

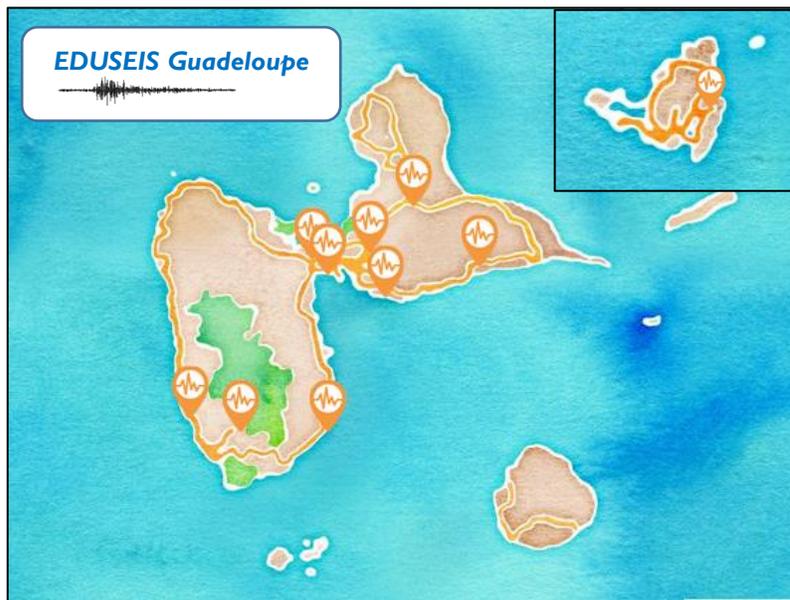


UNIVERSITÉ  
CÔTE D'AZUR



## Le Réseau sismologique EDUSEIS : un outil pour l'enseignement

Propositions de pistes pédagogiques pour l'enseignement au collège et lycée  
dans le cadre de la semaine **SISMIK 2021**



*Formation en ligne collège – lycée  
pour les enseignants(e)s de l'Académie de Guadeloupe  
15 novembre 2021  
16 novembre 2021*





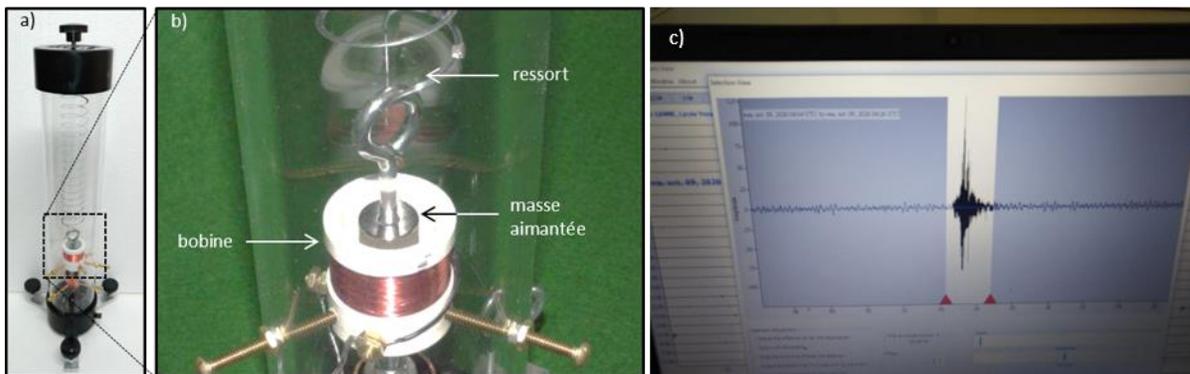
## EDUSEIS :

- Réseau sismologique éducatif depuis 2018
- 10 établissements équipés d'un sismomètre TCI + 1 ordinateur
- Financé par la DEAL de Guadeloupe



Etablissements	Acronyme	Type de station
Collège Joseph PITAT - BASSE TERRE	GBAST	TC1
Collège Sylviane TELCHID - CAPESTERRE BELLE-EAU	GCAPE	TC1
Collège Maurice SATINEAU - BAIE MAHAULT	GMAHO	TC1
Collège LA PERSEVERANCE - POINTE A PITRE	GPOAP	TC1
Collège Suze ANGELY - VIEUX HABITANTS	GHABI	TC1
Lycée Yves LEBORGNE - STE ANNE	GANNE	TC1
Lycée Faustin FLERET - MORNE A L'EAU	GMORN	TC1
Lycée Félix PROTO - LES ABYMES	GABY2	TC1
Collège Edmond BAMBUCK - LE GOSIER	GOSI	TC1
Collège QUARTIER D'ORLEANS - SAINT MARTIN	SMART	TC1

## Le sismomètre TCI



## L'observatoire Méditerranéen Educatif



- **Un réseau de 50 établissements scolaires, équipés de diverses stations de mesure**

Sismomètres, stations météo, photomètres, ...

- **Une plateforme web**

- ❖ Data center
- ❖ Tools Lab
- ❖ Teachers Room

- **Soutenu par :**

- ✓ le laboratoire Géoazur
- ✓ L'Académie de Nice
- ✓ La DDTM06 et la DEAL de Guadeloupe



- **Partenaire du réseau EDUSEIS depuis 2018**

- **Diffuseur des données du réseau EDUSEIS**

- **Financé par l'Université Côte d'Azur (IDEX UCA<sup>JEDI</sup>)**

<http://edumed.unice.fr/eduseis/caraibes>

The screenshot shows the website interface for EduMed-Eduseis. At the top, there is a navigation bar with links: Network, Live, Data Center, Tools Lab, Teachers Room, Partenaires, EDUSEIS, and EduChallenge. Below the navigation bar, a banner reads "Bienvenue sur les bases de données EDUSEIS - CARAIBES". The main content area features a heading "A l'écoute sismique de la Terre !" and a sub-heading "Observatoire EduMed propose de consulter les données sismiques de son propre réseau éducatif, mais aussi des données provenant d'autres réseaux éducatifs, ainsi que des données de recherche." Below this, there is a search bar and a button "En manque d'idées pour vos progressions ? Cliquez ici !". The interface includes several tabs: "En ce moment / Currently", "Séismes récents / Last quakes", "Réseau SIMO / Network", "Dérouleurs journaux / Dayplots", "Recherche de sismicité / Seismicity", and "Sismogrammes d'intérêt pédagogique / Seismograms". There is also a "Ma station / My station" section. The main display area shows a grid of seismic data plots for various stations, including ABD-23/10/2021, DDD-23/10/2021, GCPN-23/10/2021, HPPP-23/10/2021, ILAM-23/10/2021, MAGL-23/10/2021, MVM-23/10/2021, R5004-23/10/2021, R887-23/10/2021, SAM-23/10/2021, TDBA-23/10/2021, and TRM-23/10/2021. At the bottom, there is a footer with logos for Université Côte d'Azur, GeoAzur, and Académie de Nice, along with text describing the project and contact information.

### **Partenariat DEAL de Guadeloupe , Académie de Guadeloupe et EduMed-Obs :**

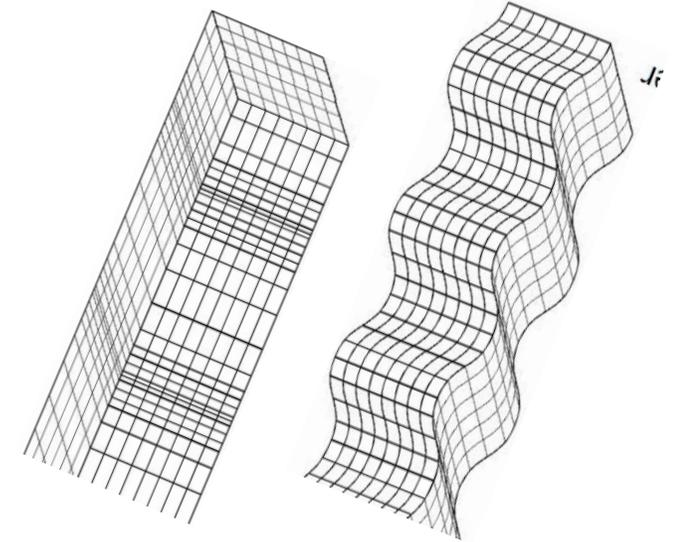
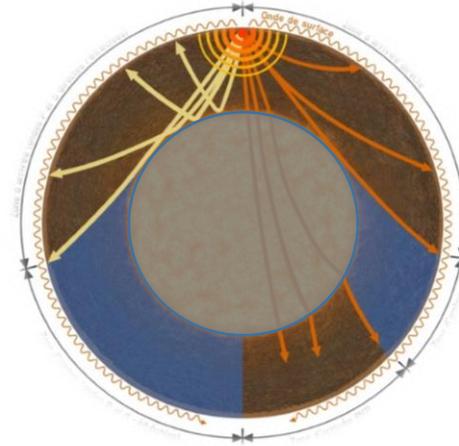
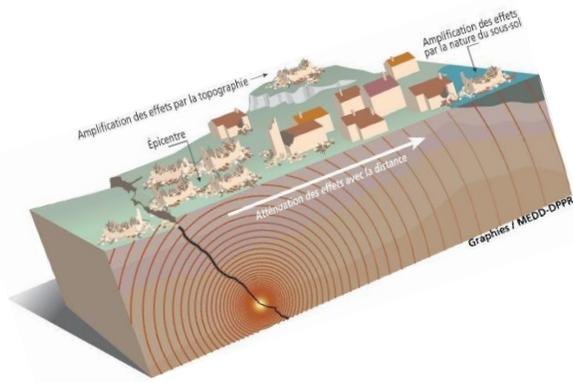
- Dans le cadre des actions de sensibilisation au risque sismique : la semaine SISMIK 2021 (Plan séisme Antilles)

### **Contours de cette formation SISMIK 2021 :**

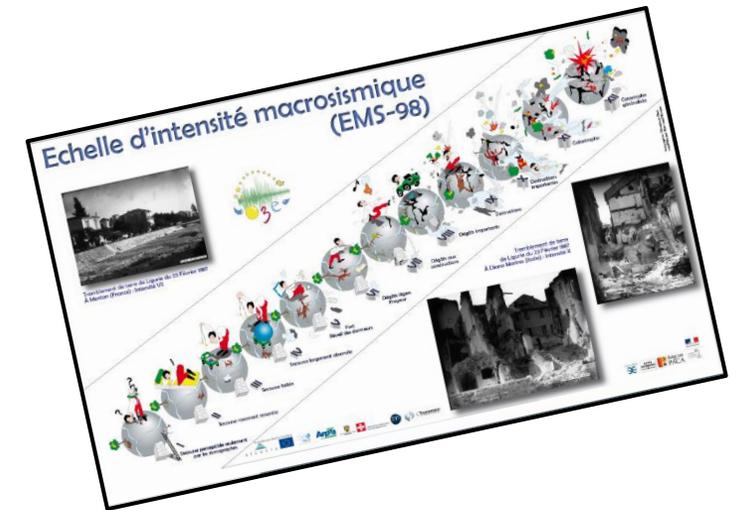
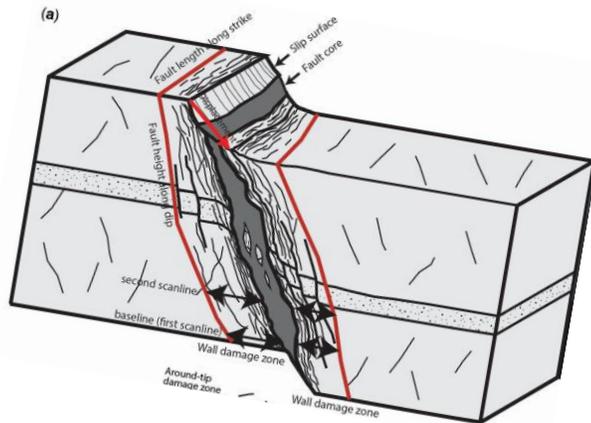
- Propositions de pistes pédagogique pour l'enseignement au collège et au lycée
- Valorisation des données éducatives du réseau EDUSEIS

### **Déroulé de la formation :**

- Petits rappels sur quelques notions en sismologie
- Des exemples de pistes pédagogiques pour intégrer les données EDUSEIS dans les programmes
- Utilisation de capteurs connectés

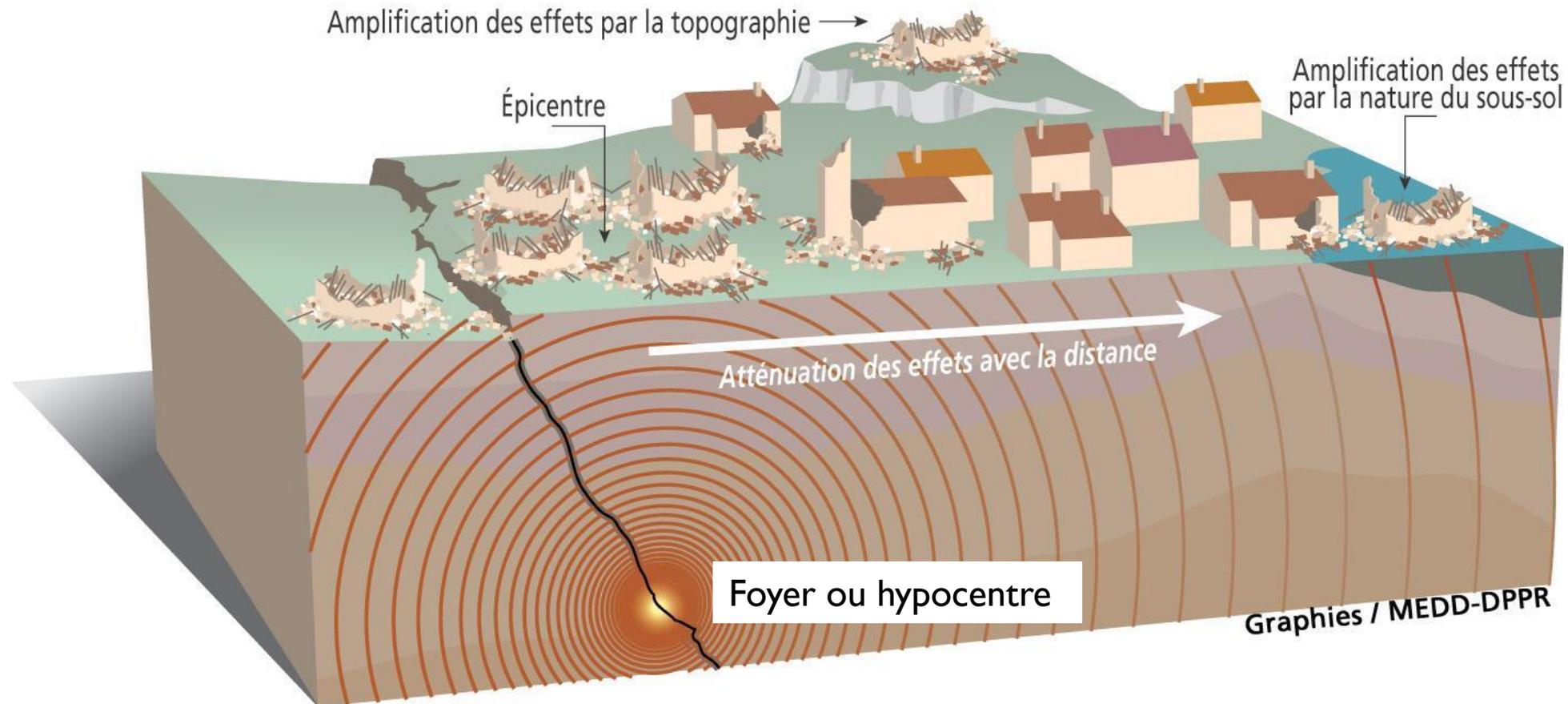


## Avant de commencer quelques rappels de sismologie



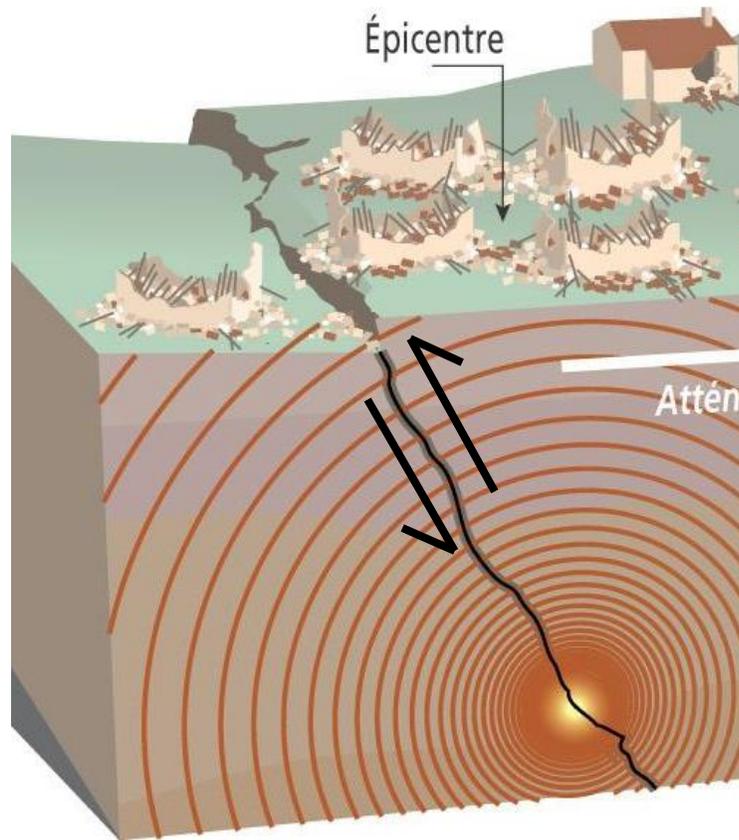
### ➤ Un séisme

- ✓ rupture brutale des roches à plus ou moins grande profondeur qui libère de l'énergie (ondes sismiques)
- ✓ phénomène naturel imprévisible et soudain

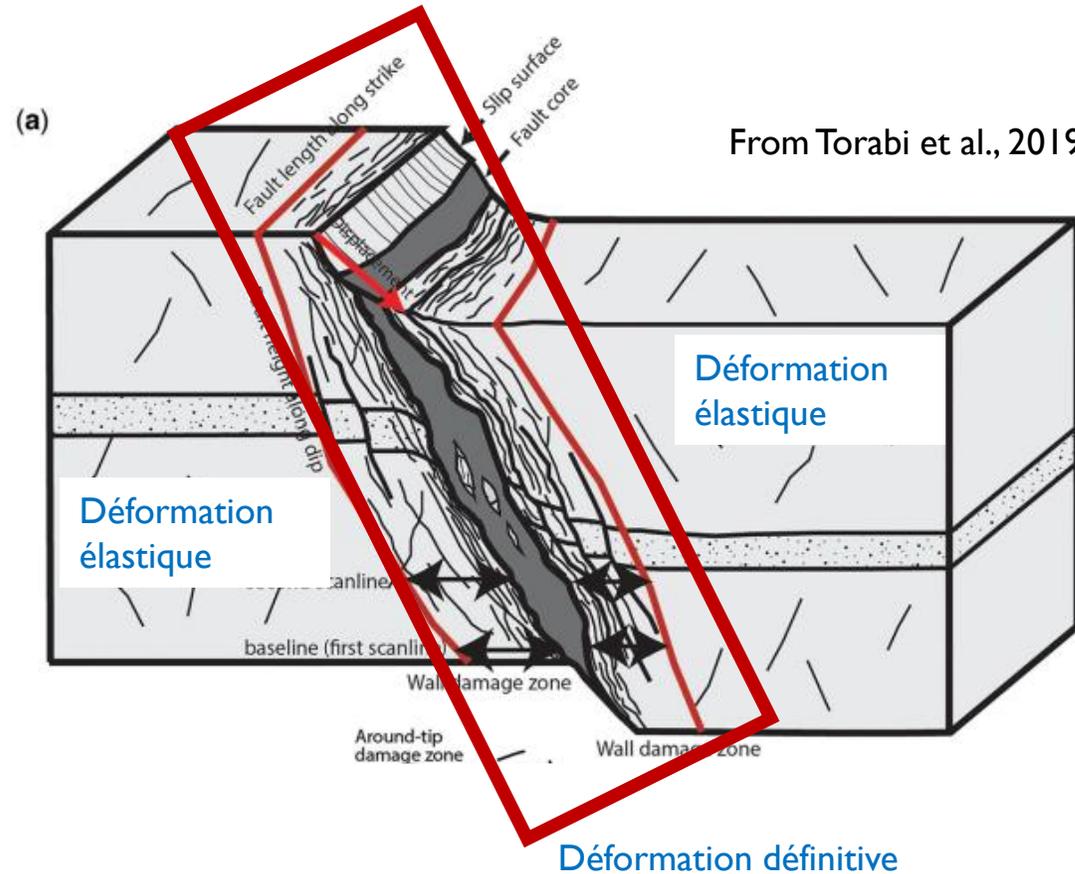


## ➤ Une faille

- ✓ zone de rupture autour de laquelle deux volumes rocheux se sont déplacés l'un par rapport à l'autre



Infographie MEDD - DPPR



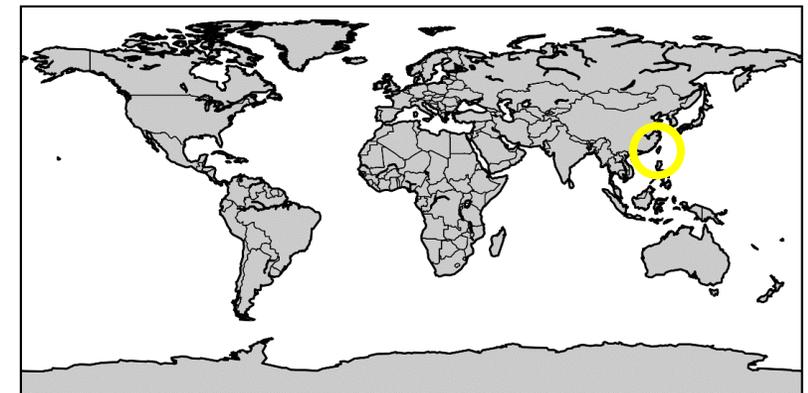
## ➤ Quelques effets en surface



Photo by W.J. Huang

Exemples de déformations  
verticales en surface

*Taiwan, 1999*

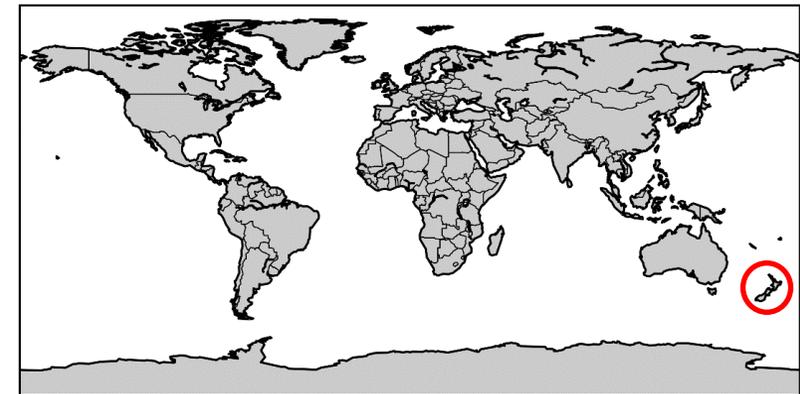


## ➤ Quelques effets en surface



Exemples de déformations horizontales en surface

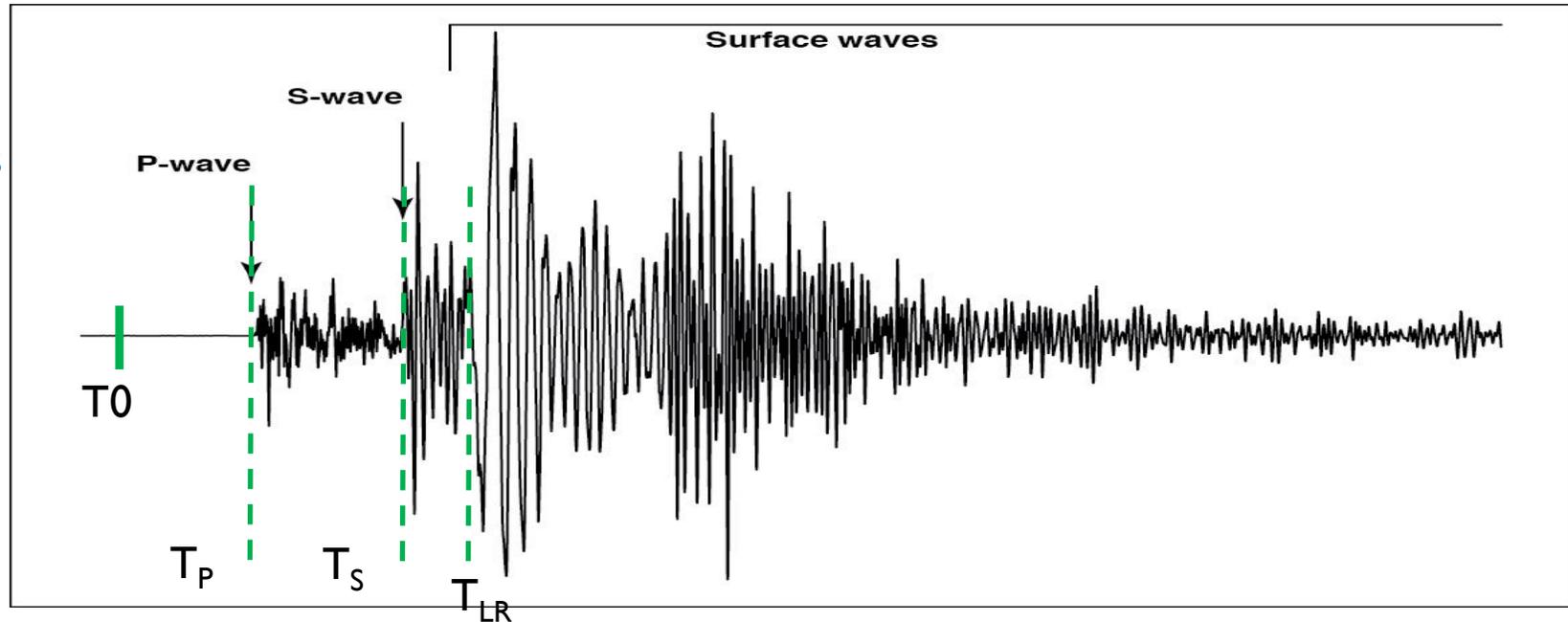
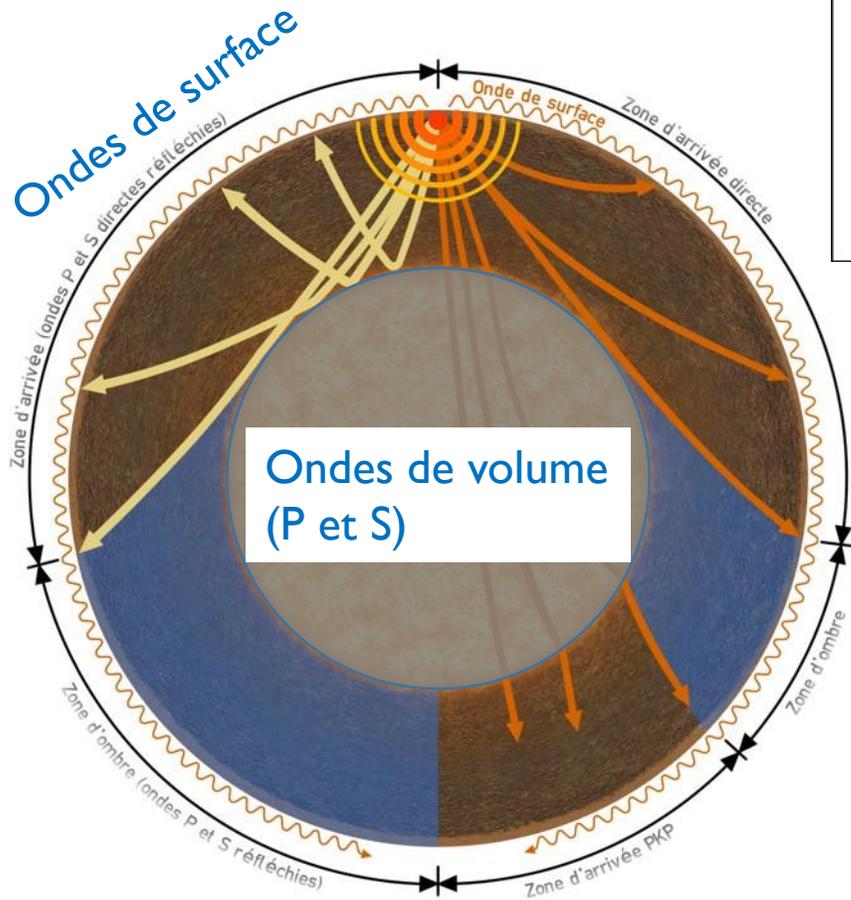
*Nouvelle Zélande, 2010*



# Quelques rappels en sismologie

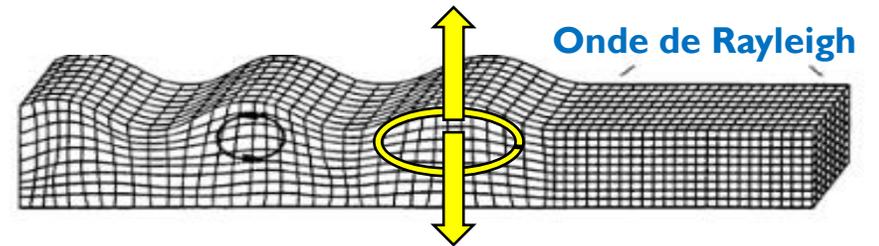
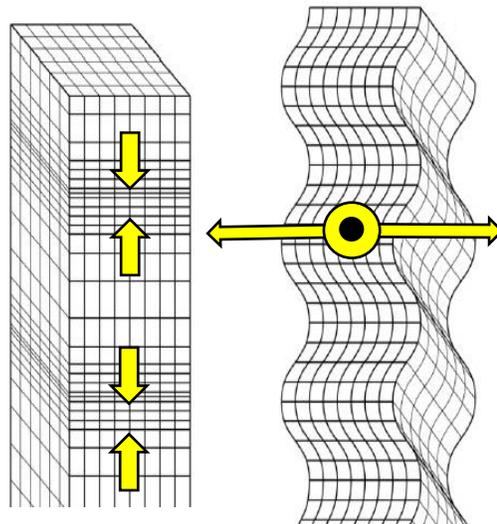
## ➤ Les ondes sismiques

- ✓ générées par les ruptures sismiques
- ✓ deux grand types d'ondes :



**Ondes P**  
(P= 'pressure')

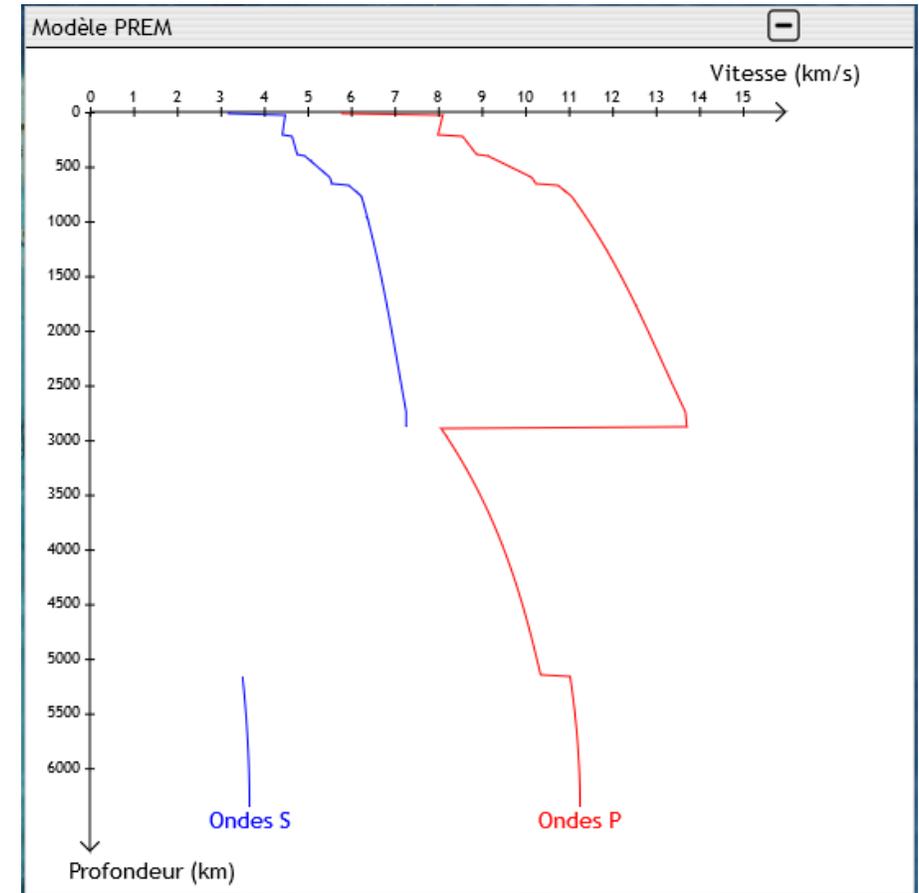
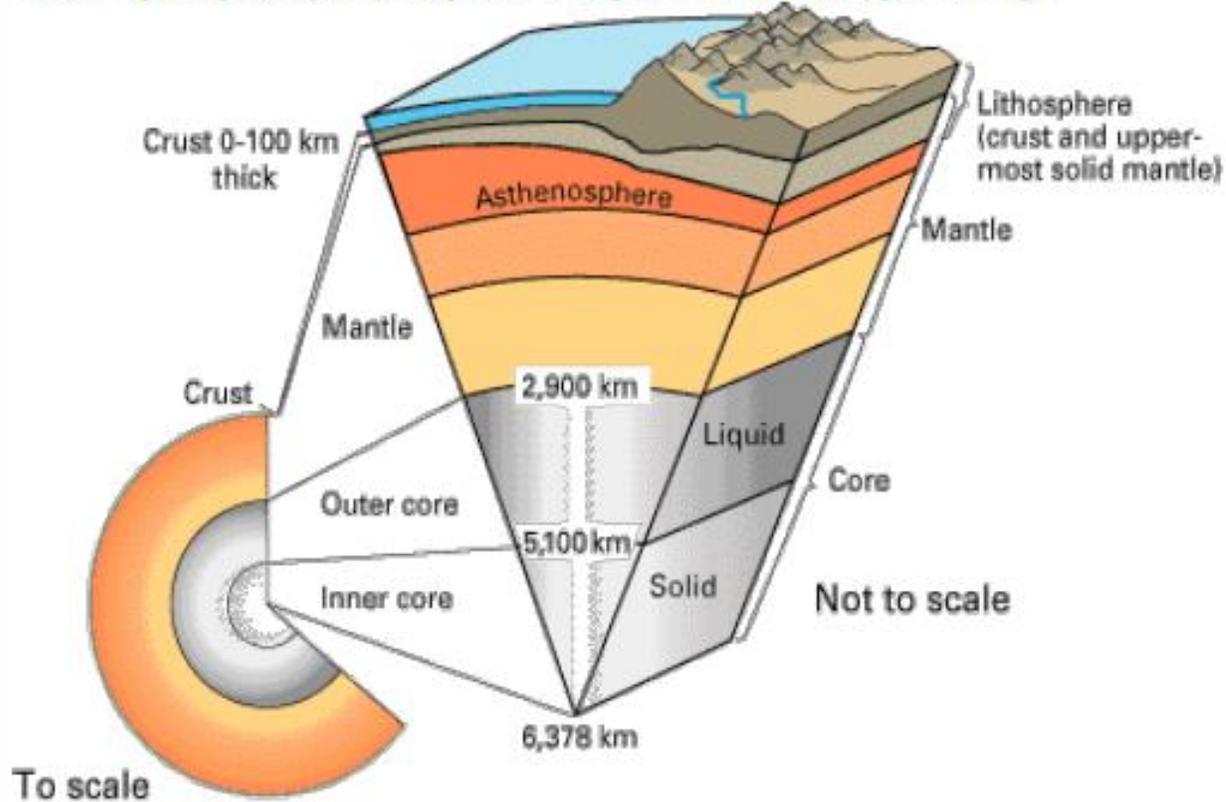
**Ondes S**  
(S = 'shear')



## ➤ Les ondes sismiques

### Inside the Earth - From USGS

Cutaway views showing the internal structure of the Earth. Below: This view drawn to scale demonstrates that the Earth's crust literally is only skin deep. Below right: A view not drawn to scale to show the Earth's three main layers (crust, mantle, and core) in more detail (see text).

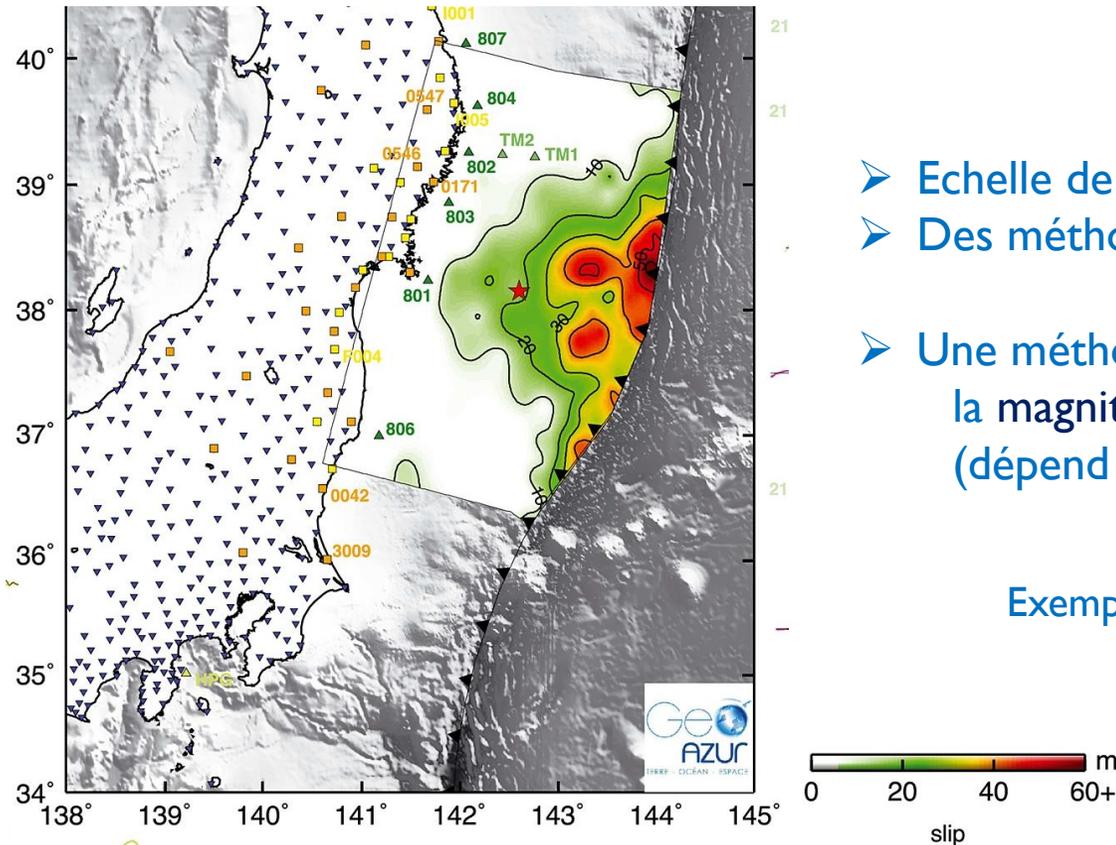


- La magnitude  
grandeur décrivant la puissance d'un séisme

Magnitude	Longueur de la faille	Glissement moyen
9	300 km	10 m
7	30 km	1 m
4	1 km	3 cm
1	30m	1 mm

Valeurs moyennes

From Bletery et al, 2014



- Echelle de Richter : méthode de calcul non utilisée aujourd'hui
- Des méthodes basées sur l'amplitude des ondes
- Une méthode basée sur les caractéristiques de la rupture :  
la magnitude de moment  $M_w$   
(dépend des dimensions, de la rigidité des roches et du glissement moyen)

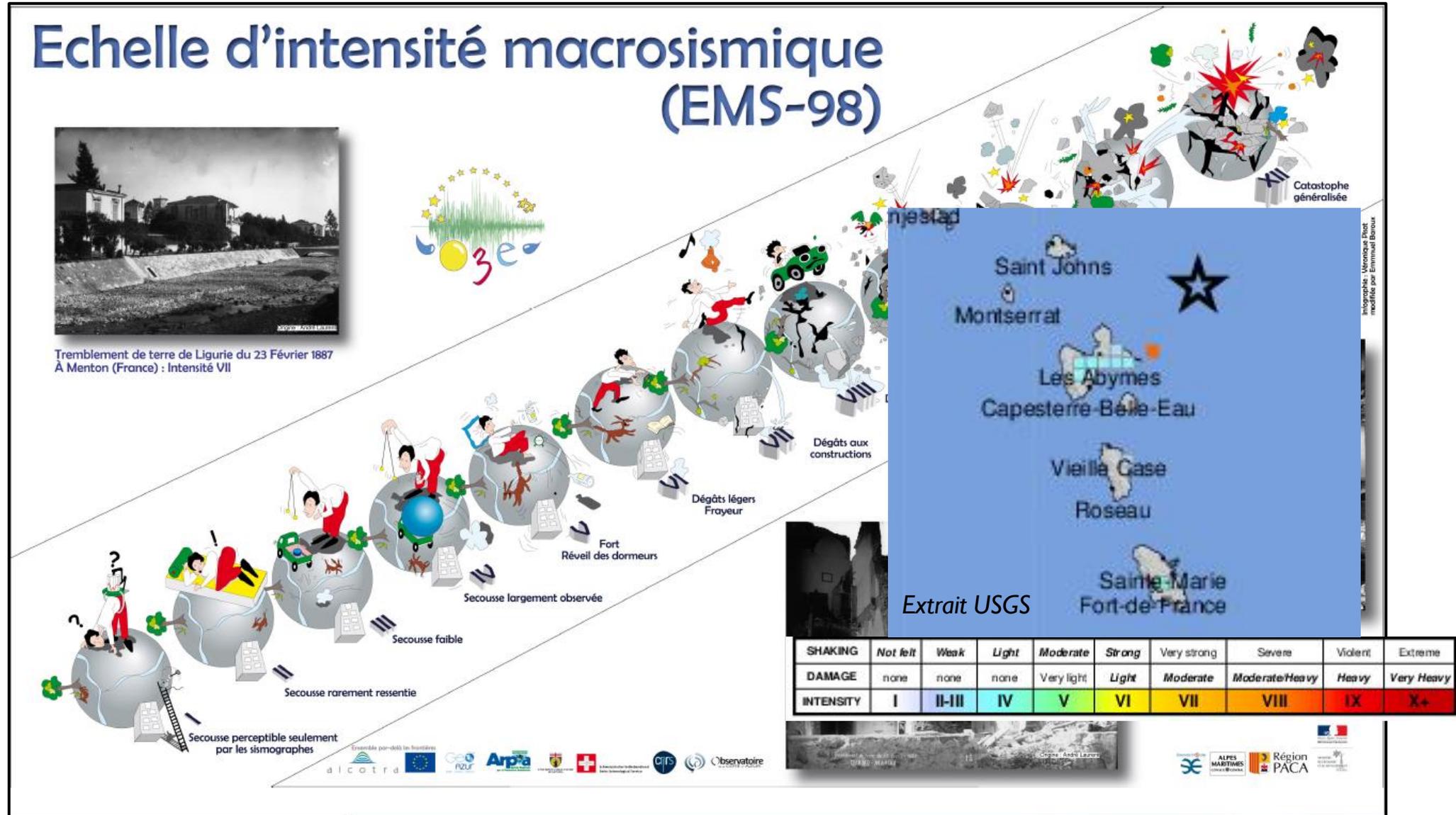
Exemple séisme de Tohoku du 11 mars 2011 :

$M_w = 9.1$

Longueur de la rupture : environ 400 km

Déplacement moyen : 60 mètres

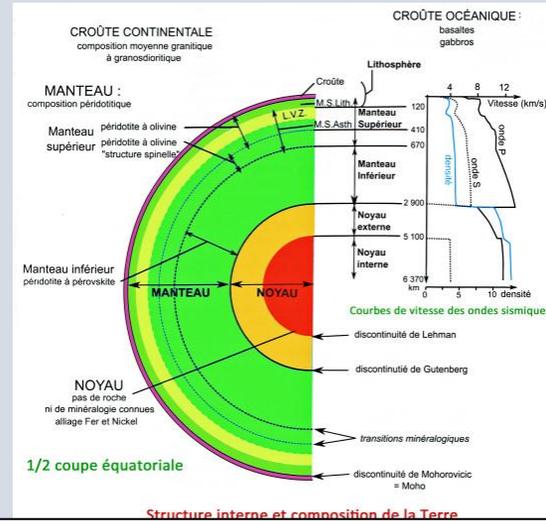
- L'échelle d'intensité macrosismique : grandeur décrivant l'impact d'un séisme sur une population et un territoire donnés



# **EDUSEIS pour l'enseignement au lycée**

## Sismologie et structure interne du globe

Propagation ondes sismiques  
Modèle de Terre PREM

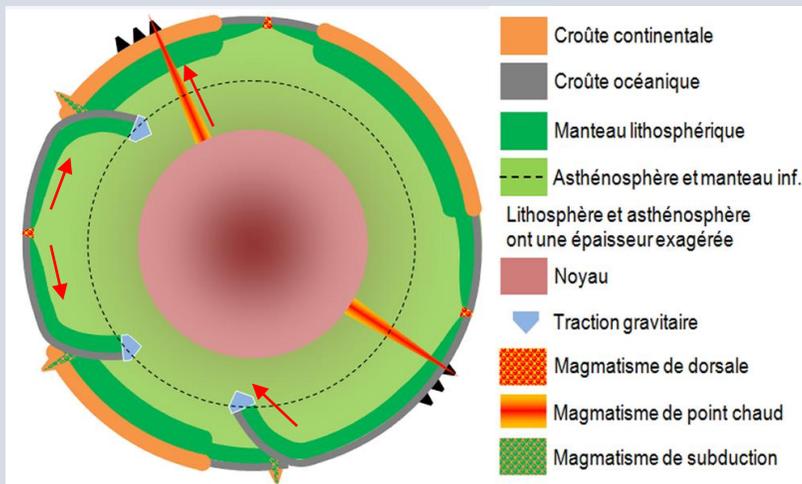


## L'apport des études sismologiques et thermiques à la connaissance du globe terrestre

- Le modèle PREM
- Le modèle de la tectonique des plaques

➤ Zones d'ombre, Moho, LVZ ...

## La sismologie, un marqueur commun à ces deux grandes parties



Mobilité horizontale des plaques  
Indices magnétiques, géodésie, datation, points chauds

Divergence  
Accrétion lithosphère, magmas

Convergence  
(Subduction) lithosphère océanique, magmas

Collision  
(Raccourcissement et Épaississement crustaux)

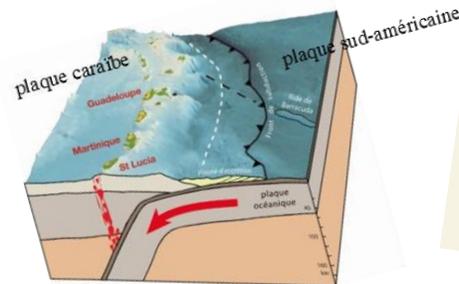
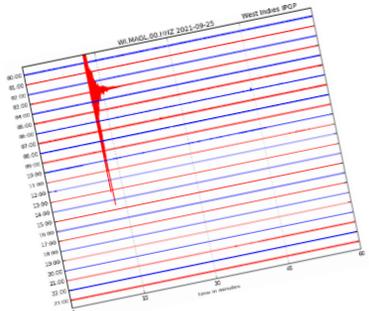
## ➤ Comment aborder le programme au lycée avec les données du réseau EDUSEIS ?

### Autres aspects importants :

#### ➤ Le numérique :

- ✓ Base de données en ligne
- ✓ Capteurs connectés / microcontrôleurs

- Pratiquer une démarche scientifique
- Concevoir et réaliser une expérience
- Utiliser des outils
- Adopter un comportement éthique et responsable
- Nécessité d'introduire le risque sismique dans des territoires comme les Antilles



**Sismicité régionale**  
L'Observatoire a enregistré au cours du mois un total de 54 séismes d'origine tectonique, de magnitude maximale 5.34. La Figure 7 montre la carte des épicentres dans une région d'environ 550 km autour de la Guadeloupe.  
En ce qui concerne l'archipel guadeloupéen, la répartition géographique de l'activité sismique est comparable à celle des mois précédents, avec une sismicité superficielle localisée principalement le long des grands systèmes de failles distribuées entre la Martinique et Barbuda.  
Le jeudi 9 septembre, un séisme modéré (M=5.3) d'origine tectonique a été enregistré à 20h43 heure locale et localisé à 58 km au nord-est de La Désirade, à une profondeur de 17 km. Ce séisme a été largement senti en Guadeloupe (intensité macroscopique IV-V).  
Le vendredi 24 septembre, un séisme modéré (M=5.3) d'origine tectonique a été enregistré à 23h12 heure locale et localisé à 63 km au nord-est de La Désirade, à une profondeur de 18 km. Ce séisme a été largement senti en Guadeloupe (intensité macroscopique IV-V).  
5 séismes ont été enregistrés entre Les Saintes et la Martinique (voir la Figure 7). La majorité de ces séismes n'a pas été localisée (car de magnitude trop faible) et aucun séisme n'a été signalé ressentir.

La Terre, la vie et l'organisation du vivant

➤ **La structure du globe terrestre**

- ✓ L'apport des études sismologiques et thermiques à la connaissance du globe terrestre
  - ❖ étude de la structure profonde du globe
  - ❖ effet de la nature des roches sur la vitesse des ondes

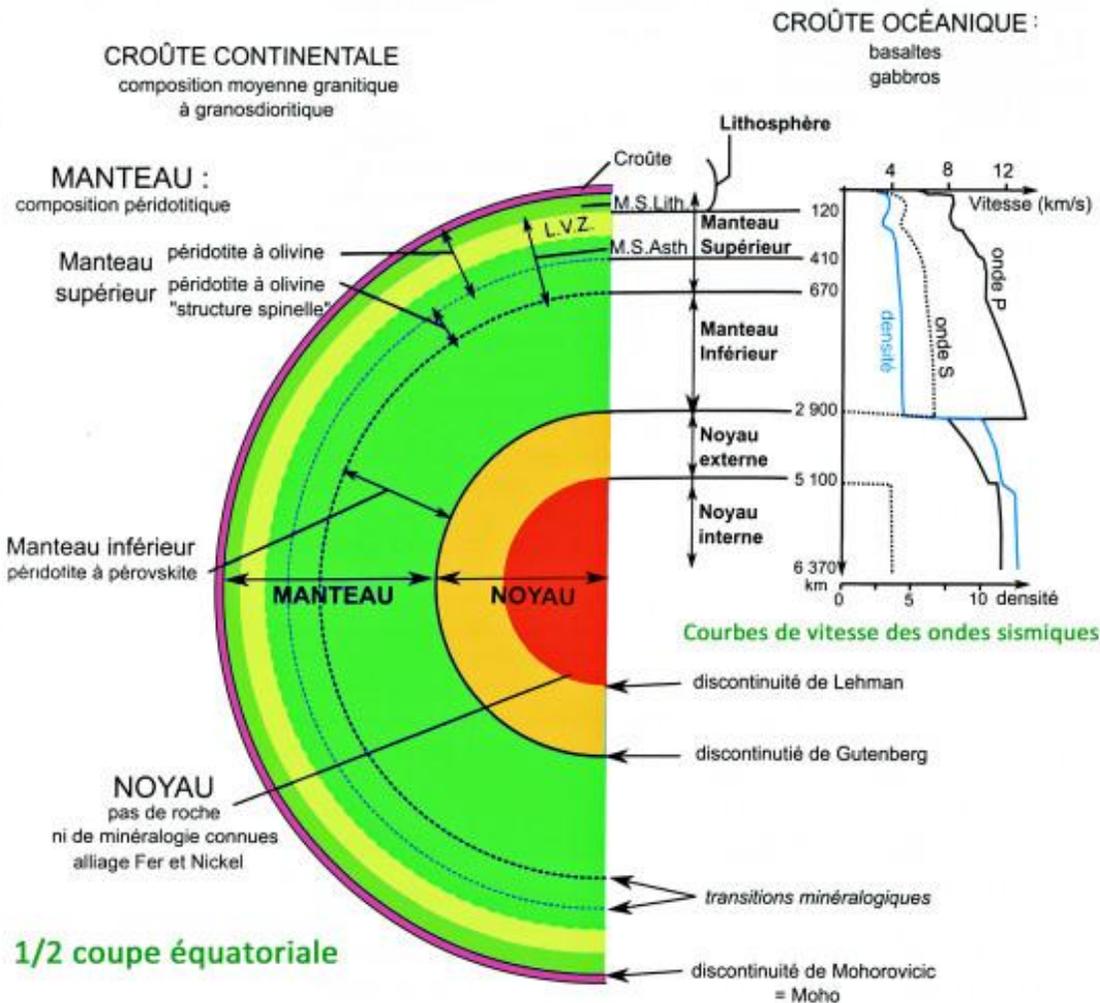
La Terre et le modèle PREM (Preliminary Reference Earth Model) :

- **La zone d'ombre (discontinuité de Lehmann)**
- *Le MOHO (discontinuité croûte / manteau)*
- *La LVZ (zone transition lithosphère / asthénosphère)*

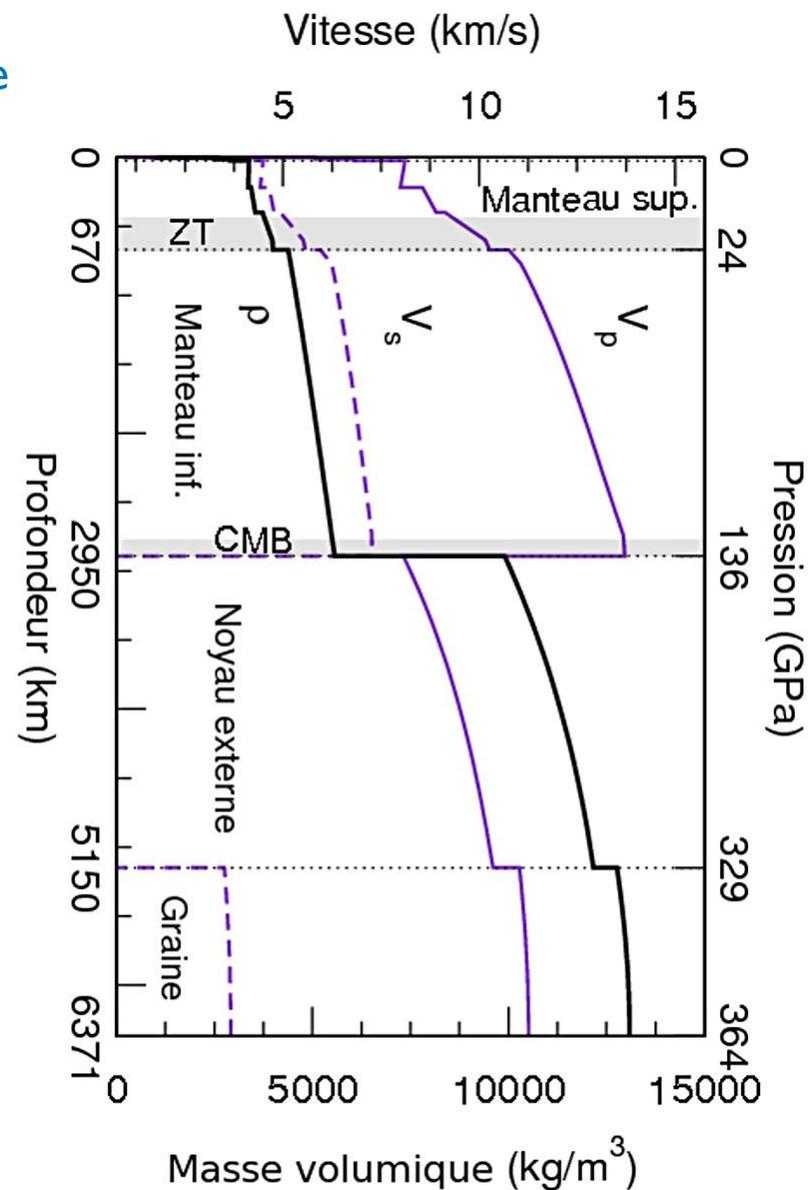
# Le modèle PREM : étude de la « zone d'ombre sismique »

Qu'est-ce que le modèle PREM (Preliminary Reference Earth Model, 1981) ?

C'est un modèle « sphérique » qui décrit la structure interne du globe terrestre



Structure interne et composition de la Terre



# Le modèle PREM : étude de la « zone d'ombre sismique »

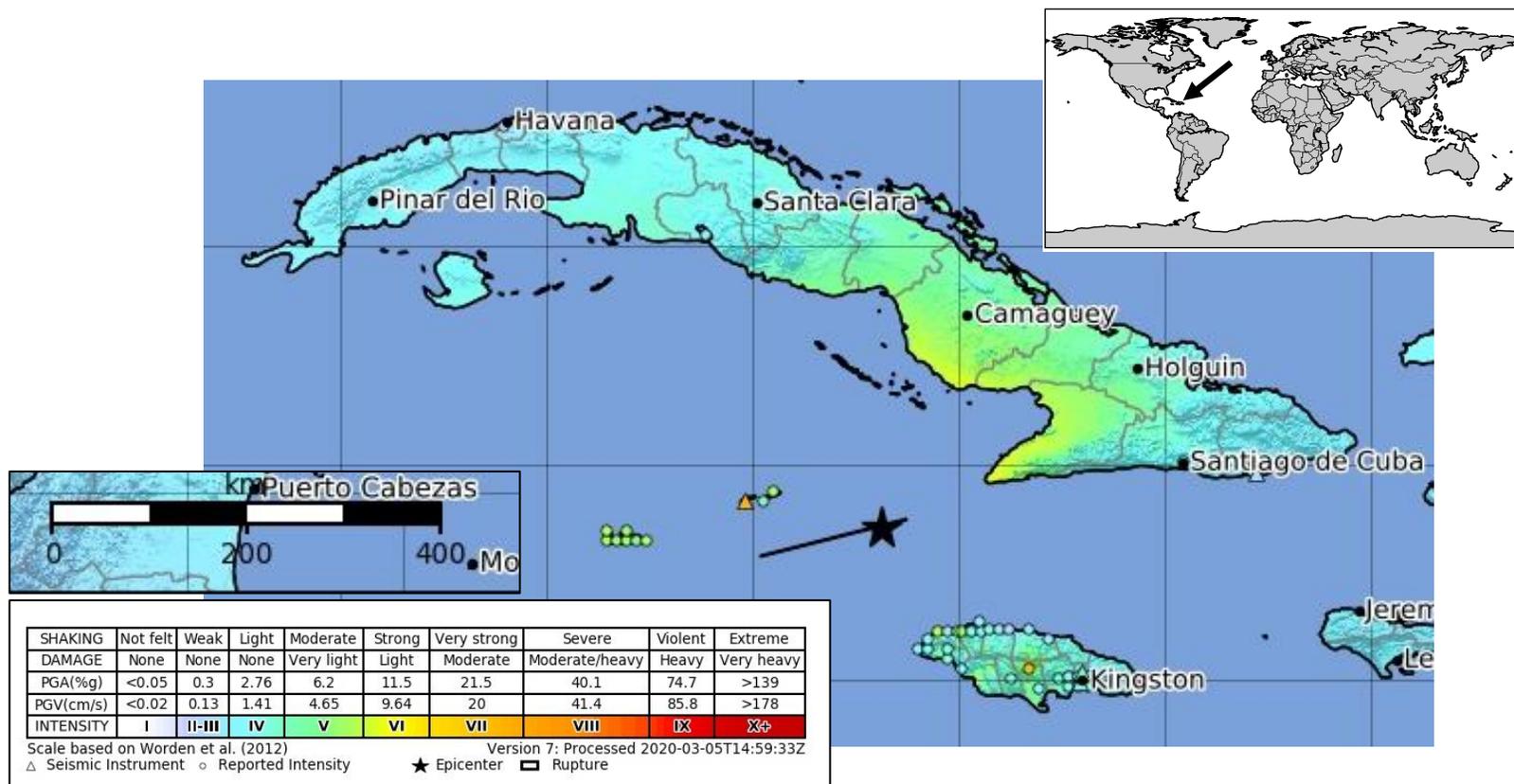
Etudier la zone d'ombre revient de conforter le modèle PREM à partir de l'analyse de données sismologiques :

on part du modèle

on observe les données

on conforte le modèle

Il faut travailler avec un séisme puissant, qui a été enregistré à de très grandes distances

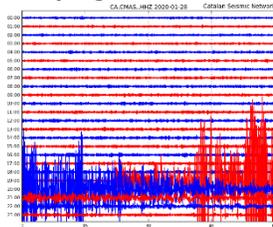


Le séisme de Lucea (Jamaïque)  
28 janvier 2020  
Mw=7,7

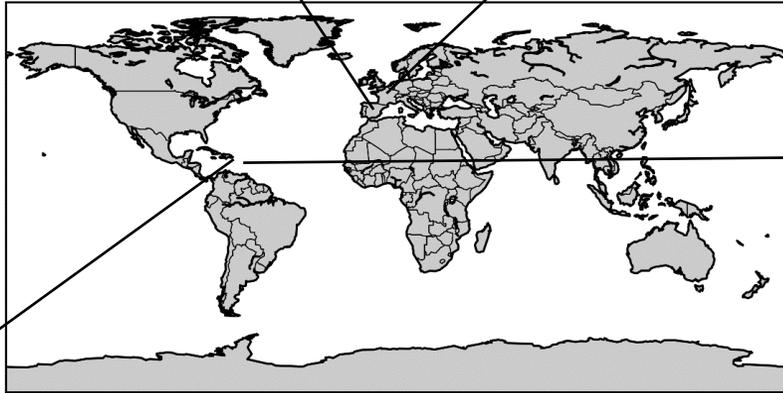
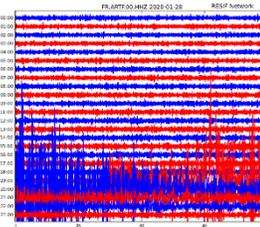
# Le modèle PREM : étude de la « zone d'ombre sismique »

Un séisme dont les ondes sismiques ont été détectées sur toute la surface du globe

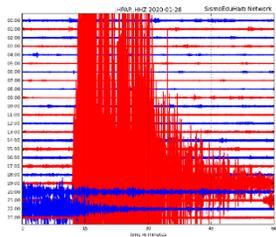
Espagne



Métropole

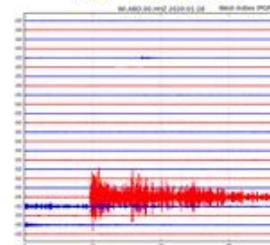


Haïti

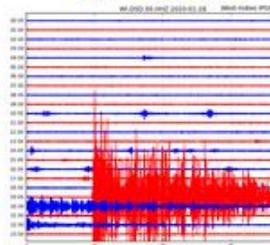


Antilles

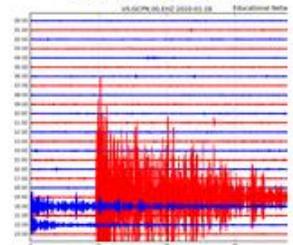
ABD - 28/01/2020



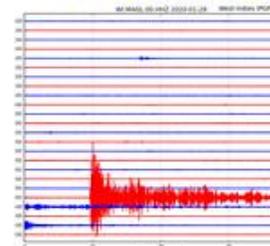
DSD - 28/01/2020



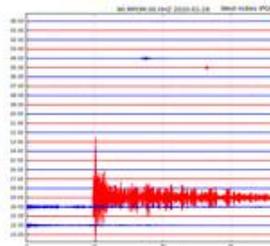
GCPN - 28/01/2020



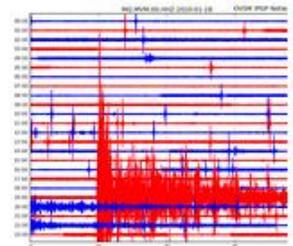
MAGL - 28/01/2020



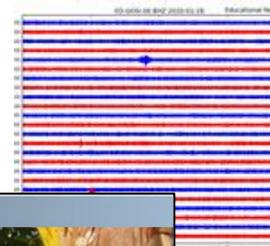
MPOM - 28/01/2020



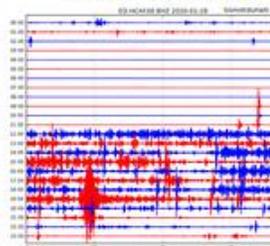
MVM - 28/01/2020



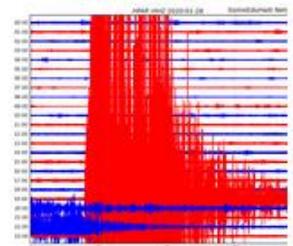
GOSI - 28/01/2020



HCAY - 28/01/2020

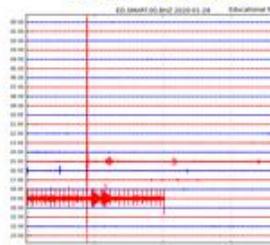
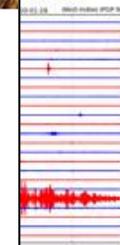


HPAP - 28/01/2020

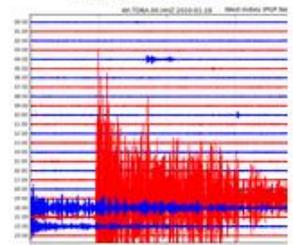


1/2020

SMART - 28/01/2020



TDBA - 28/01/2020



Network Live Data Center Tools Lab Teachers Room Partenaires EDUSEIS EduChallenge

Bienvenue sur les bases de données EDUSEIS - CARAIBES

EduMed-Obs > EDUSEIS > Vous êtes dans l'espace des données "EDUSEIS - CARAIBES"

A l'écoute sismique de la Terre !

L'Observatoire EduMed propose de consulter les données sismiques de son propre réseau éducatif, mais aussi des données provenant d'autres réseaux éducatifs, ainsi que des données de recherche.

---> A lire : sources des données ! <---

En manque d'idées pour vos progressions ? Cliquez ici !

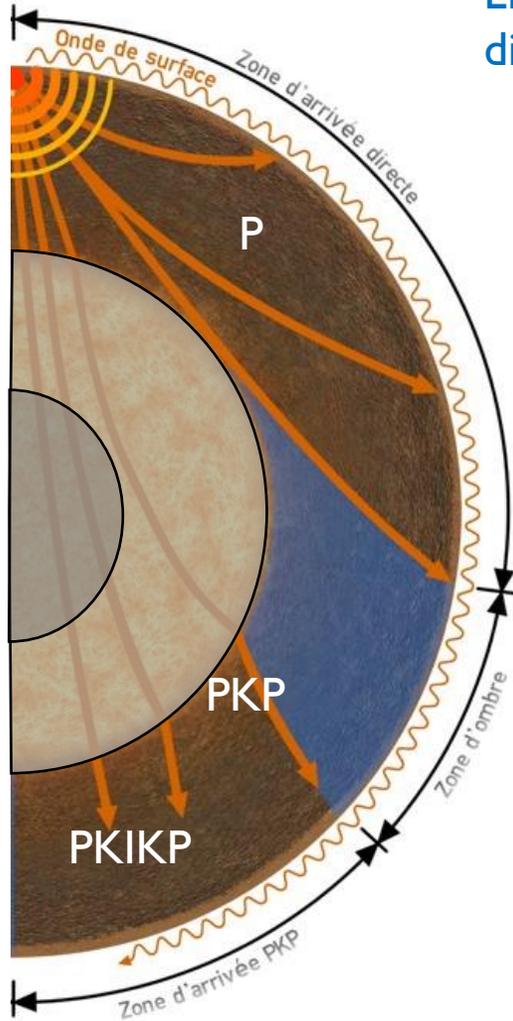
En ce moment / Currentity Séismes récents / Last quakes Réseau SISMO / Network Dérouleurs journaliers / Dayplots Recherche de sismicité / Seismicity Sismogrammes d'intérêt pédagogique / Seismograms

Ma station / My station

Aujourd'hui / Today Journées passées / Past dayplots

## ➤ Petit préambule :

En fonction des structures qu'elles traversent au cours de leur voyage, les ondes prennent différents noms. Exemple pour les ondes P :



l'onde P, qui ne se propage que dans le manteau (P)

l'onde PKP, qui :

- s'est propagé dans le manteau (P),
- s'est propagé dans le noyau liquide (K),
- s'est re-propagé dans le manteau avant d'atteindre la surface (P)

l'onde PKIKP : qui :

- s'est propagé dans le manteau (P),
- s'est propagé dans le noyau liquide (K),
- s'est propagé dans le noyau solide (I),
- s'est re-propagé dans le noyau liquide (K),
- s'est re-propagé dans le manteau avant d'atteindre la surface (P)

## Séisme de Lucea (Jamaïque) du 28 janvier 2020, Mw=7,7

- A partir de l'espace EDUSEIS/Caraibes – onglet « Sismogrammes d'intérêts pédagogiques »
  - ✓ Rechercher le séisme « CUBA REGION AND SHADOW ZONE »
  - ✓ Choisir l'option « Ouvrir avec Tectoglob3D »

EDU MED Network Live Data Center ▼ Tools Lab Teachers Room Partenaires EDUSEIS ▼ EduChallenge

Bienvenue sur les bases de données EDUSEIS - CARAIBES

EduMed-Obs > EDUSEIS > Vous êtes dans l'espace des données "EDUSEIS - CARAIBES"

### A l'écoute sismique de la Terre !

L'Observatoire EduMed propose de consulter les données sismiques de son propre réseau éducatif, mais aussi des données provenant d'autres réseaux éducatifs, ainsi que des données de recherche.

---> A lire : sources des données! <---

En manque d'idées pour vos progressions ? Cliquez ici !

En ce moment / Currently Séismes récents / Last quakes Réseau SISMO / Network Dérouleurs journaliers / Dayplots Recherche de sismicité / Seismicity **Sismogrammes d'intérêt pédagogique / Seismograms**

Ma station / My station

**2021.01.28 / 19h10m25s / M=7.7 / CUBA REGION AND SHADOW ZONE**  
Un jeu de données spécifiquement adapté à l'étude d'une zone d'ombre - Première générale spécialité SVT

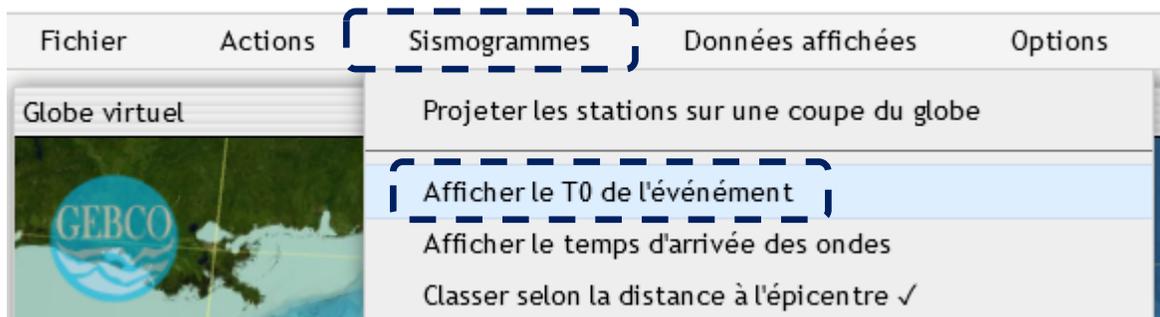
Télécharger le zip

Ouvrir avec Tectoglob3D

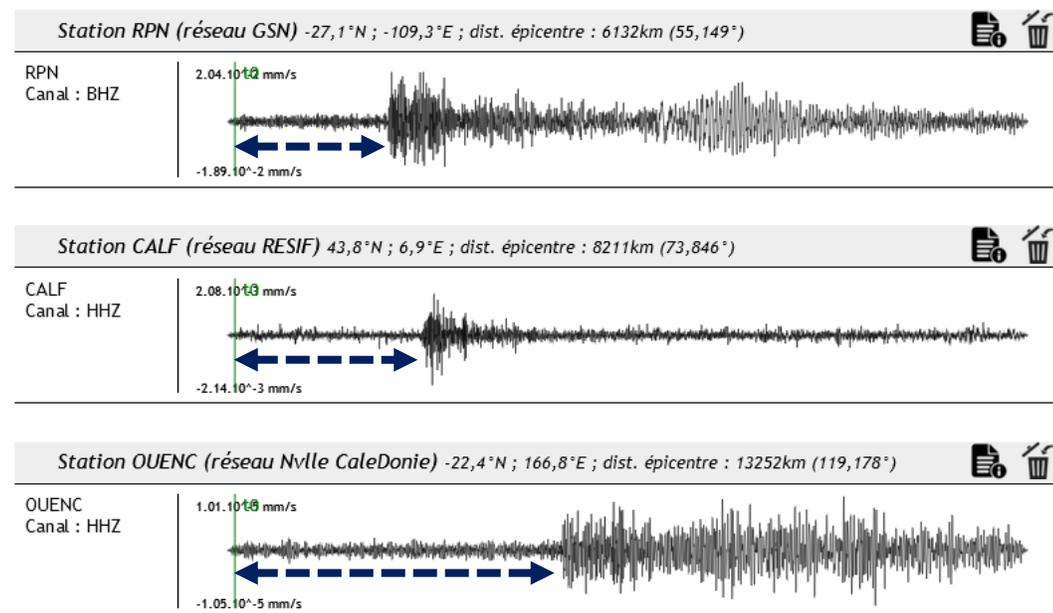
## Séisme de Lucea (Jamaïque) du 28 janvier 2020, $M_w=7,7$

- Repérer l'épicentre (point blanc entouré d'un cercle rouge)
- Repérer l'ensemble des stations d'enregistrements
- Afficher l'heure d'origine du séisme

Onglet Sismogrammes / Afficher le  $T_0$  de l'évènement

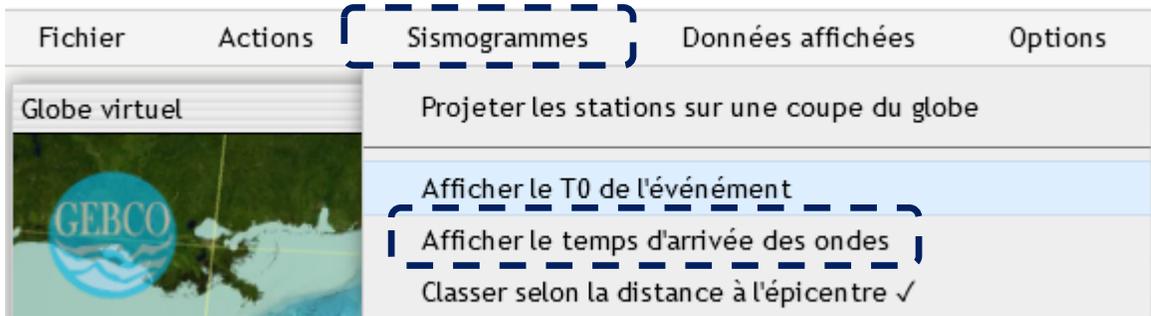


- Analyser l'heure d'arrivée des ondes aux différentes stations
- Quel paramètre principal est à l'origine des décalages observés ?



Séisme de Lucea (Jamaïque) du 28 janvier 2020,  $M_w=7,7$

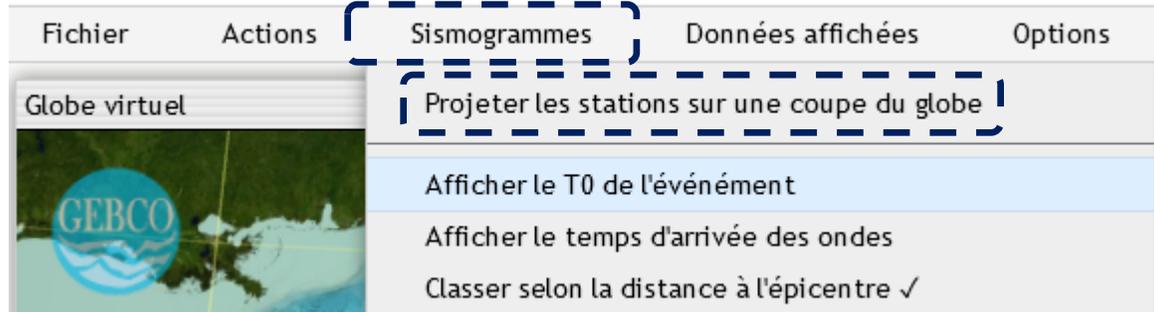
- Afficher les arrivées théoriques des ondes P , S , PKP , et PKIKP



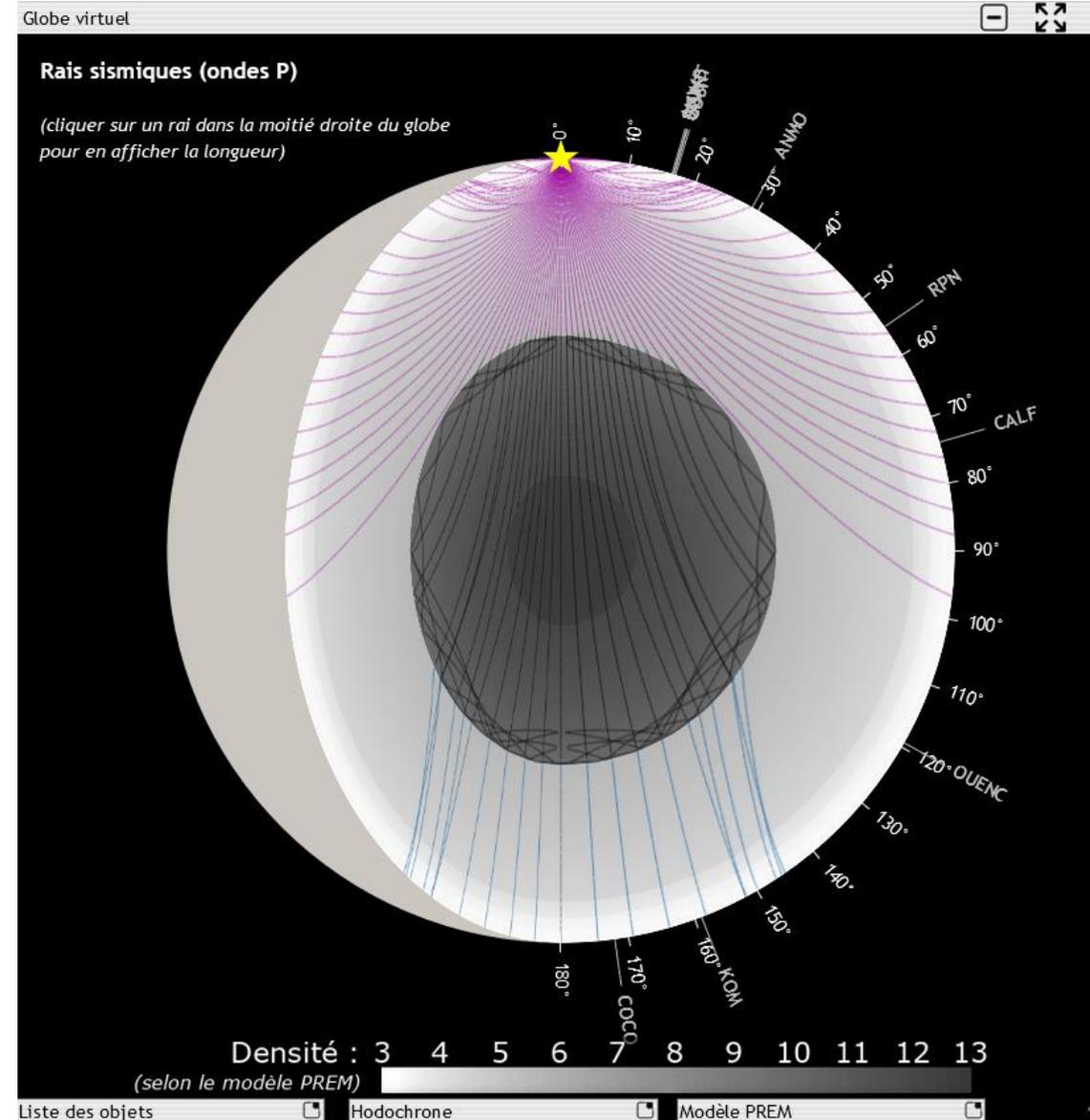
- Analyser les ondes sismiques enregistrées au niveau de chaque station
- Quel constat peut-on mettre en avant à partir de cette analyse ?
- Est-il possible d'estimer un ordre de grandeur de la distance à partir de laquelle les ondes P et S ne sont plus visibles ?

Séisme de Lucea (Jamaïque) du 28 janvier 2020,  $M_w=7,7$

- Activer le module 'Projeter les stations sur une coupe du globe'



- Repérer les stations sur le pourtour du globe
- Est-ce que les arrivées des ondes sismiques aux stations sont cohérentes avec le document fourni en préambule ?
- Le terme « zone d'ombre » signifie-t-il qu'aucune onde sismique ne se propage dans cette zone ?



## Séisme de Lucea (Jamaïque) du 28 janvier 2020, Mw=7,7

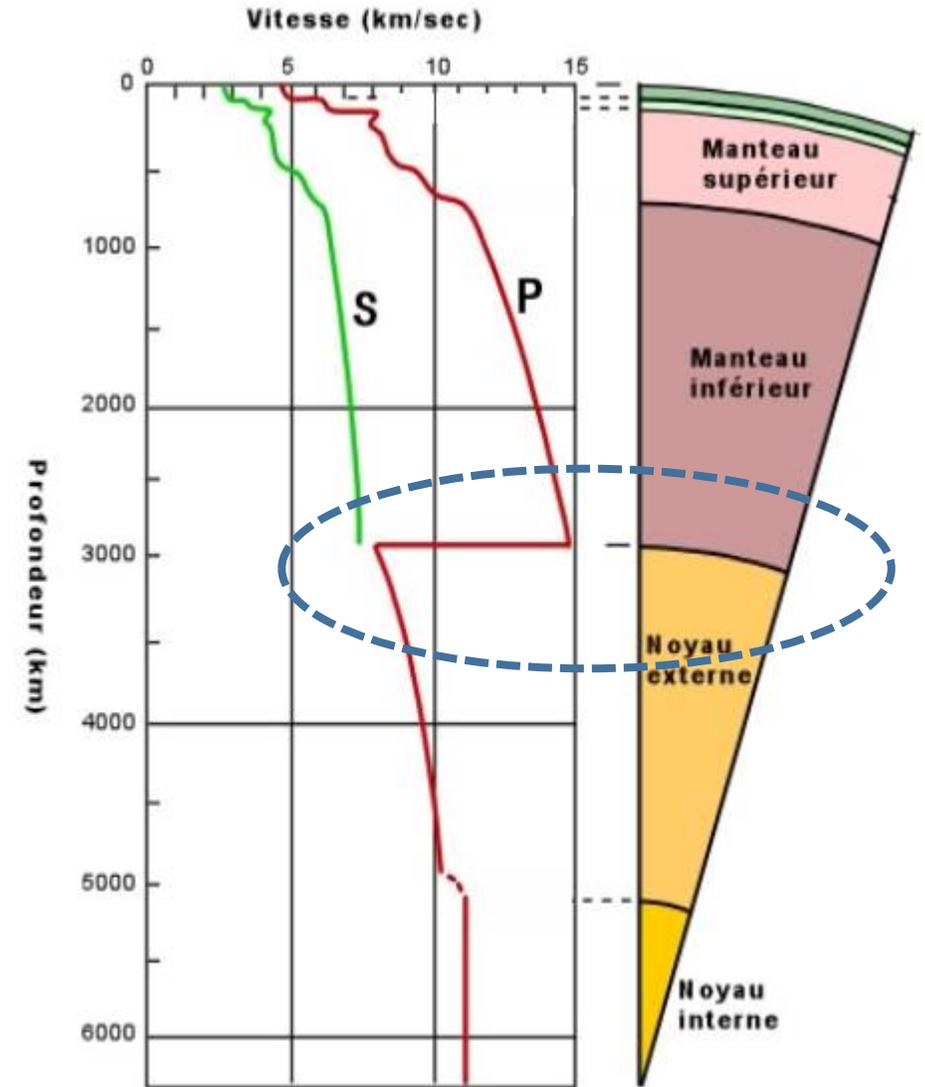
La vitesse des ondes :

station	distance du parcours (km)	temps d'arrivée (s)	vitesse (km/s)
ANWB/SMART/GCPN/GOSI	1747	229	7,6
ANMO	3444	362	9,5
RPN	6258	577	10,8
CALF	7766	708	11,0
KOM	12553	1205	10,4
COCO	12729	1239	10,3

La vitesse ne fait pas qu'augmenter avec la profondeur

Le passage de l'interface manteau semi-rigide / noyau liquide provoque une chute de la vitesse !

- Proposer un protocole expérimental pour mettre en évidence une variation de vitesse de propagation des ondes en fonction des matériaux



## Partie MANIP

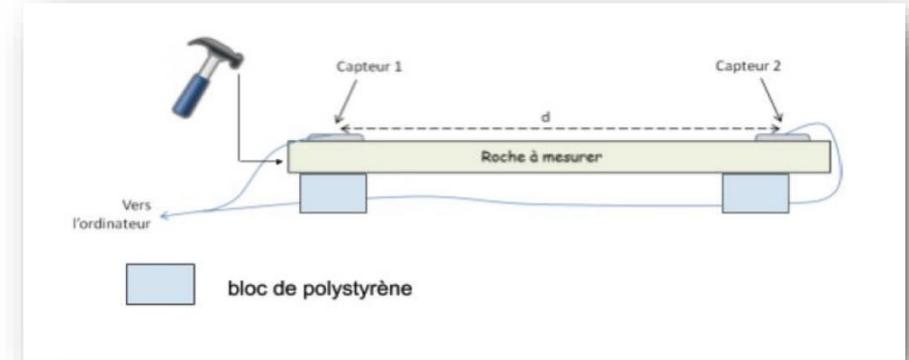
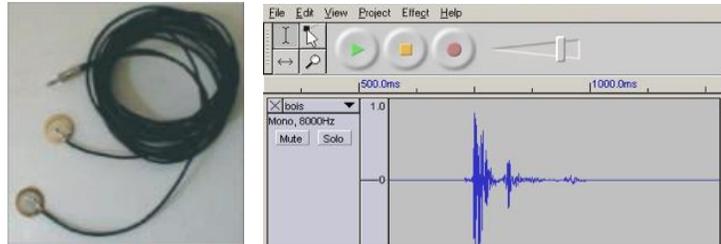


Sismologie et structure interne du globe / discontinuités  
Propagation ondes sismiques, Modèle de Terre PREM

### ❖ Les capteurs piézo-électriques et le logiciel Audacity



Audacity

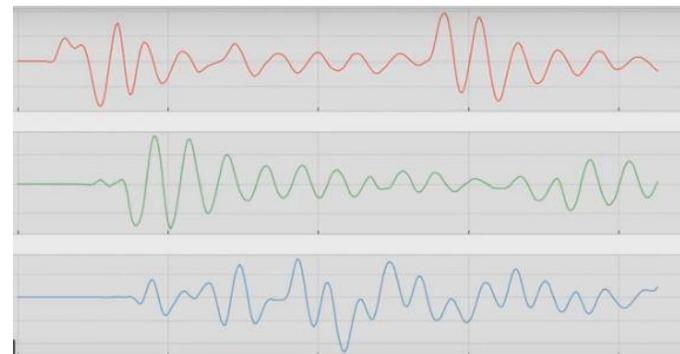
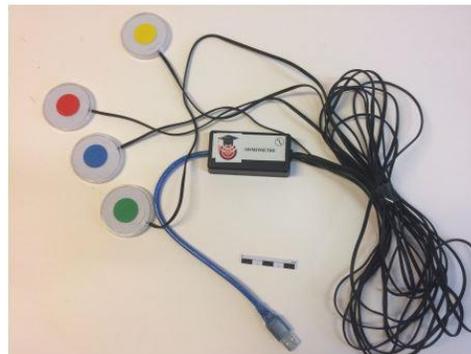


RISSC : <http://edumed.unice.fr/toolslab/RISSC/>  
Capteurs : <https://www.la-mep.com/>

### ❖ Les capteurs piézo-électriques et le logiciel RISSC ( EduMed)

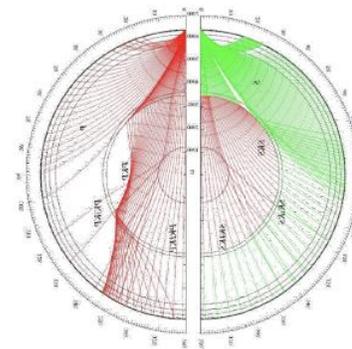
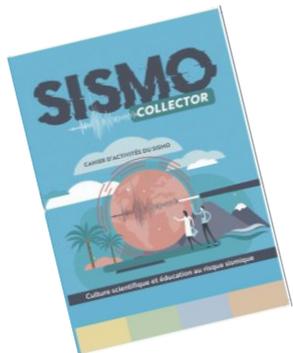


RISSC



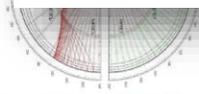
## Partie MANIP

### Sismologie et structure interne du globe / discontinuités Propagation ondes sismiques, Modèle de Terre PREM



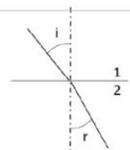
#### Partie MANIP

Matériel : aquarium sphérique (rayon 8 cm), ampoule sphérique (rayon 4 cm), solution sucrée (20W, 12V). Dans ce modèle, les rayons lumineux émis par la lampe halogène jouent le rôle de l'aquarium joue le rôle du manteau, et l'intérieur de l'ampoule celui du noyau. En remplissant différentes solutions, on peut simuler (ou non) la formation de la zone d'ombre.



1/ Aquarium rempli d'eau (milieu 1), ampoule contient de l'air (milieu 2).  $n_2/n_1=1/1.33$  donc  $V_1/V_2=0,75 >$  pas de zone d'ombre  
2/ Aquarium rempli d'air (milieu 1), ampoule remplie d'eau (milieu 2),  $n_2/n_1=1,33$  donc  $V_1/V_2=1,33 >$  zone d'ombre  
On prouve que la vitesse de propagation des ondes P est plus importante dans le noyau que dans le manteau.

En appliquant la loi de Snell-Descartes, on peut prévoir l'inclinaison des rayons à la frontière séparant deux milieux 1 et 2. Ces lois nous permettent d'obtenir la relation suivante, liant la vitesse de propagation de la lumière, les indices de réfraction des milieux traversés et les angles d'incidence et de réfraction



$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$$

On rappelle que si « c » est la célérité de la lumière dans le vide et « v » cette célérité dans le milieu étudié, l'indice de réfraction « n » de ce milieu est, par définition :  $n = \frac{c}{v}$

Les proportions noyau/manteau devront être approximativement respectées :

$$\frac{R_{\text{aquarium}}}{R_{\text{ampoule}}} = \frac{8}{4} = 2 \quad \frac{R_{\text{Terre}}}{R_{\text{noyau}}} = \frac{6371}{3480} = 1,8$$

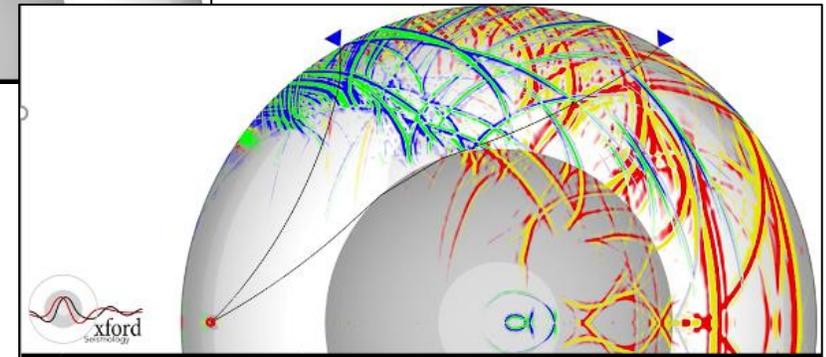
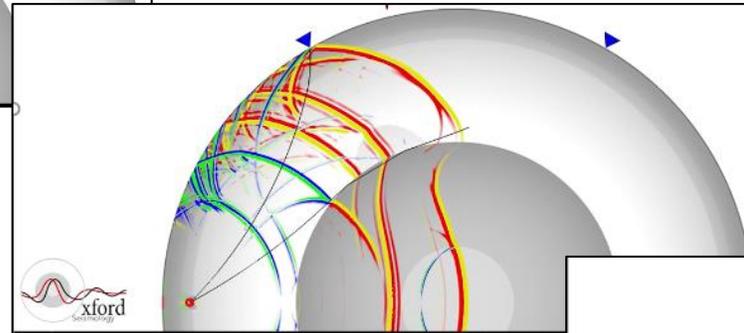
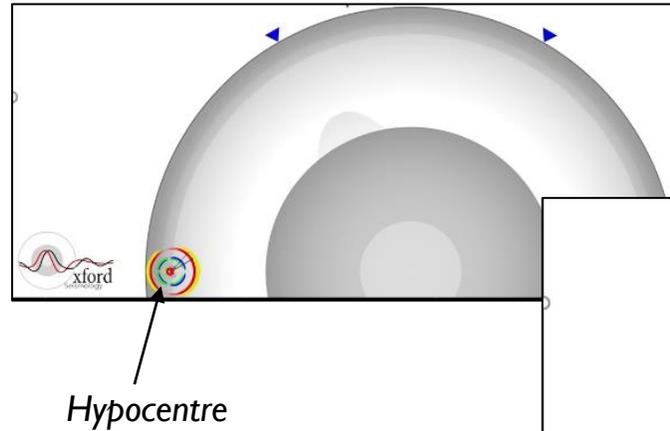
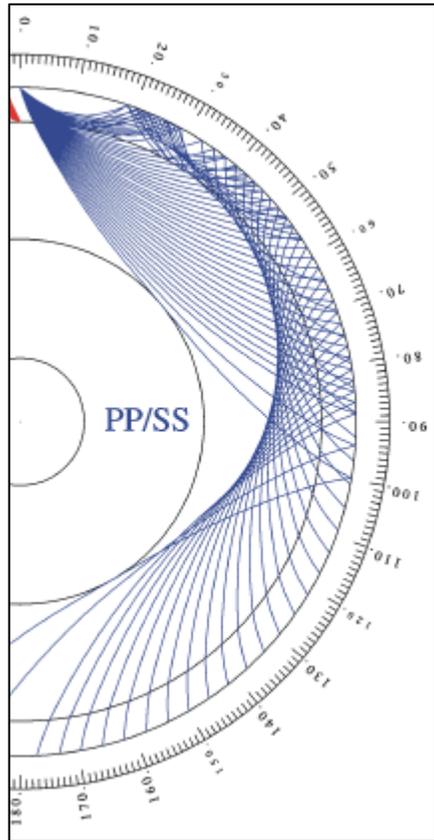
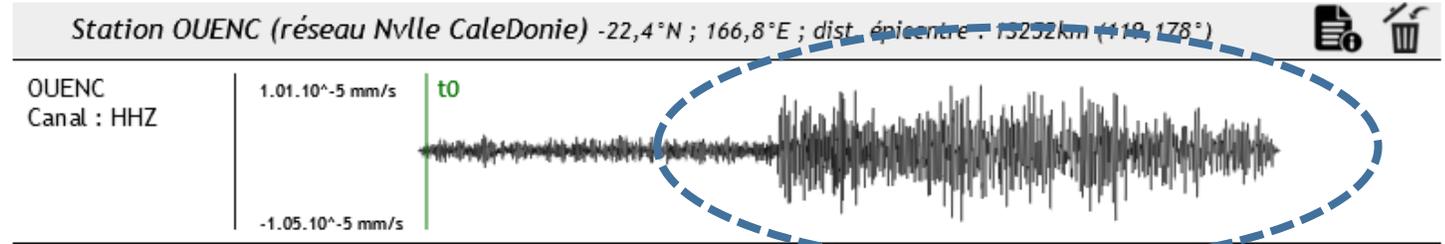
1/ Aquarium rempli d'eau (milieu 1), ampoule contient de l'air (milieu 2).  $n_2/n_1=1/1.33$  donc  $V_1/V_2=0,75 >$  pas de zone d'ombre  
2/ Aquarium rempli d'air (milieu 1), ampoule remplie d'eau (milieu 2),  $n_2/n_1=1,33$  donc  $V_1/V_2=1,33 >$  zone d'ombre  
On prouve que la vitesse de propagation des ondes P est plus importante dans le noyau que dans le manteau.

analyse des données  
+  
des manips  
=

bonne approche pour consolider ces notions

## Séisme de Lucea (Jamaïque) du 28 janvier 2020, Mw=7,7

Et les ondes enregistrées à la station OUENC ?



Modélisation de la propagation d'ondes sismiques  
Université d'Oxford  
[https://www.youtube.com/watch?v=mFXllw\\_Dbbc](https://www.youtube.com/watch?v=mFXllw_Dbbc)

## La Terre, la vie et l'organisation du vivant

- La dynamique de la lithosphère
  - ✓ La caractérisation de la mobilité horizontale
  - ✓ La dynamique des zones de convergence :
    - ❖ Les zones de subduction
      - **Mobilité horizontale et GPS**
      - **Zone de subduction**

## ➤ La dynamique de la lithosphère

## ✓ La caractérisation de la mobilité horizontale

En 1970 :  
Publication de X. Le Pichon  
Géodynamicien

### Résumé

« La tectonique des plaques admet que les zones orogéniques, où se dissipe l'essentiel de l'énergie mécanique, sont les zones où **des mouvements horizontaux différentiels entre plaques lithosphériques rigides se produisent.** Le succès de l'hypothèse dépend du fait que les déformations aismiques à l'intérieur des plaques sont beaucoup plus faibles que les mouvements le long des zones sismiques. La rigidité des plaques permet donc de traiter de leur cinématique de manière rigoureuse ».

Des satellites en orbite autour de la Terre sont spécialisés dans la mesure de la position de balises à la surface de la planète.



« Vecteur » GPS qui indique :  
- un sens de déplacement  
- une vitesse de déplacement

entre deux dates données  
(moyenne)

## ➤ La dynamique de la lithosphère

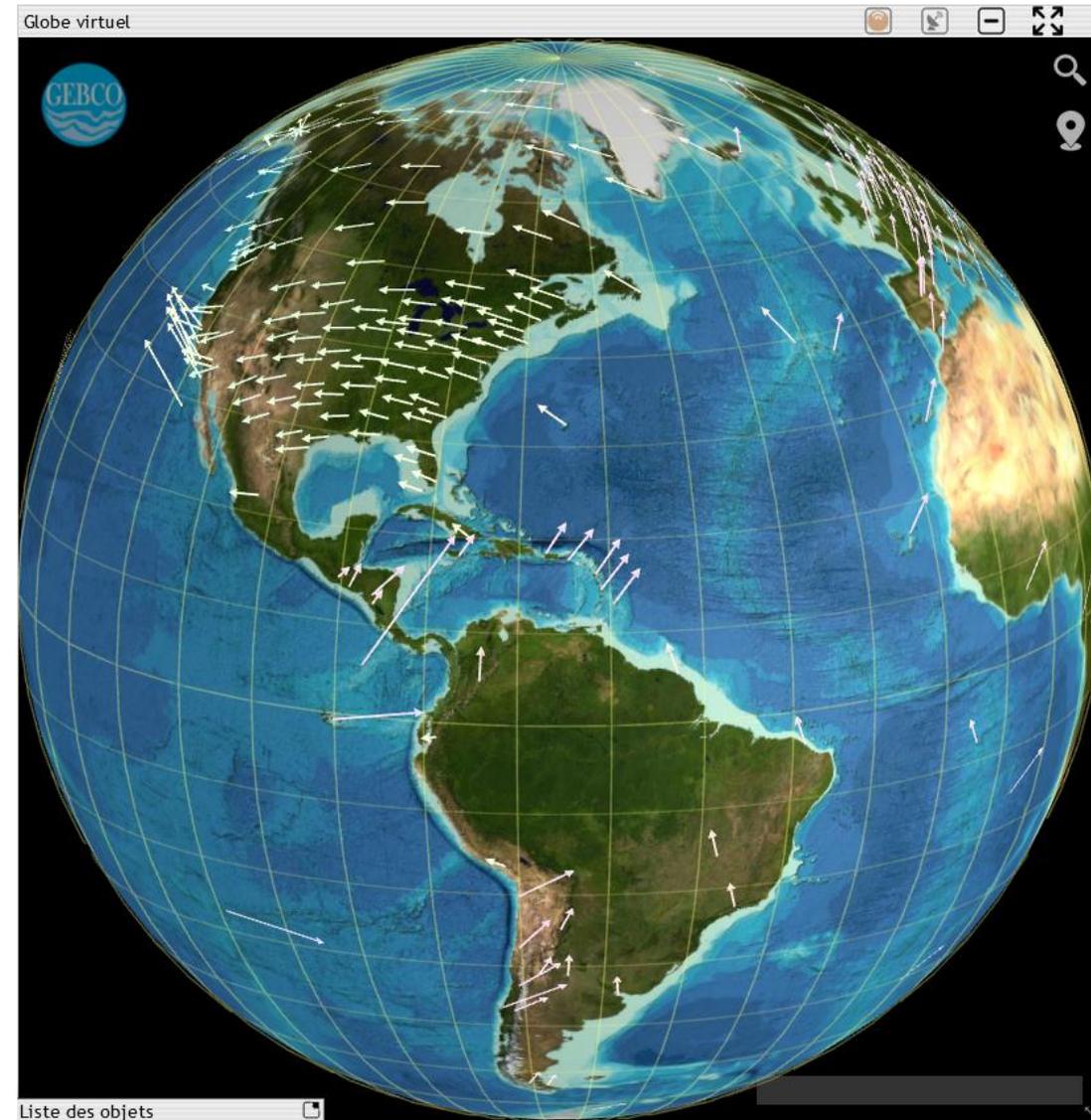
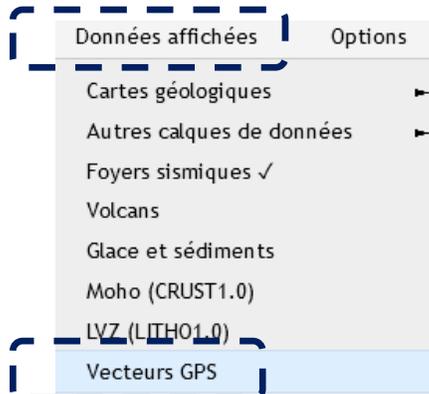
## ✓ La caractérisation de la mobilité horizontale

Les satellites mesurent à différents moments la position des balises au sol, et il est possible de comparer la position entre plusieurs mesures.

Un déplacement dans une direction donnée est indiqué par une flèche, ou « vecteur GPS », qui donne deux informations :

- Une direction de déplacement (degré)
- Une vitesse de déplacement (mm/an)

## ➤ Afficher les vecteurs GPS de la base de données de Tectoglob3D



- La dynamique de la lithosphère
- ✓ La caractérisation de la mobilité horizontale

Comment mettre en évidence les témoins de cette mobilité ?

- La géodésie

- Au regard des données affichées :

- ✓ Identifier des balises permettant d'avoir :

- ❖ une information sur le déplacement de la plaque caraïbes
- ❖ Une information sur le déplacement de la plaque nord-américaine

- ✓ Dans quelle direction globale se déplace :

- ❖ la plaque nord-américaine ?
- ❖ La plaque caraïbes ?

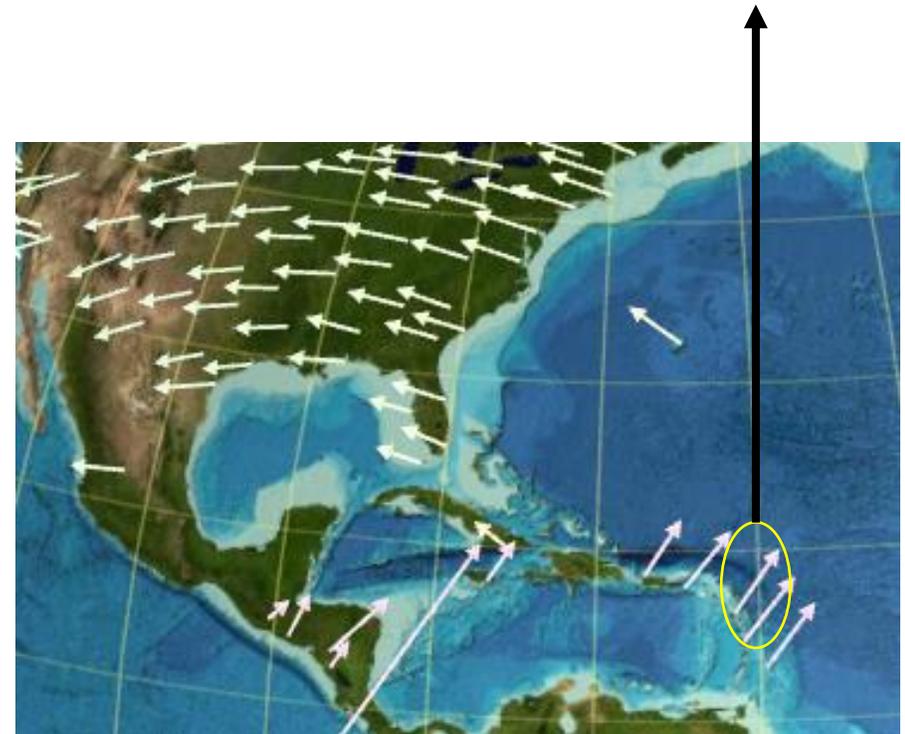
- ✓ Que se passe-t-il au niveau de leur frontière commune ? Quels phénomènes sont ainsi provoqués ?

Balise GPS la plus proche : ABMF, à une distance de 85 km

(graphique) (photographie) (choisir comme référence)

Vitesses par rapport au référentiel ITRF2008

vLati:15,28mm/an | vLongi:10,97mm/an | vGlobale:18,8mm/an



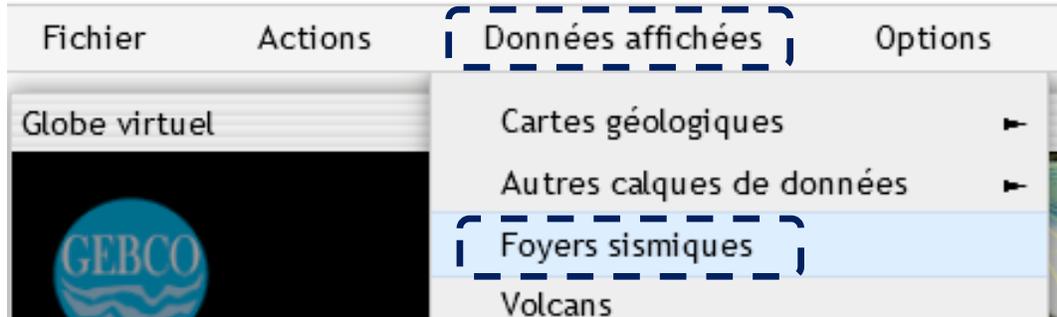
- La dynamique de la lithosphère
- ✓ La caractérisation de la mobilité horizontale

Comment mettre en évidence les témoins de cette mobilité ?

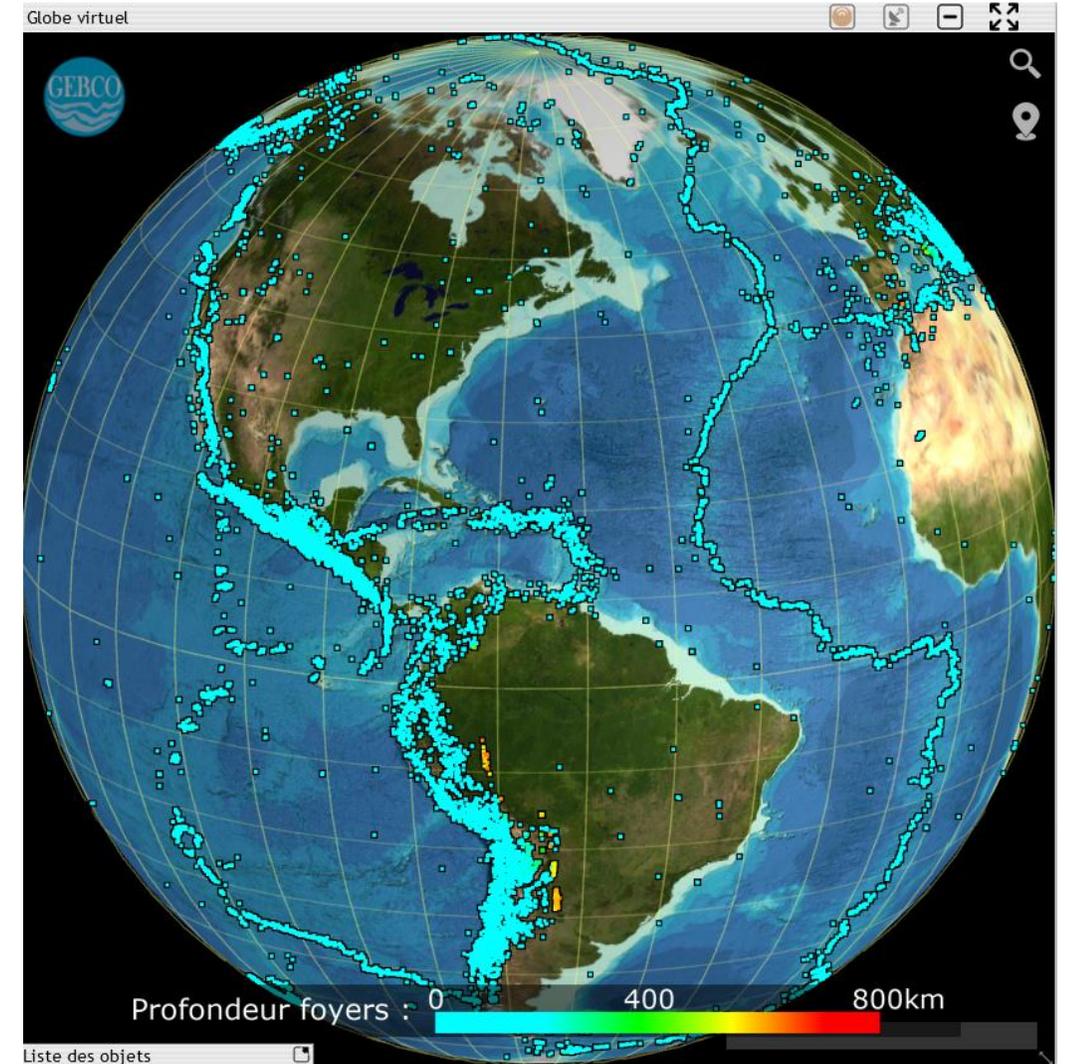
- La sismologie

- Afficher les foyers sismiques de la base de données sismiques de Tectoglob3D

Onglet Données affichées / Foyers sismiques



Accord entre mouvements GPS et sismicité  
pour conforter la mobilité horizontale des plaques

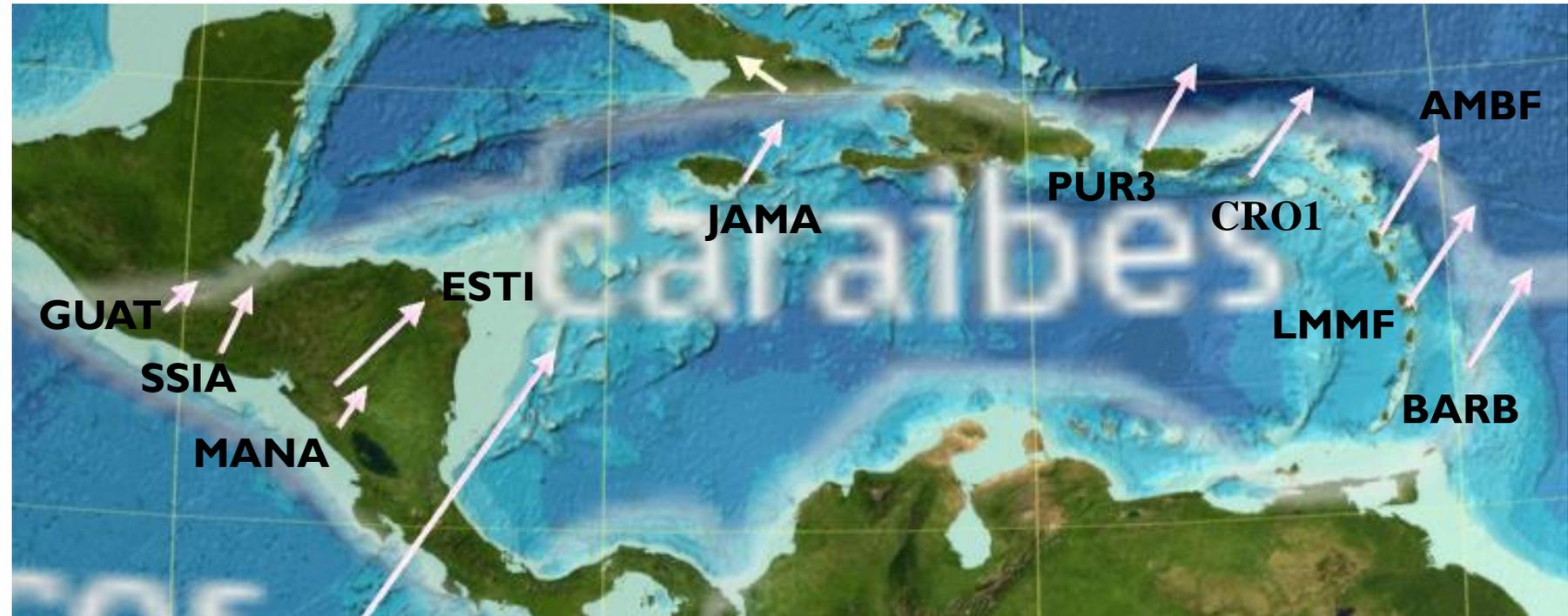


- La dynamique de la lithosphère
- ✓ La caractérisation de la mobilité horizontale

**Pour aller plus loin**

- Au regard des données affichées :
  - ✓ Relever les vitesses globales associées aux vecteurs GPS disponibles pour la plaque caraïbes. Que dire du déplacement de cette plaque en ces différents points de mesures ?
  - ✓ Qu'est-ce que cela peut signifier pour la plaque caraïbes ?

station GPS	vitesse globale (mm/an)
GUAT	4,1
SSIA	9,9
MANA	5,2
ESTI	20,2
JAMA	15,5
PUR3	17,5
CRO1	18,8
LLMF	20,2
BARB	19,3

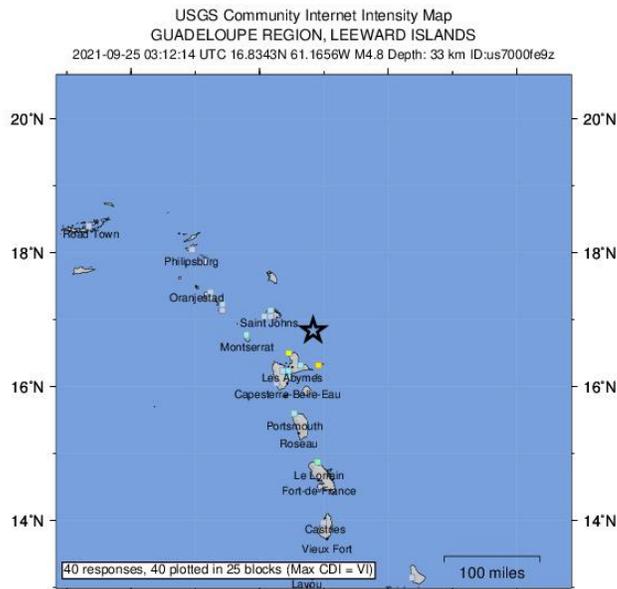


## La Terre, la vie et l'organisation du vivant

- La dynamique de la lithosphère
  - ✓ La caractérisation de la mobilité horizontale
  - ✓ La dynamique des zones de convergence :
    - ❖ Les zones de subduction
      - *Mobilité horizontale et GPS*
      - **Zone de subduction**

## Retour sur la Piste pédagogique II : étudier un risque naturel local (collège)

- Présentation du séisme de Guadeloupe – 24 septembre 2021, 23h12m, Prof : 17 km, M=5,3



### Sismicité régionale

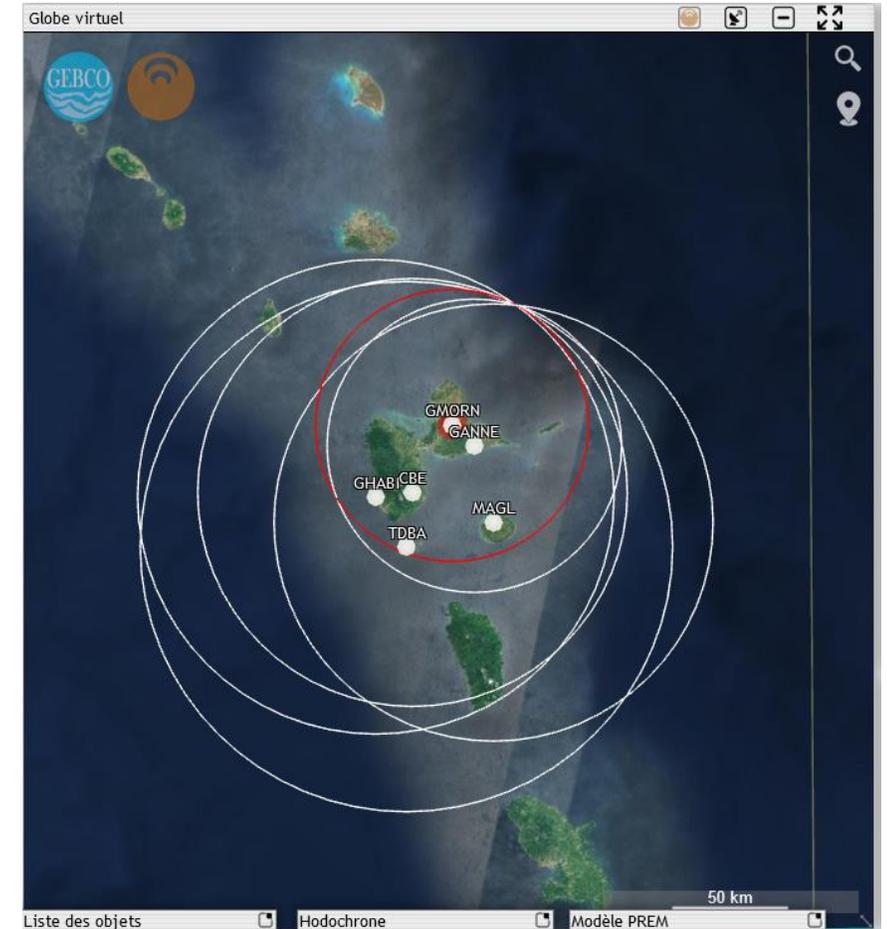
L'Observatoire a enregistré au cours du mois un total de **54** séismes d'origine tectonique, de magnitude maximale **5.34**. La Figure 7 montre la carte des épicentres dans une région d'environ 550 km autour de la Guadeloupe.

En ce qui concerne l'archipel guadeloupéen, la répartition géographique de l'activité sismique est comparable à celle des mois précédents, avec une sismicité superficielle localisée principalement le long des grands systèmes de failles distribués entre la Martinique et Barbuda.

Le jeudi 9 septembre, un séisme modéré (M=5.3) d'origine tectonique a été enregistré à 20h43 heure locale et localisé à 58 km au nord-est de La Désirade, à une profondeur de 17 km. Ce séisme a été largement ressenti en Guadeloupe (intensité macroscopique IV-V).

Le vendredi 24 septembre, un séisme modéré (M=5.3) d'origine tectonique a été enregistré à 23h12 heure locale et localisé à 63 km au nord-est de La Désirade, à une profondeur de 18 km. Ce séisme a été largement ressenti en Guadeloupe (intensité macroscopique IV-V).

**15** séismes ont été enregistrés entre Les Saintes et la Dominique (voir la Figure 7). La majorité de ces séismes n'a pas pu être localisée (car de magnitude trop faible) et aucun séisme n'a été signalé ressenti.



- Séisme de Guadeloupe – 24 septembre 2021, 23h12m, Prof : 17 km, M=5,3

### Contextualisation de ce séisme dans la convergence entre la plaque caraïbes et la plaque Sud-Américaine

- Faire une requête de sismicité sur la base de données EDUSEIS : ex du 1<sup>er</sup> janvier 2018 au 16 novembre 2021

- Afficher le résultats sur tectoglob3D

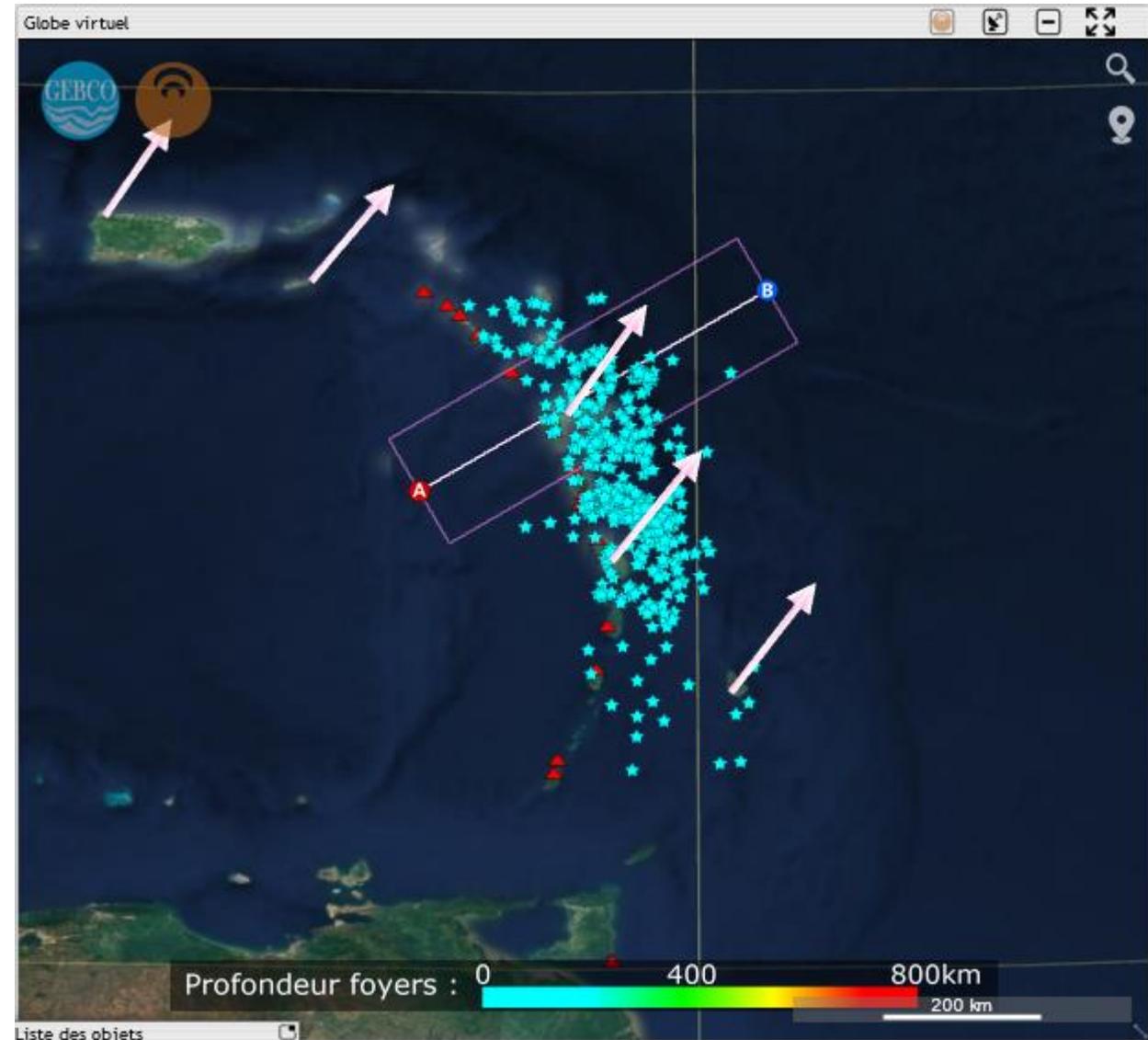
- Observer la distribution des épacentres

- Ajouter les vecteurs GPS

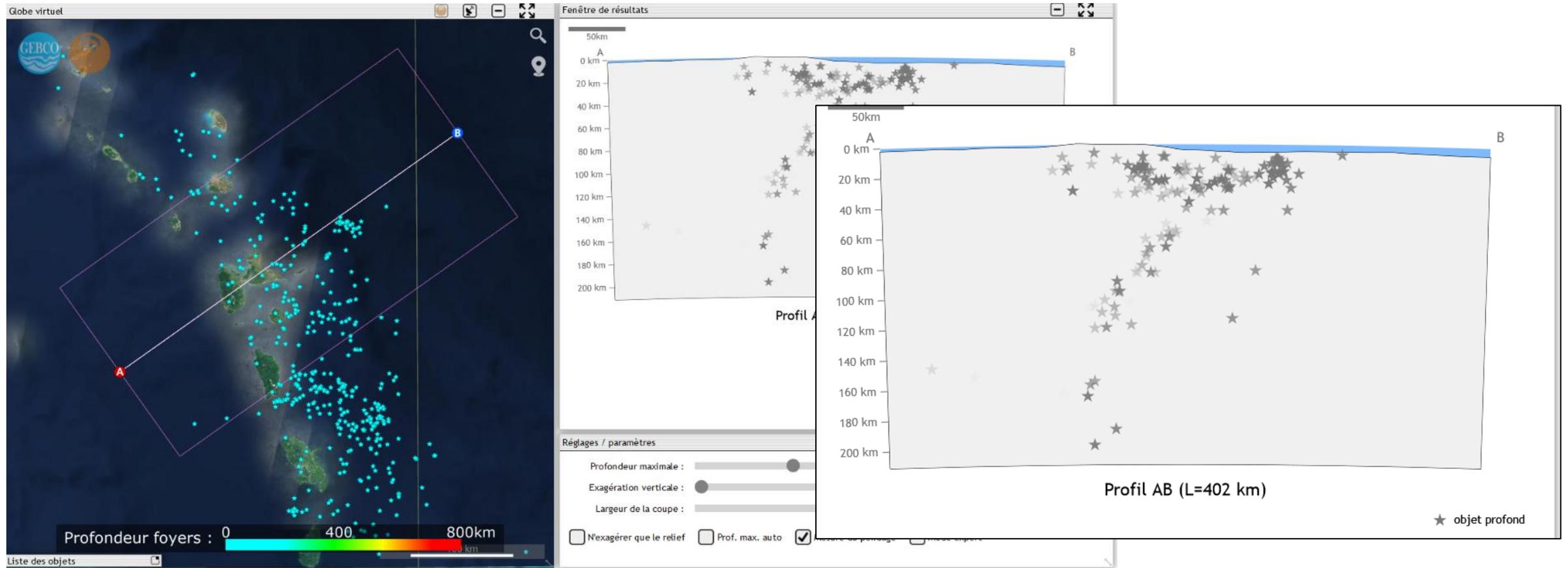
- Regarder les profondeurs des fonds océaniques

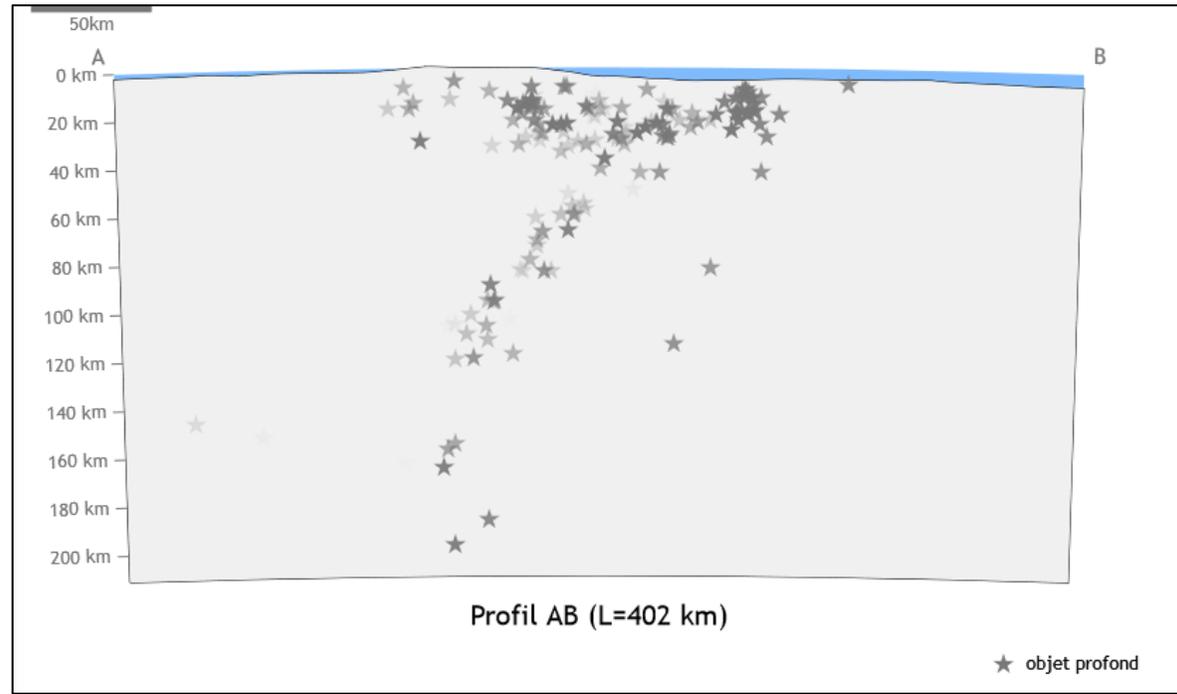
environnants

- Et d'autres marqueurs intéressants comme les volcans



- Tracer une coupe sur le globe
- Repérer la zone du séisme du 24 septembre 2021

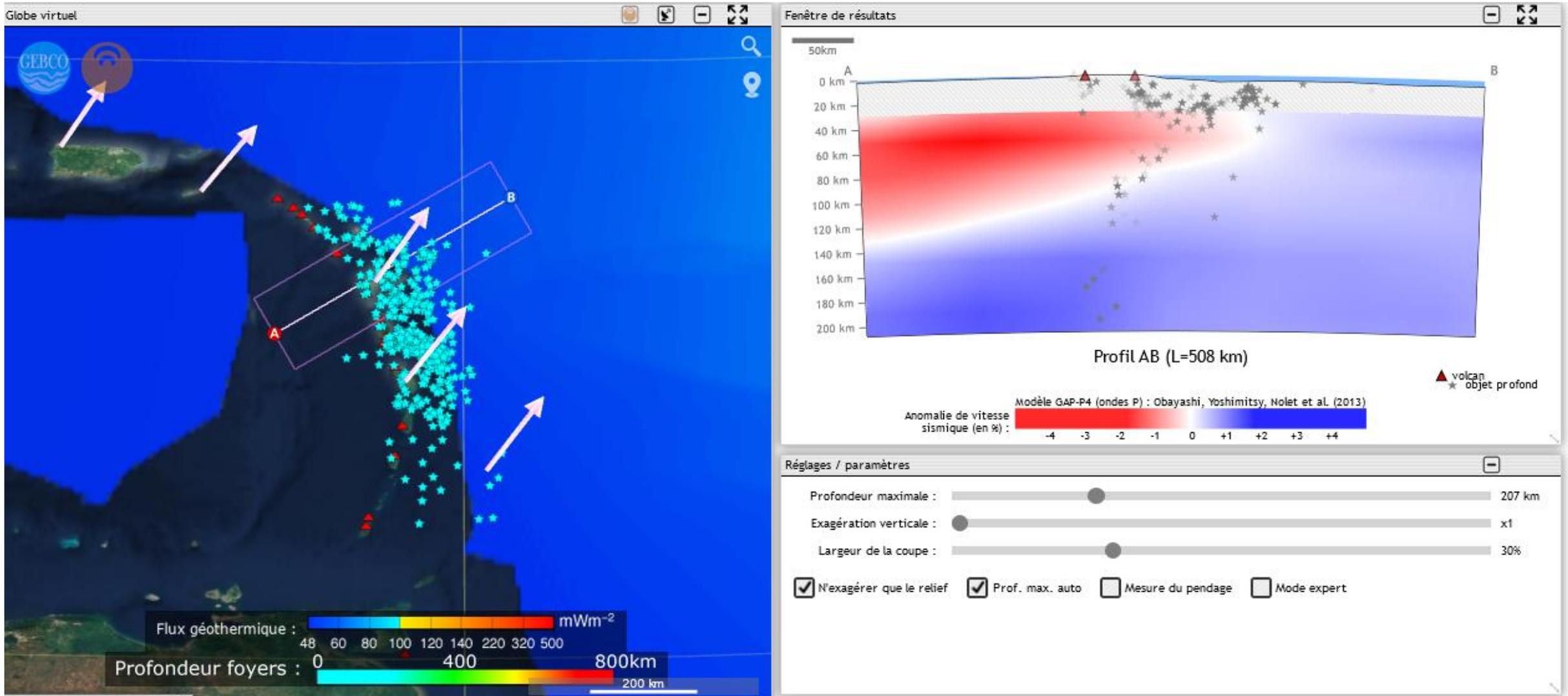




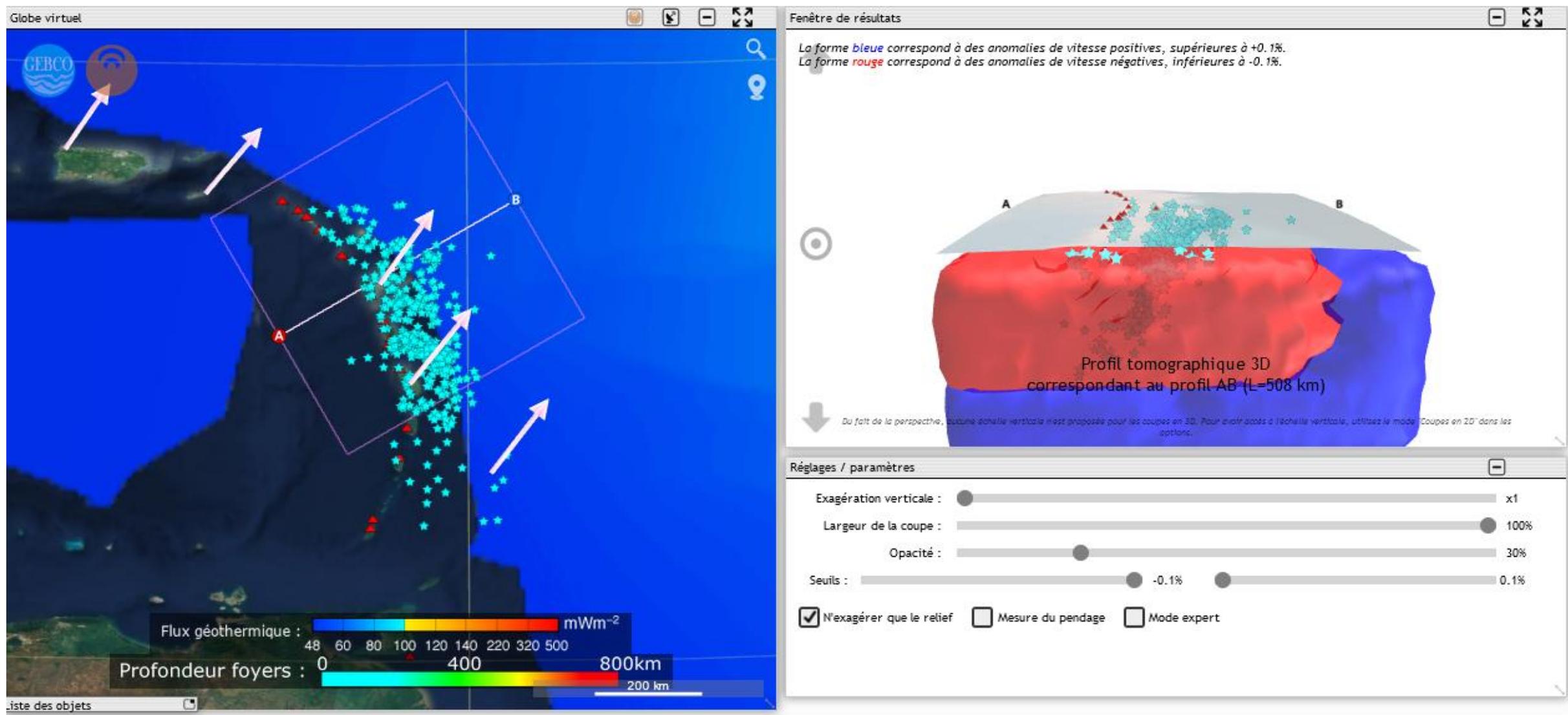
L'élève a construit sa coupe et voit que :

- la localisation du séisme est conforme avec le reste de la sismicité
- il y a un enfoncement de cette sismicité en profondeur (enfoncement d'une croûte rigide)
- Visualisation du plan de Wadati-Benioff

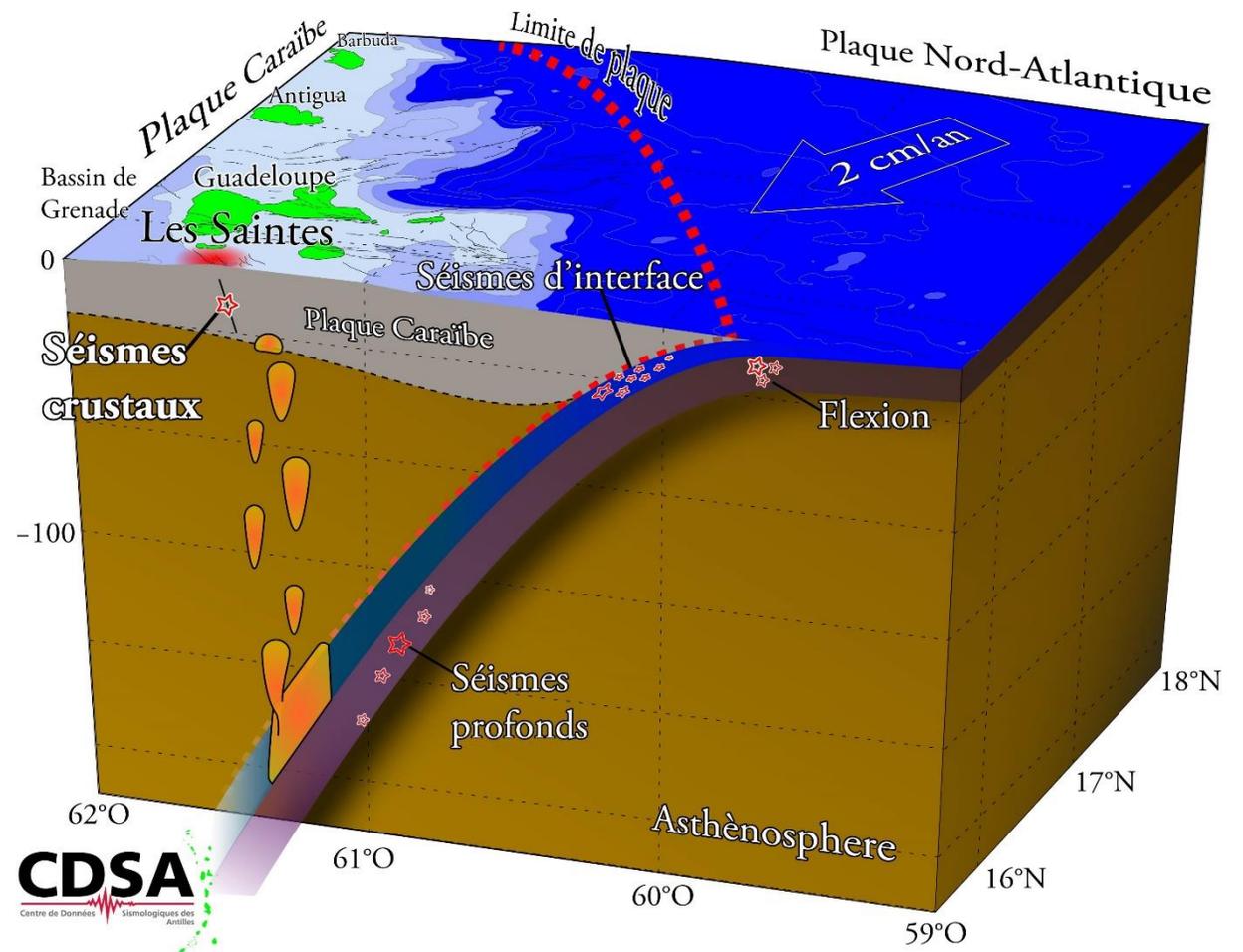
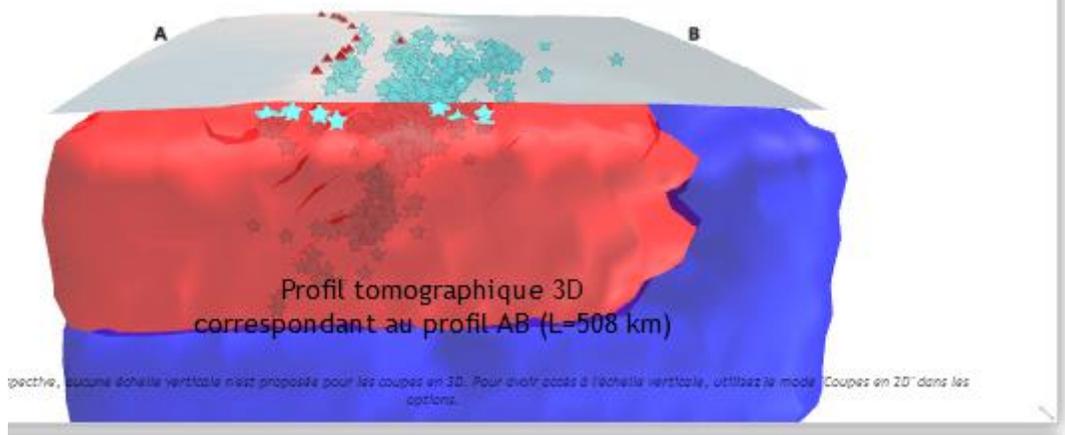
## ➤ Visualisation du plan de Wadati-Benioff / Anomalies thermiques et tomographie sismique



## ➤ Visualisation du plan de Wadati-Benioff / Anomalies thermiques et tomographie sismique



L'élève peut comparer sa production avec celles des centres de recherche !



## La Terre, la vie et l'organisation du vivant

- **La structure du globe terrestre**
- **La dynamique de la lithosphère**

- ✓ L'importance de la LVZ dans la dynamique des plaques

Mise en évidence de la LVZ ? Est ce possible avec des données sismo ?

- ✓ Le MOHO, comme indicateur de l'épaisseur de la croûte terrestre

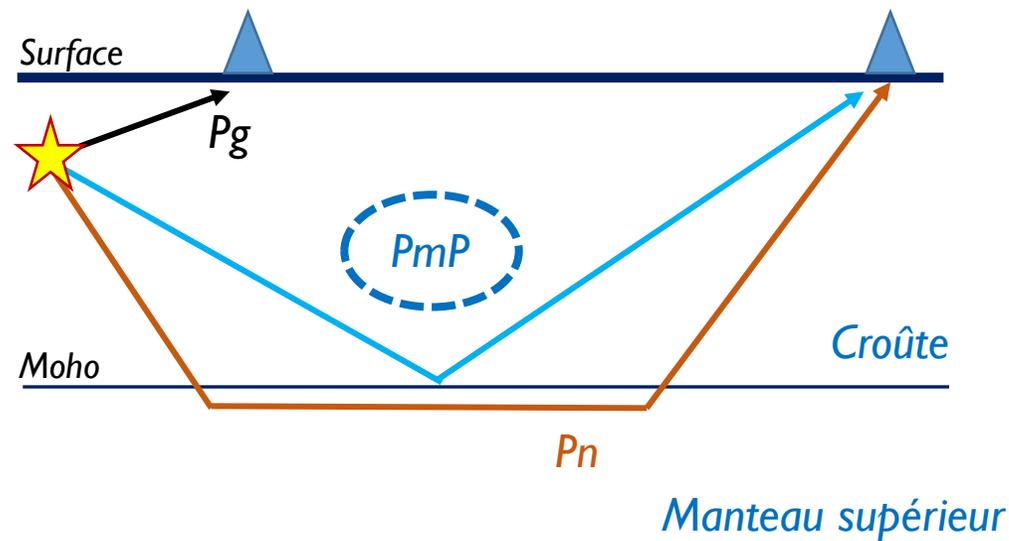
Mise en évidence du MOHO et de l'épaississement crustal en contexte de collision ?

La Terre et le modèle PREM (Preliminary Reference Earth Model) :

- *La zone d'ombre (discontinuité de Lehmann)*
- **Le MOHO (discontinuité croûte / manteau)**
- *La LVZ (zone transition lithosphère / asthénosphère)*

- ❖ Profondeur du Moho, un marqueur intéressant à coupler avec un contexte de collision (épaississement crustal)

Objectif : travailler sur les temps d'arrivée d'onde « PmP »



**Calcul de la profondeur du Moho**

$$\delta t = \frac{\sqrt{(2H - h)^2 + \Delta^2}}{V} - \frac{\sqrt{h^2 + \Delta^2}}{V}$$

$$(2H - h)^2 = \left( V \cdot \delta t + \sqrt{h^2 + \Delta^2} \right)^2 - \Delta^2$$

$$H = \frac{1}{2} \left[ h + \sqrt{\left( V \cdot \delta t + \sqrt{h^2 + \Delta^2} \right)^2 - \Delta^2} \right]$$

$\delta t$  différence de temps entre l'onde P directe et l'onde PmP et V la vitesse moyenne des ondes P dans la croûte.

**Calcul de la position du point de réflexion**

AB représente la distance épicerentre, point de réflexion :

$$\frac{H - h}{2H - h} = \frac{AB}{\Delta} \text{ d'où } AB = \frac{H - h}{2H - h} \Delta$$

★ hypocentre      ▲ Station sismologique

## ❖ Moho ( et épaissement crustal )

### Etude de séismes survenus dans les Alpes françaises

- A partir de l'espace EDUSEIS/Caraibes – onglet « Sismogrammes d'intérêts pédagogiques »
  - ✓ Rechercher le séisme « Etude de cas Moho Alpes du Sud »
  - ✓ Choisir l'option « Ouvrir avec Tectoglob3D »



EduMed-Obs > EDUSEIS > Vous êtes dans l'espace des données "EDUSEIS - CARAIBES"

#### A l'écoute sismique de la Terre !

L'Observatoire EduMed propose de consulter les données sismiques de son propre réseau éducatif, mais aussi des données provenant d'autres réseaux éducatifs, ainsi que des données de recherche.

---> A lire : sources des données! <---

En manque d'idées pour vos progressions ? Cliquez ici !

En ce moment / *Currently*

Séismes récents / *Last quakes*

Réseau SISMO / *Network*

Dérouleurs journaliers / *Dayplots*

Recherche de sismicité / *Seismicity*

Sismogrammes d'intérêt pédagogique / *Seismograms*

Ma station / *My station*

#### Etude de cas Moho Alpes du Sud

Un ensemble de sismogrammes enregistrés lors de séismes locaux dans les Alpes de Sud permettant une analyse des ondes PmP (réfléchies sur l'interface du Moho). L'analyse de l'ensemble de ces tracés permet d'évaluer la profondeur du Moho en différents points de la région Sud-Est.

Télécharger le zip

Ouvrir avec Tectoglob3D

## ❖ Moho ( et épaisseur crustal )

### Etude de séismes survenus dans les Alpes françaises

Globe virtuel

46,66°N 3,39°E 240m

GEBCO

OGGM

SDTF

NICF

GRSF

DRGF

100 km

Fenêtre de résultats

Événement : ITALY  
Date : 14/03/2016  
Magnitude : 3,9 Profondeur du foyer : 4 km Epicentre : 📍

Station OGGM 45,2°N ; 6,1°E ; dist. épcentre : 130km (1,168°)

OGGM  
Canal : HHZ

8.69.10<sup>-3</sup> mm/s

-9.20.10<sup>-3</sup> mm/s

Règlages / paramètres

Événement étudié : FRANCE 09/02/2009 Canal affiché : (tous)

Echelle des ordonnées : FRANCE 09/02/2009

ITALY 14/03/2016

ITALY 26/05/1999

NORTHERNITALY 24/10/2008

SSE MENTN6 21/04/2009

Règlages / paramètres

Événement étudié : FRANCE 09/02/2009 Canal affiché : (tous)

Echelle des ordonnées : FRANCE 09/02/2009

ITALY 14/03/2016

ITALY 26/05/1999

NORTHERNITALY 24/10/2008

SSE MENTN6 21/04/2009

Liste des objets

Hodochrone

Modèle PREM

### Jeu de 5 sismogrammes provenant de 5 séismes différents

#### Règlages / paramètres

Événement étudié : FRANCE 09/02/2009

Canal affiché : (tous)

Echelle des ordonnées : FRANCE 09/02/2009

ITALY 14/03/2016

ITALY 26/05/1999

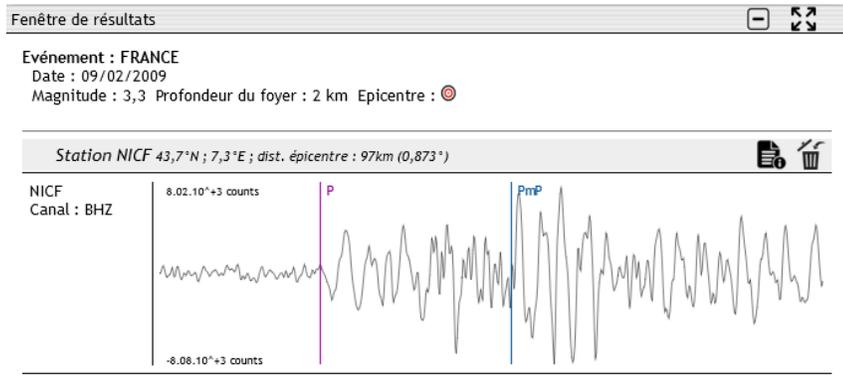
NORTHERNITALY 24/10/2008

SSE MENTN6 21/04/2009

## ❖ Moho ( et épaisseur crustal )

### Etude de séismes survenus dans les Alpes françaises

Objectif : travailler sur les temps d'arrivée d'onde « PmP »



A l'aide de l'affichage des temps d'arrivée des ondes P et PmP et des informations fournies dans les métadonnées

Remplir le tableau suivant

Lecture  
Sismogramme

Calculs

stations	profondeur foyer (km)	distance épacentrale (km)	Tp (s)	Tpmp (s)	Tpmp-Tp	profondeur Moho (km)
NICF	2,00	97,00	17	20,9	3,9	37,5
OGGM	4,00	130,00	22,2	28,4	6,2	55,8
GRSF	0,10	122,00	21	26,1	5,1	46,9
DRGF	10,00	118,00	18,9	22,5	3,6	43,5
SDTF	11,00	35,00	7,4	10,5	3,1	27,4

## ❖ Moho ( et épaisseur crustal )

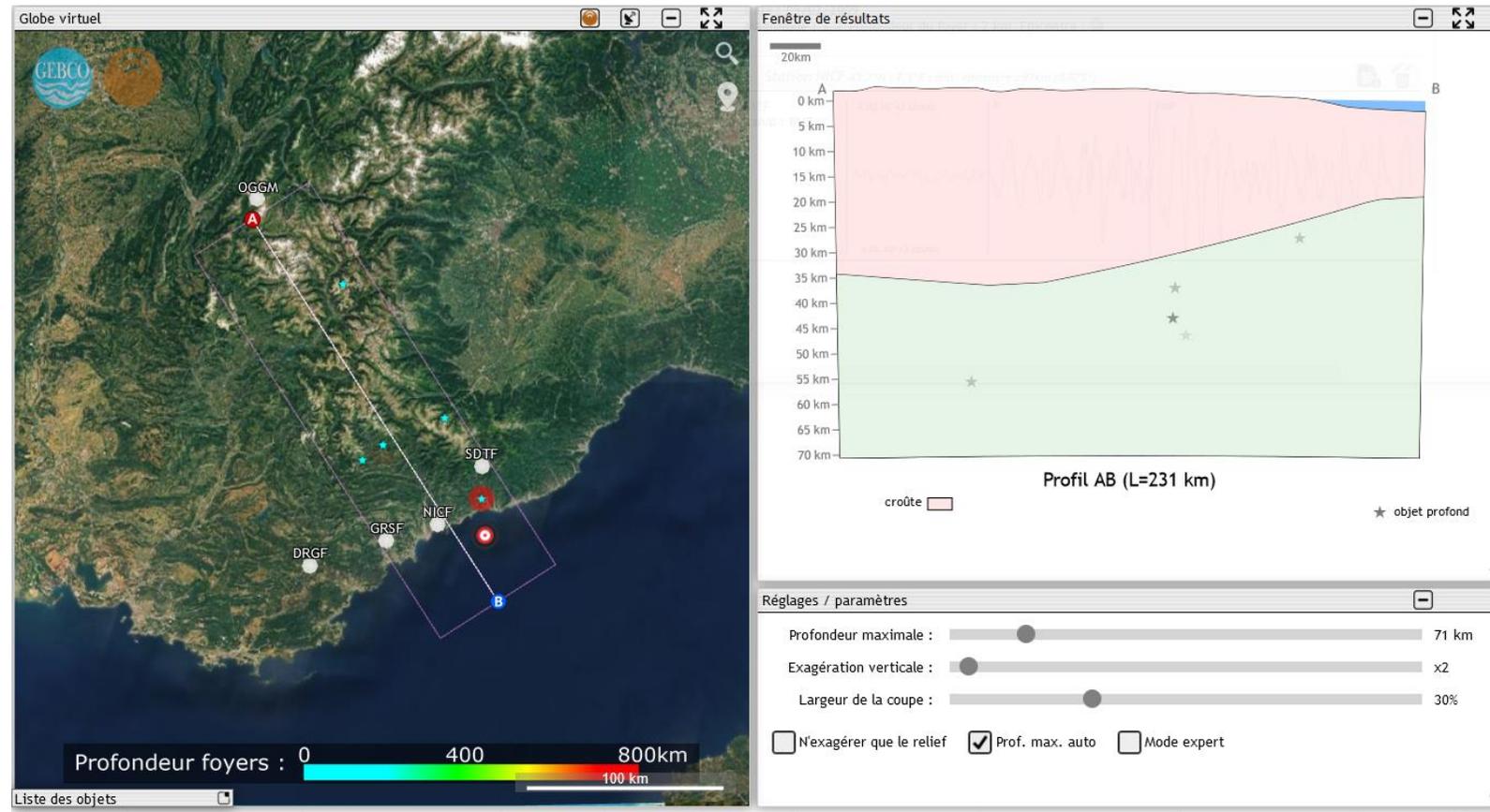
Reporter les valeurs dans tectoglob3D avec l'outil « ajout de repères profonds »

Chaque repère marquera un point de mesure de la profondeur du Moho, à mi chemin entre la station et l'épicentre concerné !

Tracer une coupe des hauts massifs alpins jusqu'à la mer Méditerranée

Ajouter le calque Moho

Discuter des résultats



## La Terre, la vie et l'organisation du vivant

- **La structure du globe terrestre**
- **La dynamique de la lithosphère**

- ✓ L'importance de la LVZ dans la dynamique des plaques

Mise en évidence de la LVZ ? Est ce possible avec des données sismo ?

- ✓ Le MOHO, comme indicateur de l'épaisseur de la croûte terrestre

Mise en évidence du MOHO et de l'épaississement crustal en contexte de collision ?

La Terre et le modèle PREM (Preliminary Reference Earth Model) :

- *La zone d'ombre (discontinuité de Lehmann)*
- *Le MOHO (discontinuité croûte / manteau)*
- **La LVZ (zone transition lithosphère / asthénosphère)**

## ❖ Mise en évidence de la LVZ

### Etude du séisme grec du 25 octobre 2018, $M=6.8$

- A partir de l'espace EDUSEIS/Caraibes – onglet « Sismogrammes d'intérêts pédagogiques »
  - ✓ Rechercher le séisme « MER IONIENNE - GRECE »
  - ✓ Choisir l'option « Ouvrir avec Tectoglob3D »

EDU MED Network Live Data Center ▼ Tools Lab Teachers Room Partenaires EDUSEIS ▼ EduChallenge

Bienvenue sur les bases de données EDUSEIS - CARAIBES

EduMed-Obs > EDUSEIS > Vous êtes dans l'espace des données "EDUSEIS - CARAIBES"

A l'écoute sismique de la Terre !

L'Observatoire EduMed propose de consulter les données sismiques de son propre réseau éducaif, mais aussi des données provenant d'autres réseaux éducatifs, ainsi que des données de recherche.

---> A lire : sources des données ! <---

En manque d'idées pour vos progressions ? Cliquez ici !

En ce moment / Currently Séismes récents / Last quakes Réseau SISMO / Network Dérouleurs journaliers / Dayplots Recherche de sismicité / Seismicity Sismogrammes d'intérêt pédagogique / Seismograms Ma station / My station

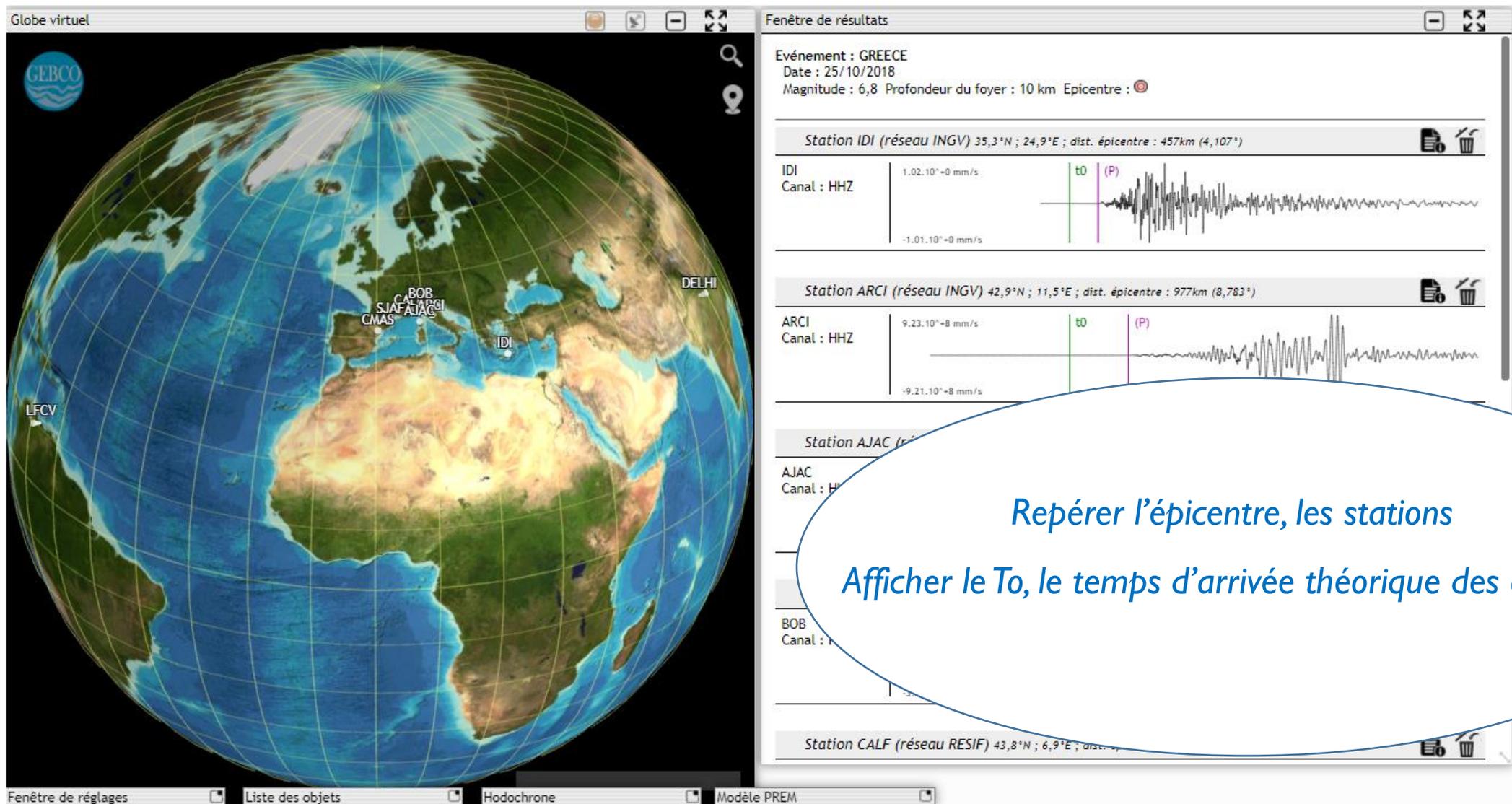
2018.10.25 / 22h54m51s / M=6.8 / MER IONIENNE - GREECE  
Séisme important dans les îles ioniennes (Grèce).

Télécharger le zip

Ouvrir avec Tectoglob3D

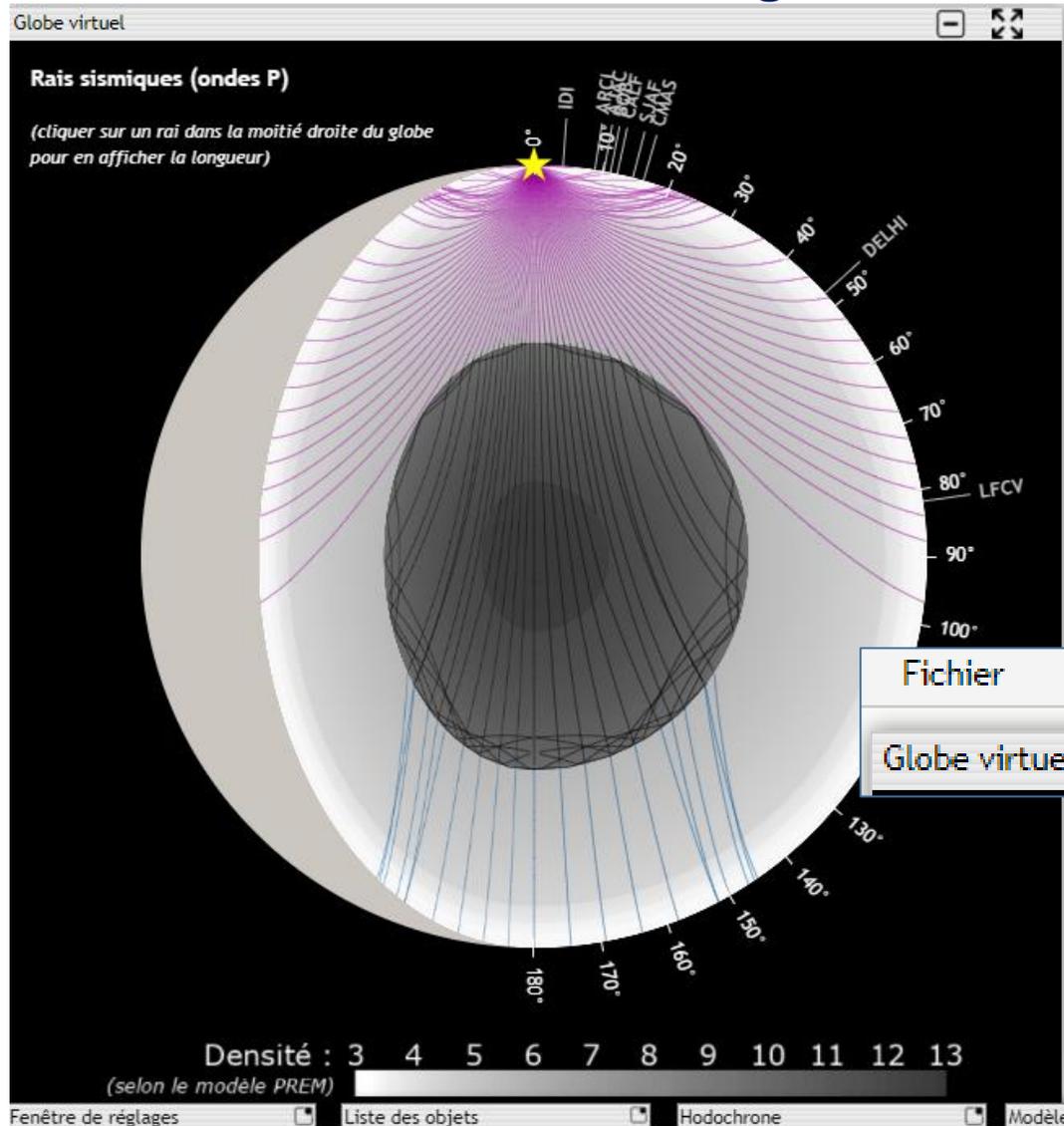
## ❖ Mise en évidence de la LVZ

### Etude du séisme grec du 25 octobre 2018, $M=6.8$

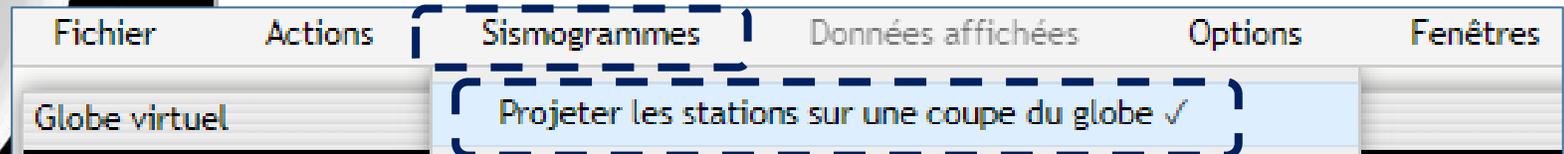


## ❖ Mise en évidence de la LVZ

### Etude du séisme grec du 25 octobre 2018, $M=6.8$



Présenter la notion de rai sismique  
en utilisant le module Projeter les stations sur une coupe du globe



❖ Mise en évidence de la LVZ

**Etude du séisme grec du 25 octobre 2018, M=6.8**

Proposer ensuite le tableau suivant

Lecture  
Sismogramme

Calcul

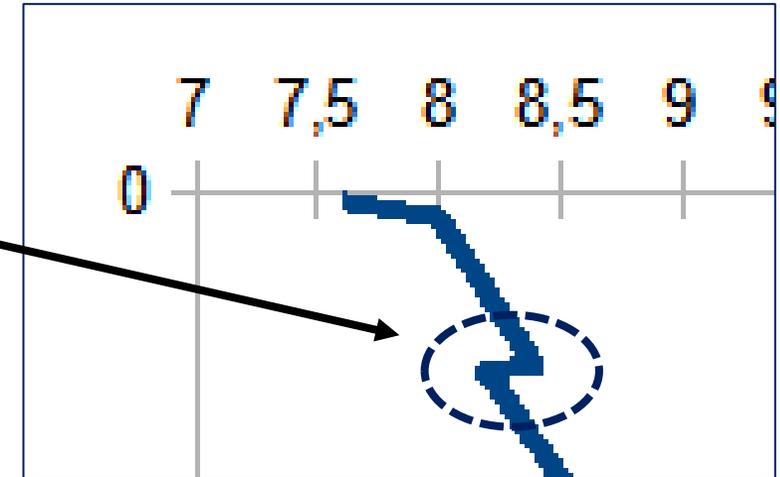
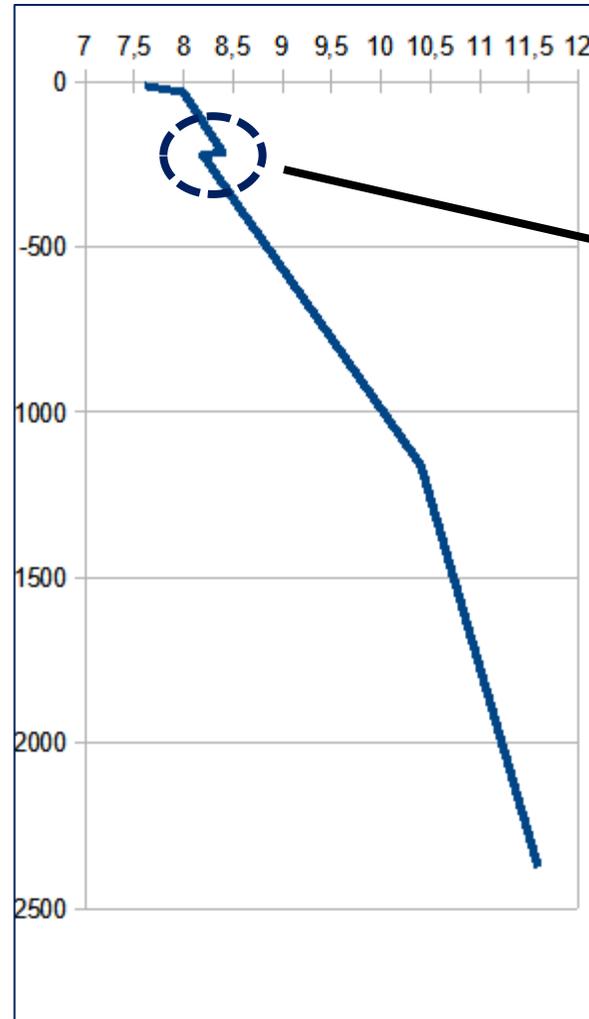
Stations	Dististance épicentrale (deg)	distance épicentrale (km)	distance trajet rai sismique (km)	profondeur max rai sismique (km)	Tp (sec)	Vp (km/s)
IDI	4,1	456,7	468,5	-26,1		
ARCI	8,8	975,5	985,0	-33,2		
AJAC	10,1	114,4	1133,0	-36,3		
BOB	11,1	1232,0	1239,8	-38,8		
CALF	12,1	1346	1351,5	-41,7		
SJAF	14,4	1604,3	1609,2	-49,3		
CMAS	16	1785	1786,0	-55,3		
DEHLI	47,6	5287,0	5365,9	-1162,0		
LFCV	81,7	9076,6	8554,9	-2375,3		

❖ Mise en évidence de la LVZ

**Etude du séisme grec du 25 octobre 2018,  $M=6.8$**

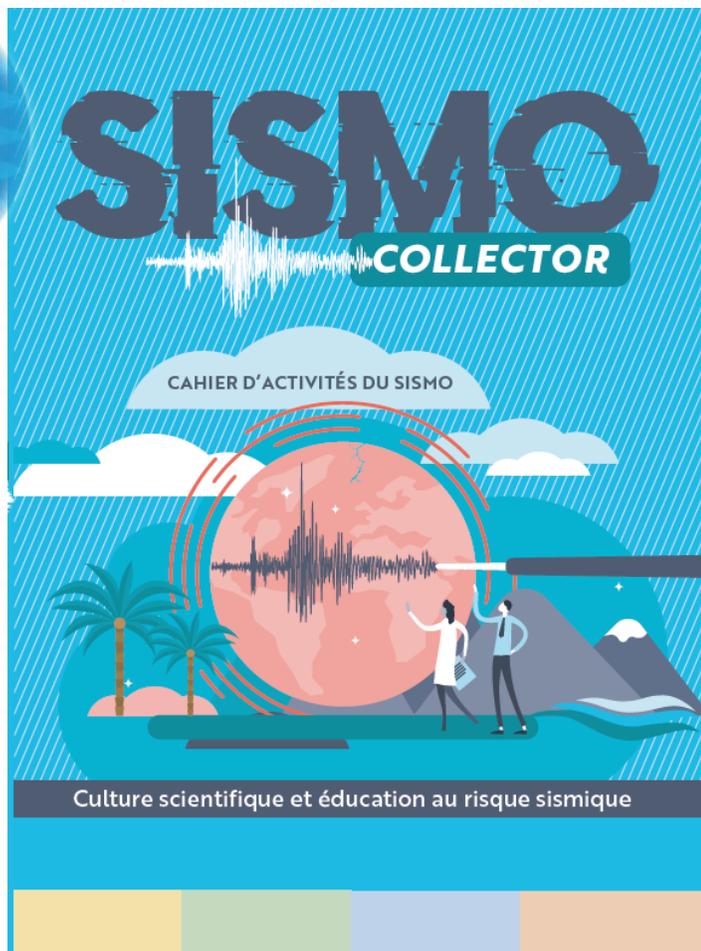
Tracer la courbe  $V_p$  en fonction de la profondeur

Stations	$T_p$ (sec)	$V_p$ (km/s)
IDI	59,9	7,62
ARCI	123,7	8
AJAC	142	8,4
BOB	155,2	8,3
BOB	168,9	8,3
CALF	200,6	8,2
SJAF	222,7	8,6
CMAS	514,6	10,4
DEHLI	736,7	11,6



Mise en évidence d'une zone où la vitesse des ondes P chute : la LVZ !

# Un manuel centré sur le phénomène sismique au travers de l'enseignement : notions fondamentales, données éducatives, de recherche, expérimentation, numérique et capteurs connectés , base de données en ligne ...



**Partie MANIP**

Le capteur piézo est fixé dans la gelée (ou cir de bougie, ou sable mouillé). Le capteur doit bien adhérer au support. L'autre capteur est fixé sur le bois. Les enregistrements obtenus (avec Audacity) montrent un effet de site d'autant plus que les deux capteurs sont placés à égale distance du choc.

On peut mettre en évidence une amplification en durée et en amplitude du signal sur la gelée. Ces résultats sont cohérents avec les études de cas (séisme de Mexico en 1985, ou Bordighera en 2019).

**Partie DATA**

Séisme de Mexico (19 septembre 1985).  
Le séisme de Michoacan ne causa que des dégâts modérés près de son épicentre sur le littoral Pacifique, mais provoqua de sérieux dommages à Mexico city à 400 kilomètres de là.  
Ce constat donne à penser que la géologie du substratum de la ville a joué un rôle important dans l'amplification des effets du séisme. La ville est bâtie sur d'anciens lacs et marécages asséchés.  
L'accélération maximale du sol (PGA) est égale à l'accélération maximale du sol qui s'est produite lors du tremblement de terre à un endroit donné.

Un séisme au large de Bordighera (Ligurie) enregistré sur deux stations à Nice: NALS; parc Alsace Lorraine au centre ville, et GLAN; grotte du bazart et Mont Boron. La lecture des sismogrammes (avec Tectoglob3D) des stations situées à une distance épicentrale similaire montre un incontestable effet de site qui ne peut s'expliquer que par la nature du sous-sol (alluvial au centre-ville de Nice et karstique au Mont Boron). Tectoglob3D permet d'afficher la carte géologique sur la ville de Nice (Données affichées > cartes).

Séisme du 27/09/2019 (au large de Bordighera, Mw=3,2) sont disponibles sur EduMed-Obs  
Source : Réseau accélérométrique Permanent

**ACT. BATIMENT**

A l'issue de chaque séisme important, le spectacle est le même avec son lot de maisons effondrées. On va proposer aux élèves de réfléchir sur la vulnérabilité des bâtiments face au séisme. Des maquettes pourront servir de test aux différentes observations.

**Mots-clés : vulnérabilité, construction para-sismique, résonance, fréquence, période**

**Partie MANIP**

Lors du terrible tremblement de terre de Mexico en 1985 (page précédente), la plupart des dommages se sont produits sur les édifices élevés, ayant une période propre de deux secondes.  
Les élèves sont invités à réaliser une maquette modélisant des édifices de tailles différentes et à observer comment se comportent les modèles lors d'une secousse. Ils abordent ainsi la notion de résonance et de fréquence propre des bâtiments.  
Les bâtiments peuvent être réalisés par des tiges filettées (ou en bois, en PVC) fixées sur un support. On peut aussi réaliser des bâtiments de hauteurs différentes.  
Une fois les modèles de bâtiments construits, on exerce des secousses de fréquence variée (à la main ou à l'aide d'un dispositif motorisé).  
On constate rapidement que plus un bâtiment est haut, plus il réagit à des vibrations de basse fréquence. En utilisant une table vibrante, on peut mieux maîtriser quantitativement les vibrations imposées au dispositif.

**Compléments :**

À l'aide de renforts, les élèves sont invités à rendre la construction moins vulnérable. Plusieurs solutions techniques sont possibles (renforcement du bâti ancien).  
On peut aussi proposer de calculer la fréquence de résonance d'un bâtiment de l'école et prévoir la fréquence du séisme qui pourrait l'affecter. Montrer que la taille n'est pas le seul paramètre à prendre en compte.

**Partie DATA**

On télécharge des sismogrammes de séismes régionaux et de télé-séismes depuis le centre de données EduMed-Obs. L'étude des sismogrammes se fait avec Seisgram2K qui dispose d'outils tels que le zoom, le filtre en fréquence et l'outil spectrogramme.  
On peut mettre en évidence le contenu fréquentiel des sismogrammes : en utilisant l'outil 'spectrogramme' de Seisgram2K, il est possible de faire le lien entre vulnérabilité et fréquence des vibrations du sol dues au passage des ondes sismiques.

Une étude de cas intéressante peut être proposée avec l'enregistrement différentiel des sismogrammes à différents étages d'un même bâtiment.  
Par exemple, le séisme du 7 avril 2014 à Jausiers a été enregistré dans le bâtiment dans la plaine du Var à Nice.  
Cet immeuble est équipé de capteurs accélérométriques à différents étages et montrent, pour chaque étage, des différences notables notamment sur la fréquence du mouvement du bâtiment à différents étages.

**Compléments :**

Les données de cette étude de cas sont accessibles sur le centre de données EduMed-Obs exploitables avec Tectoglob3D.

**Financé par**

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

**La Direction départementale des territoires et de la mer des Alpes-Maritimes**