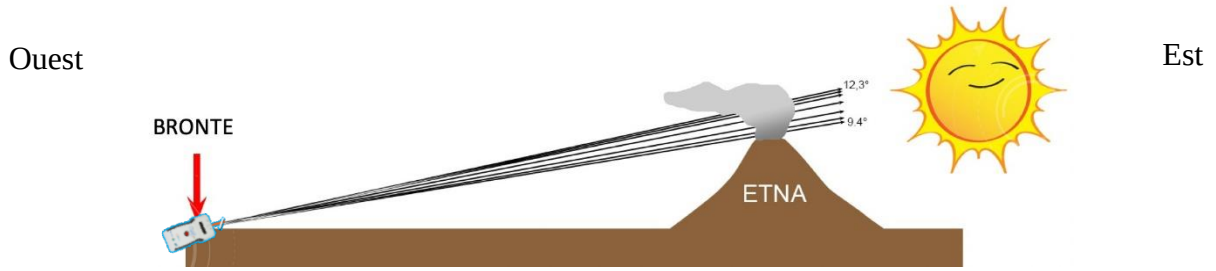
💻 Vous devriez regarder la vidéo 'Ash rain at Zafferana (Sicily, Etna)' (Pluie de cendres à Zafferana). https://youtu.be/5LaCQT_ph_Q

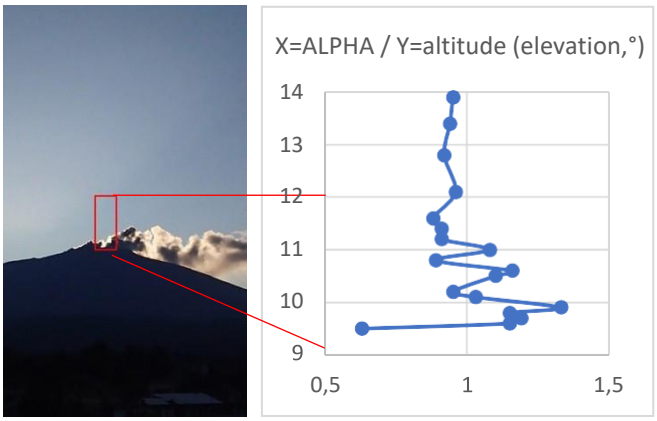
L'analyse des particules dans l'atmosphère est rendue possible par un photomètre.
Le capteur, pointé vers le soleil, peut étudier les particules présentes dans l'atmosphère en utilisant deux paramètres : l'AOD (Profondeur optique atmosphérique) and l'ALPHA (Angström exposant)*.
*Alpha est inversement corrélé à la taille des particules.

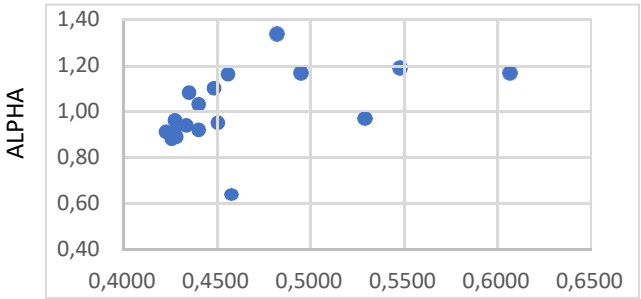
Chaque mesure peut être interprétée en utilisant le diagramme ci-dessous, qui indique la nature et la taille des particules qui peuvent être possiblement présentes dans l'atmosphère.



Une série de mesures a été effectuée à l'aide d'un photomètre de la ville de Bronté (localisée sur la pente ouest de l'Etna), avec un photomètre pointant vers le sommet de l'Etna, au lever du soleil, pendant 20 minutes.







Fichier de données

Date	UTC	T °c	elevation (°)	AOD 465(blue)	alpha
2019-10-12	06:00:03	18	09.5	0,4567	0,63
2019-10-12	06:00:45	18	09.6	0,6058	1,15
2019-10-12	06:01:06	18	09.7	0,5485	1,19
2019-10-12	06:01:33	18	09.8	0,4943	1,15
2019-10-12	06:02:09	18	09.9	0,4812	1,33
2019-10-12	06:03:24	18	10.1	0,4407	1,03
2019-10-12	06:04:10	18	10.2	0,5284	0,95
2019-10-12	06:05:15	18	10.5	0,449	1,1
2019-10-12	06:05:54	18	10.6	0,4564	1,16
2019-10-12	06:07:16	18	10.8	0,4289	0,89
2019-10-12	06:08:14	18	11.0	0,4355	1,08
2019-10-12	06:09:14	18	11.2	0,4278	0,91
2019-10-12	06:10:14	18	11.4	0,4234	0,91
2019-10-12	06:11:18	18	11.6	0,4262	0,88
2019-10-12	06:13:54	19	12.1	0,428	0,96
2019-10-12	06:17:46	19	12.8	0,4407	0,92
2019-10-12	06:21:12	19	13.4	0,4344	0,94
2019-10-12	06:23:46	19	13.9	0,451	0,95

✐ **Question 12 :** *[Plusieurs réponses correctes]* *(2 pts)*
Quelles sont les réponses les plus correctes ?

12A : Certaines cendres volcaniques sont de grosses particules (> 10 µm)
12B : La plupart des cendres volcaniques sont des particules d'environ 2,5 µm
12C : La cendre est constituée uniquement de fins fragments de lave
12D : Un masque (anti-covid FFP2) avec un maillage de 0.1 µm est efficace pour protéger les poumons de la cendre

✐ **Question 13 :** *[Une seule bonne réponse]* *(1 pt)*
Une fois que les cendres tombent sur le sol, elles se compactent et donnent une roche. Quelle roche peut-être produite par un dépôt et une compaction de cendres volcaniques ?

13A : un grès
13B : un tuff
13C : un calcaire oolithique
13D : une bombe volcanique

Les cendres et la lave sont des matériaux résultant de la production de magma par le volcan. Un volcan produit beaucoup de magma, souvent accumulé pendant plusieurs années dans la chambre magmatique.

Partie 2 : ÉTUDE de l'éruption via les mouvements du sol à différentes échelles

Regardons les mouvements du sol relevés par GPS !

Les capteurs GPS (réseau GNSS) enregistrent les mouvements du sol sur l'Etna. En mesurant la vitesse de mouvements de différentes balises, on peut suivre l'évolution des chambres magmatiques du volcan.

💻 Accès aux données GPS de l'Etna: séries temporelles de différents capteurs https://edumedobs.maps.arcgis.com/apps/dashboards/47d44dbc36af457c9df4f4e6d85527e3

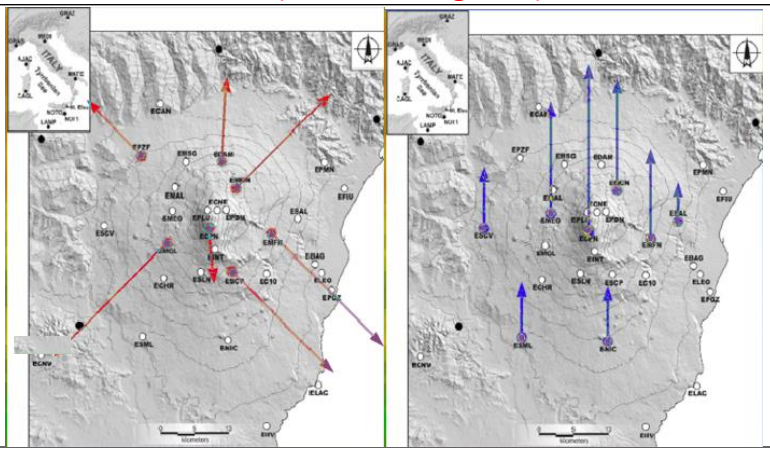
✏ **Question 14 :** *[Une seule bonne réponse]* *(2 pts)*
Les vitesses comparatives des balises pour un mouvement horizontal (longitude et latitude) et un mouvement vertical montrent une de ces quatre situations.

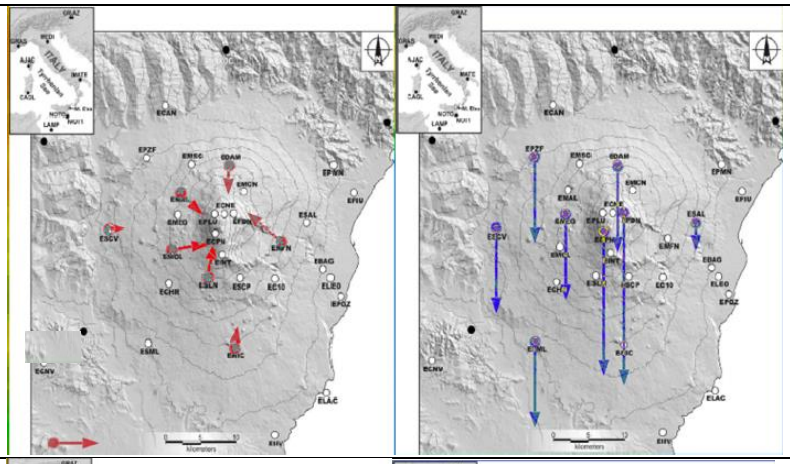
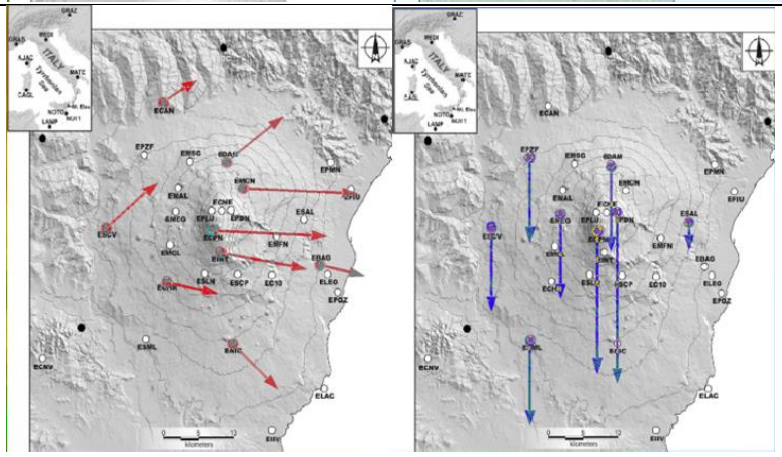
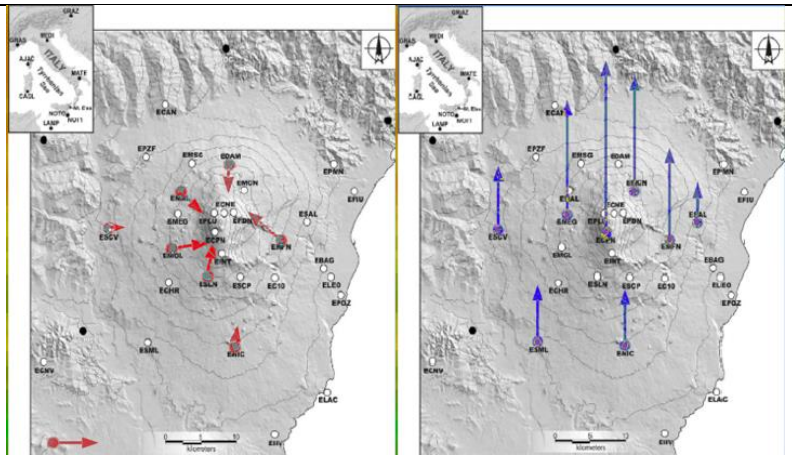
👉 Vous pouvez étudier seulement quelques capteurs: par exemple > EDAM, ECRI, ECPN, EMGL, EPED, EMFN

Centrez et zoomez sur la balise que vous voulez étudier, et le diagramme des mouvements GPS apparaitra dans une fenêtre à gauche.

En comparant l'état de l'Etna le 13/2 et le 25/3, quel graphique représente le mieux les changements survenus.

ROUGE : mouvement horizontal (Latitude/Longitude) – BLEU : mouvement vertical

14A		

14B	
14C	
14D	

✏ **Question 15 :** *[Plusieurs réponses correctes]* *(2 pts)*

En examinant l'évolution des balises, <u>entre le 13 février et le 25 mars</u>, choisissez les conclusions correctes.

15A : Les données des balises, proches du sommet, montrent une inflation des chambres magmatiques du volcan
15B : Le volcan montre une déflation due aux éruptions volcaniques successives
15C : Le mouvement vertical des balises au sommet du volcan a un ordre de grandeur de 35 mm
15D : Toutes les balises sur le volcan montrent la même vitesse de mouvement vertical

Les déformations observées nous conduisent à imaginer que la région enregistre régulièrement des séismes, notamment durant les phases éruptives. Les sismomètres installés autour de l'Etna témoignent de cela.

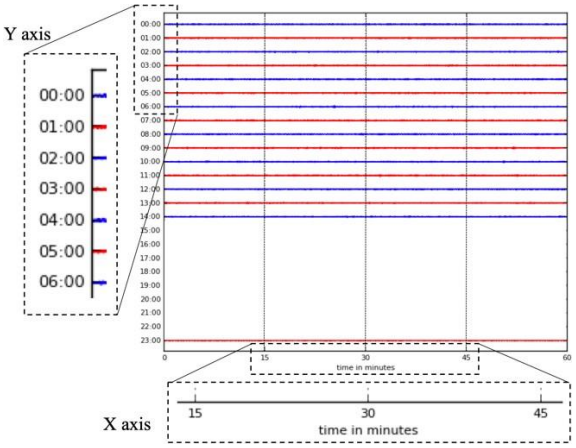
Regardons les mouvements du sol enregistrés par les sismomètres !

Il y a différents signaux sismiques distincts enregistrés par les sismomètres :

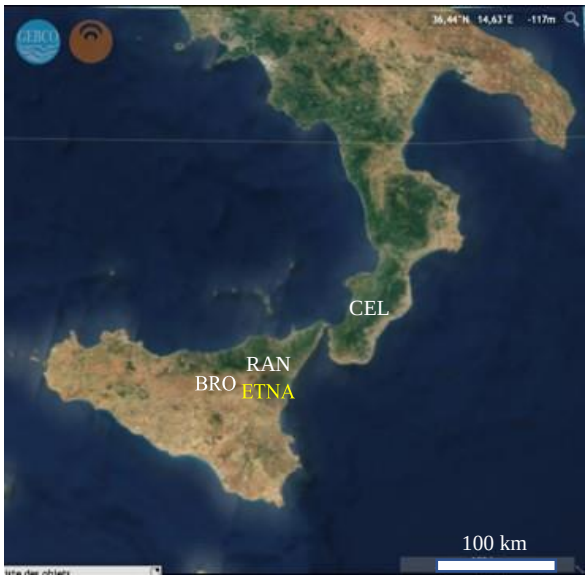
- Les vibrations telluriques causées par la propagation des ondes sismiques suivant une rupture de la lithosphère. Elles peuvent engendrer des séismes locaux (Sicile), régionaux (bassin Méditerranéen) ou distants (évènements éloignés de forte magnitude).
- D'autres signaux correspondent aux vibrations des murs des cheminées volcaniques lorsque le magma sous pression entre en mouvement. Ces signaux sont appelés des trémors volcaniques et sont clairement détectables sur des enregistrements de stations proches du volcan (sur les pentes du volcan).

Accès aux données:
http://edumed.unice.fr/ieso2021/seismo/ > tab : '**dayplots'***

*Explication dayplot : la figure ci-dessous est un exemple d'enregistrement de vibrations du sol par une station sismique. L'image est appelée un "dayplot". L'axe Y est composé de 24 lignes correspondant à chaque heure du jour. Sur chaque ligne correspondant à une heure, l'ordonnée correspond à la vitesse verticale du sol. Sur l'axe X, les valeurs indiquent le nombre de minutes d'enregistrement pour chaque ligne. L'alternance de couleur bleu/rouge rend le graphique plus lisible.



Cette base de données archive les enregistrements des sismomètres du bassin Méditerranéen. On propose de travailler sur trois stations : BRO1 (Bronté, une ville au nord-ouest du volcan), RAN1 (Randazzo, une ville sur les pentes nord du volcan) et CEL (Celeste, une ville en Calabre, localisée à 100 km de l'Etna).



Localisation de trois stations sismiques (BRO, RAN, CEL)

☛ Trouver le dayplot de l'évènement sismique pour trois sismomètres (BRO1/Bronte, RAN1/Randazzo and CEL/Celeste): > past dayplots, choose the stations, select the date (du 26/02/2021 au 21/03/2021).

✐ **Question 16 :** *[Une seule bonne réponse]* *(1 pt)*
Découvrir l'enregistrement des mouvements du sol (dayplot) à ces trois stations du 26 février au 21 mars 2021. Par comparaison, identifiez les signaux 'trémors volcaniques' qui indiquent le mouvement du magma vers la surface. Soyez conscients que les capteurs enregistrent aussi d'autres types de vibrations terrestres.

Choisissez la réponse correcte :

16A : Une seule éruption s'est produite, elle date du 28 février 2021
16B : Les capteurs ont enregistré une seule éruption par jour durant cette période
16C : L'activité volcanique a été marquée par dix éruptions (paroxysmes)16D : Le plus fort trémor volcanique a été enregistré le 3 mars

Sur les dayplots, durant cette période, on note aussi des signaux relatifs aux tremblements telluriques soit très courts (c'est-à-dire des séismes locaux) soit plus longs (c'est-à-dire des séismes à distance).

Regardons la sismicité locale enregistrée entre le 19 et le 22 mars 2021.

💻 Accès aux données:
http://edumed.unice.fr/ieso2021/seismo/ > Utilisez le moteur de recherche 'Seismicity'

☛ Chercher une liste locale de tremblements de terre qui se sont produits en Sicile entre le 19 et le 22 mars 2021. Sélectionnez la zone de la Sicile, sélectionnez la date, choisissez toutes les magnitudes et profondeurs.
☛ Sur Tectoglob3D, zoomez sur la zone étudiée. Vous pouvez avoir une meilleure résolution de votre image avec ce bouton.

✏ **Question 17 :** *[Plusieurs réponses correctes] 2 pts)*
Quelles propositions sont correctes?

17A : Environ 30 tremblements de terre locaux en Sicile ont été enregistrés
17B : Le plus fort d'entre eux n'a pas excédé une magnitude de 3
17C : La majorité de ces tremblements de terre sont tous très superficiels (moins de 15km de profondeur)
17D : Le principal tremblement de terre (de plus forte magnitude) s'est produit le 19 mars 2021

Regardons la localisation de cette sismicité en relation avec l'Etna. Télécharger le résultat de votre requête avec le logiciel Tectoglob3D (il est possible de devoir rafraîchir sa requête sur l'ordinateur). Cliquer sur le bouton Display with Tectoglob3D. Ajustez la vue de la carte pour montrer la Sicile.

✏ **Question 18 :** *[Une seule bonne réponse] (1 pt)*
Quelle est la proposition correcte ?

18A : La sismicité est uniformément distribuée en Sicile
18B : La plupart des tremblements de terre sont concentrés sur le volcan
18C : La plupart des tremblements de terre sont localisés en mer
18D : Tous les tremblements de terre ont la même localisation

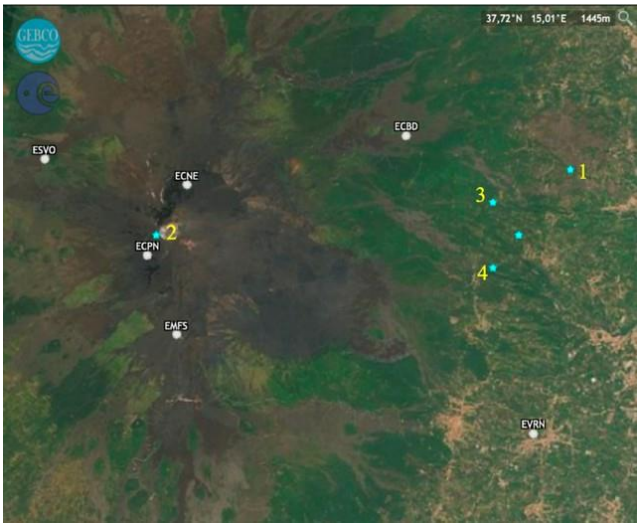
Regardons l'un des séismes étudiés : celui du 21 mars, qui a eu lieu à 9h22m01s (heure UTC).

💻 Accédez aux données :
http://edumed.unice.fr/ieso2021/seismo/ > tab **'seismograms'**

☛ Téléchargez sur votre ordinateur les sismogrammes de cet événement sismique enregistrés par les sismomètres installés en Sicile (fichier zip).

Importez le fichier zip dans Tectoglob3D > File > Import > Import seismogram(s)(.sac, .zip). Dans Tectoglob3D, zoomez sur la Sicile. Vous pouvez visualiser les stations sismiques (en blanc), et les épicentres des séismes (ceux choisis précédemment) pour la période du 19 au 22 mars 2021.

Sur le globe virtuel de Tectoglob3D, vous pouvez à présent visualiser les stations sismiques (en blanc), et les épicentres des séismes (étoiles bleues) pour la période du 19 au 22 mars 2021.



En utilisant le logiciel, localiser l'épicentre du séisme du 21 mars. Pour cela, vous devez utiliser les temps d'arrivée des ondes sismiques à certaines stations et déterminer la zone de l'épicentre.

☛ Pour chaque station sismique, double-cliquez sur le nom de la station dans la fenêtre séparée (output window). Un cercle blanc apparaît alors, indiquant la distance à l'épicentre de cette station.

✐ **Question 19 :** *[Une seule bonne réponse]* *(1 pt)*

19A : l'épicentre est situé au point 1
19B : l'épicentre est situé au point 2
19C : l'épicentre est situé au point 3
19D : l'épicentre est situé au point 4

En analysant le sismogramme enregistré par la station EVRN (située dans la ville de Santa Venerina), déterminez le temps qu'a mis la première onde sismique pour arriver à la station depuis le foyer du séisme.

☛ Affichez l'heure d'émission initiale des ondes sismiques (T0) sur les sismogrammes en utilisant Seismograms > Display event T0, et évaluez le temps d'arrivée des premières ondes sismiques.

✐ **Question 20 :** *[Plusieurs réponses correctes]* *(2 pts)*
La vitesse des ondes sismiques dans le globe terrestre dépend de plusieurs paramètres tels que la densité et la température des zones traversées par les ondes. Un modèle de vitesse appelé modèle PREM (Preliminary Reference Earth Model) permet de prévoir la vitesse des ondes en fonction des couches qu'elles vont traverser. Ce modèle n'est valable que pour de larges échelles spatiales et ne prend pas en compte les particularités géologiques régionales.

D'après l'analyse des sismogrammes de Tectoglob3D et le modèle PREM, quelles affirmations sont correctes ?

20A : Les ondes sismiques se sont propagées à une vitesse approximative de 2.5 km/s, ce qui est une vitesse assez lente pour des ondes sismiques
20B : Les ondes sont arrivées à la station très rapidement à une vitesse de 5 km/s, une vitesse cohérente avec la vitesse des ondes dans la croûte continentale et avec le modèle PREM
20C : Les ondes sont arrivées à la station très rapidement ; elles ont traversé le manteau terrestre car l'hypocentre était profond
20D : Il y a beaucoup de magma et de fluides interstitiels dans la structure du volcan, ce qui explique la progression lente des ondes sismiques

✐ **Question 21 :** *[Téléchargez votre capture d'écran]* *(3 pts)*
Pour finir, faites une capture d'écran de votre travail. Assurez-vous qu'elle montre le globe virtuel, la localisation de l'épicentre soulignée par des cercles, la sismicité locale, et les sismogrammes enregistrés. Téléchargez votre travail sur la fiche de réponse en ligne (fichier .jpg).

En conclusion :

✐ **Question 22 :** *[Plusieurs réponses correctes]* *(2 pts)*
La présence d'un volcan tel que l'Etna est source de risque naturel pour la population vivant autour. D'après votre étude, indiquez les évènements qui peuvent impacter directement la population.

22A : une coulée de lave dans la Vallée del Bove telle que celle du 28 février 2021
22B : la dispersion d'un panache de cendres comme celle du 28 février 2021
22C : une coulée de lave à très basse altitude hors de la Vallée del Bove
22D : un séisme tel que celui du 21 mars 2021