

Dernières Nouvelles des Alpes

Laurent Stehly, A. Nouibat, Y. Lu, J. Brives, A. Paul, R. Brossier, P. Boué, T. Bodin, W. Crawford, S. Schwartz, Y. Rolland, T. Dumont

¹Institut des Sciences de la Terre de Grenoble,

²Laboratoire de Géologie de Lyon, Terre, Planètes, Environnement, Lyon

³Institut de Physique du Globe de Paris

Objectifs

Contribuer à la construction d'un géomodèle des Alpes

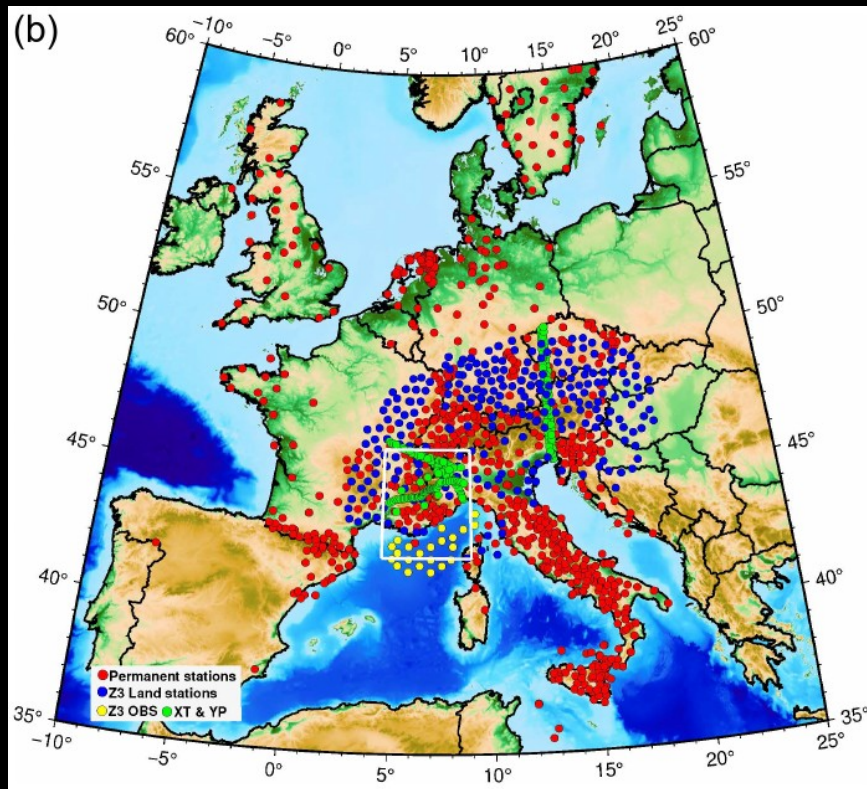
1. Modèle V_s initial de la lithosphère européenne à partir de corrélation de bruit :

- Probabilité d'existence de chaque anomalie
- Résolution
- Incertitudes sur les vitesses
- Comprendre comment chaque anomalie émerge de l'inversion

2. Modèle haute résolution de la zone alpine

- Modélisant/inversant la propagation des ondes de surface issues de corrélations de bruit + ondes de volume issues de séismes régionaux
- => modèles V_s/V_p des Alpes

Données utilisées pour la construction du modèle initial



Bruit de fond sismique généré par les océans

=> ondes de surface se propageant à travers le continent

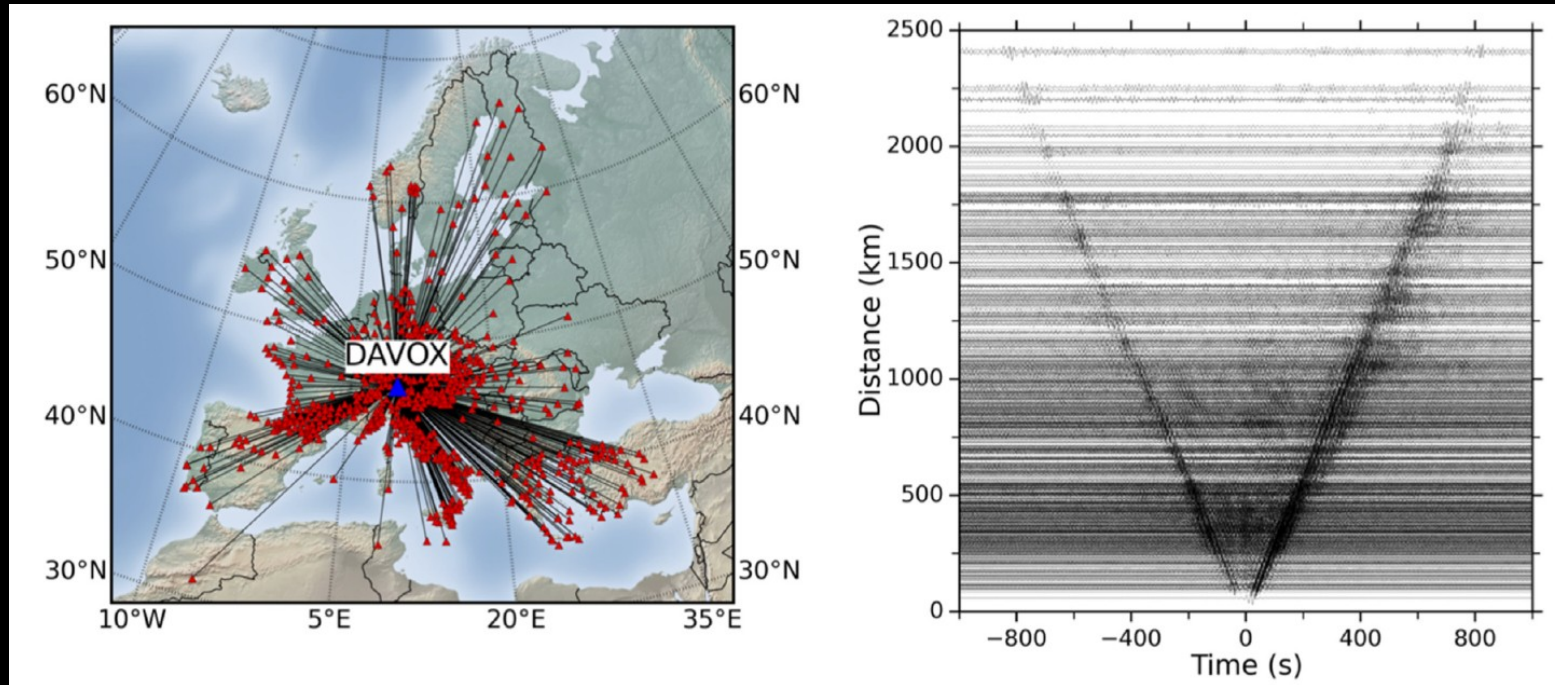
- Enregistrements continus de bruit (2015-2019)

950 stations **permanentes**

450 stations temporaires (AlpArray et Cifalps)

23 OBS en mer Ligure : 10 mois de données 2017-2018

Corrélation de bruit 10-20s de période en fonction de la distance inter-station

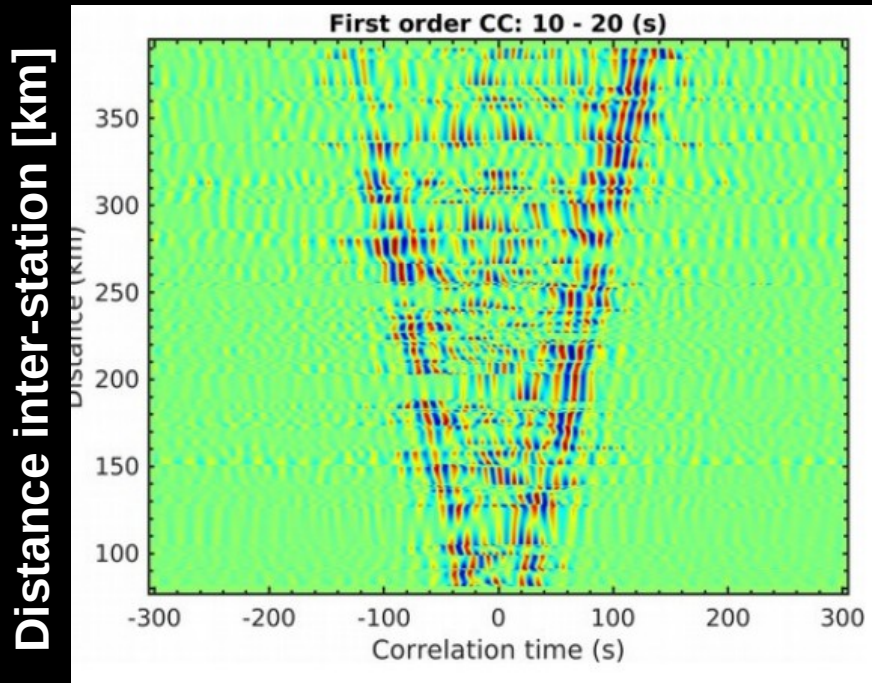


Lu et al., 2018

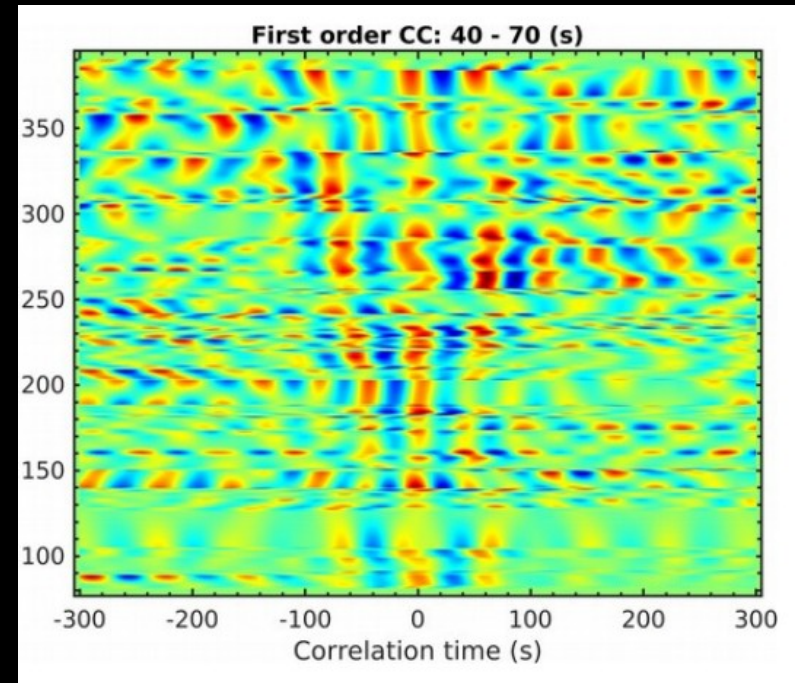
Les ondes de Rayleigh sont clairement visibles dans les temps positifs et négatifs.

Il est possible de s'en servir dans des études tomographiques

Corrélations inter-OBS en mer Ligure en fonction de la distance inter-station



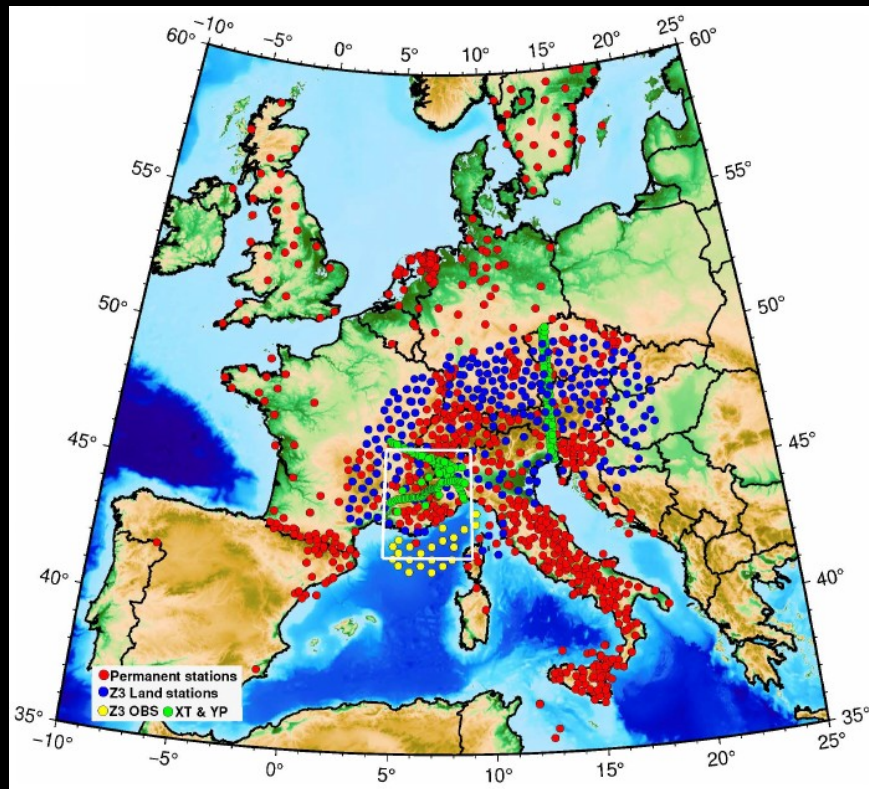
10-20s



40-70s

- Les ondes de Rayleigh sont visibles uniquement entre 10-20s de période, et avec un faible rapport signal/bruit
- Il n'est pas possible d'utiliser des corrélations de bruit « classiques » entre les OBS pour imager la mer Ligure

Principe des corrélations itératives



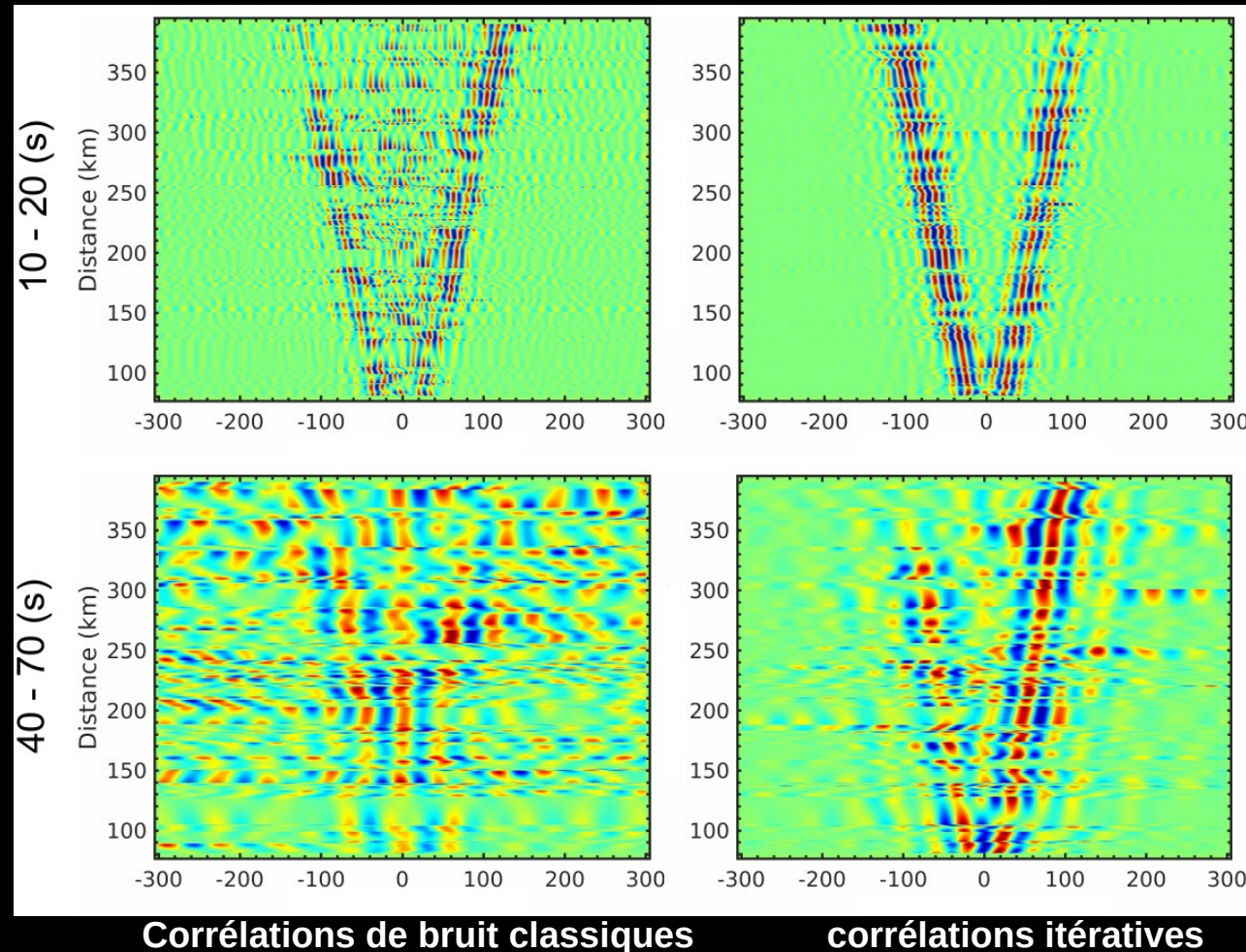
Idée générale :

- Utiliser les stations terrestres comme des sources de bruit virtuelles
=> simuler du bruit provenant du continent et se propageant entre les OBS

Comment ça marche :

- Corrélations de bruit stations terrestres/OBS :
=> fonctions Green Terre/Mer
=> permet d'obtenir l'enregistrement de bruit qu'on aurait eu en mer si des sources de bruit étaient sur le continent
=> permet de calculer les corrélations entre les OBS qu'on aurait obtenu si des sources étaient à Terre

Corrélations « classiques » et itératives calculées entre les OBS

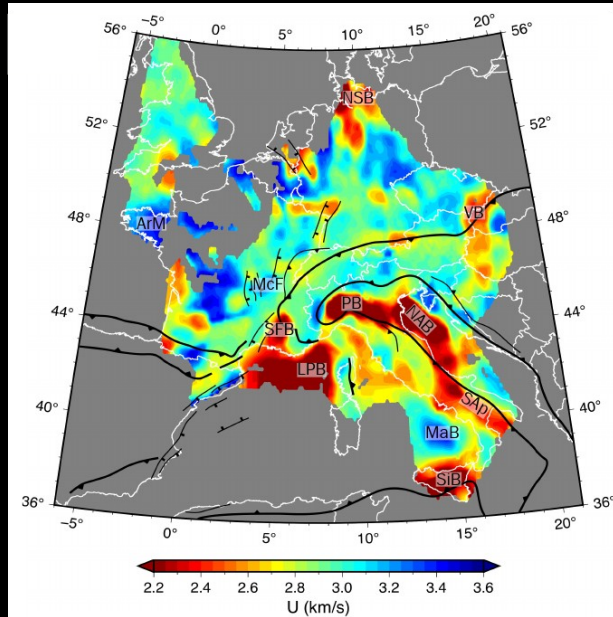


Les corrélations itératives permettent bien de retrouver les ondes de Rayleigh se propageant entre les OBS

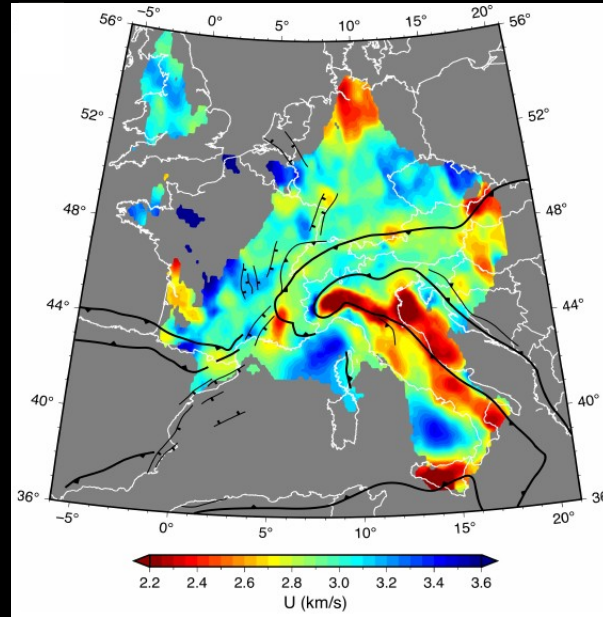
=> possibilité d'imager la mer Ligure

Construction du modèle Vs

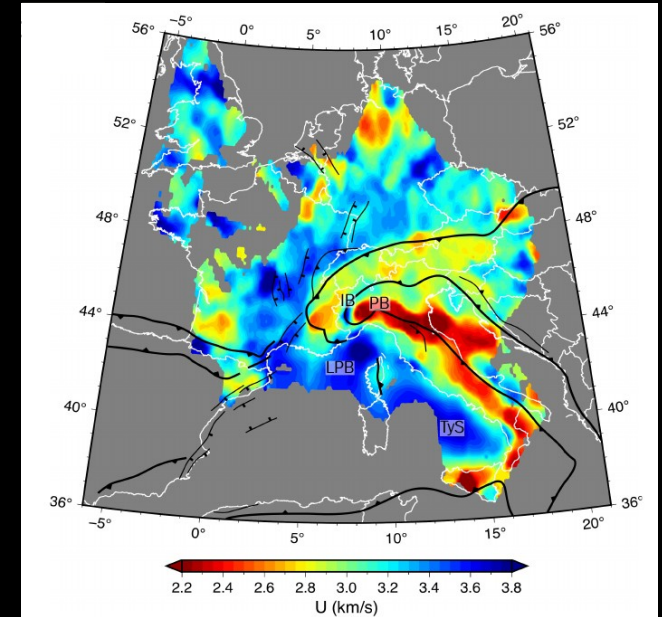
1. Cartes de vitesse de groupe des ondes de Rayleigh [5-150s]



8s



15s

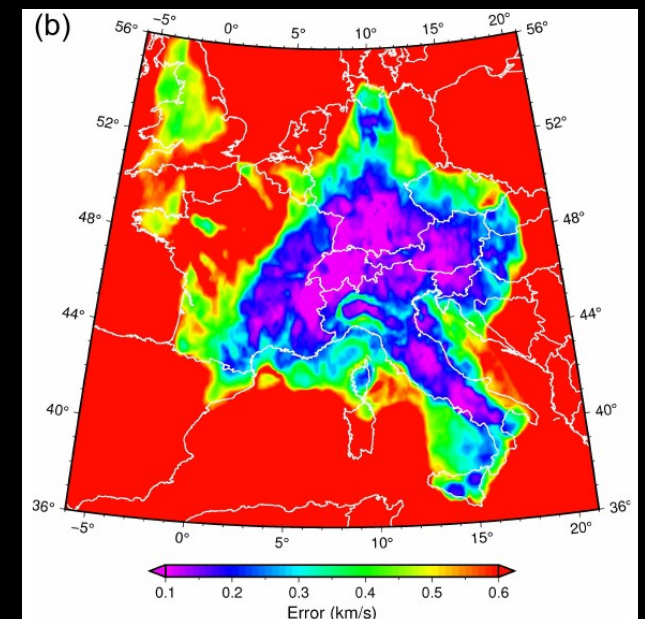
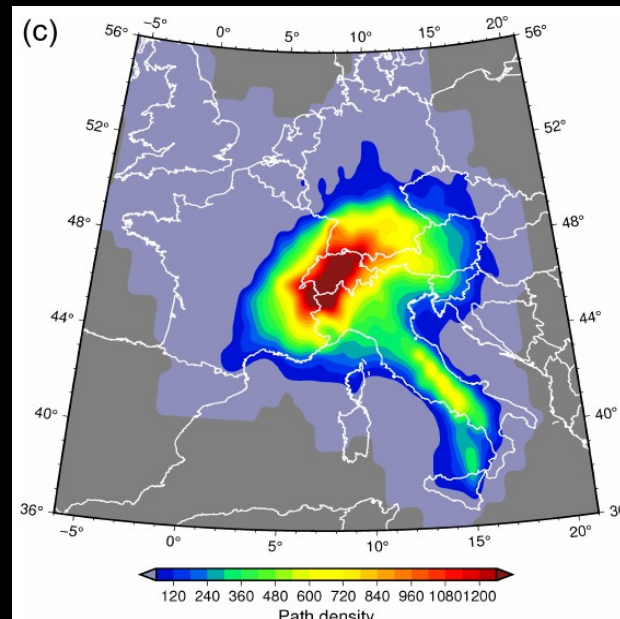
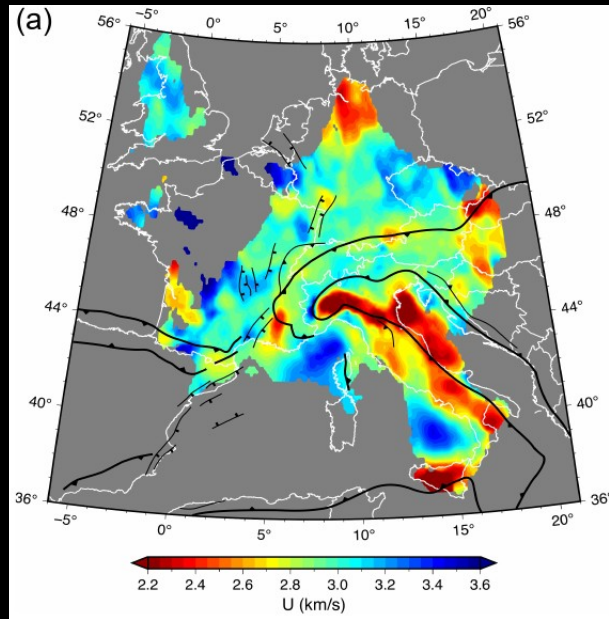


25s

A chaque période :

- Sélection des meilleures mesures de vitesse des ondes de Rayleigh : 10-30 %
- Cartes de vitesse de groupe des ondes de Rayleigh [5-150s]
- Inversion transdimensionnelle (Bodin et al., 2012) => incertitudes

Carte de vitesse de groupe à 15s de période et inversion transdimensionnelle



Carte de vitesse de groupe

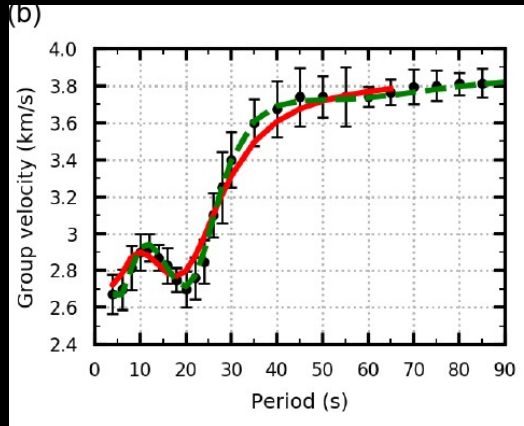
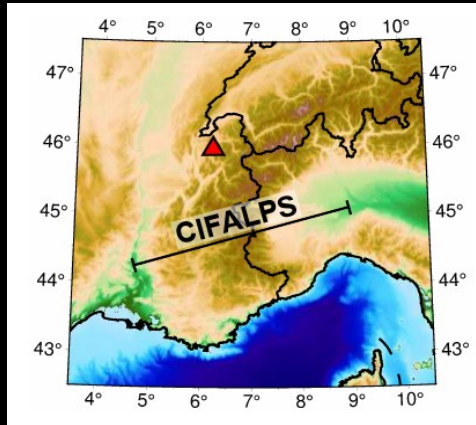
Densité de trajet

Incertitude [km/s]

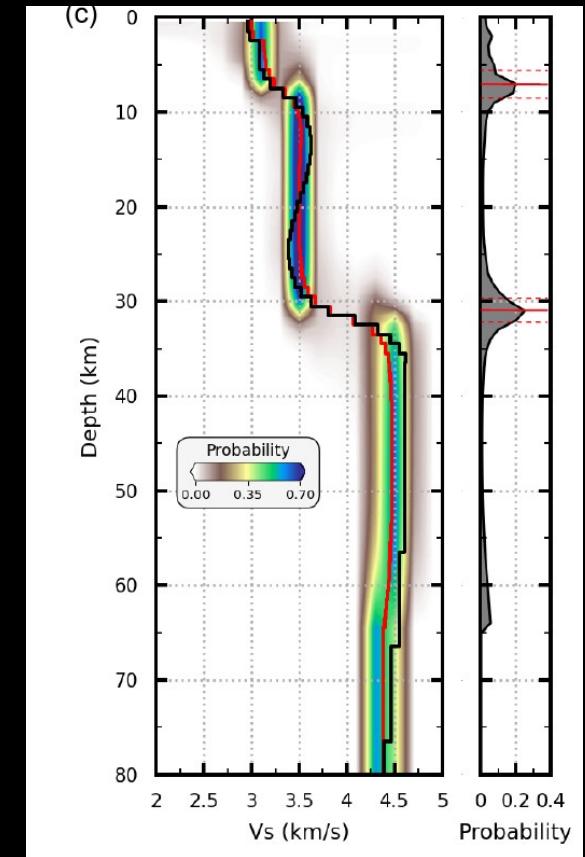
- Incertitudes dépendent de la densité de station/trajet
- Incertitudes de l'ordre de 0.1 km/s dans la zone d'étude
 - Suffisant pour voir les contrastes de vitesse entre les grandes structures
 - Limite pour étudier certaines anomalies de vitesse dans la croûte européenne.

Construction du modèle Vs

2. Modèle probabiliste et solution de référence



Courbe de dispersion locale : vitesse des ondes de Rayleigh en fonction de la période et ses incertitudes au point indiqué par le triangle rouge



Probabilité d'avoir une interface

En chaque pixel : cartes de vitesse de groupe → courbe de dispersion locale

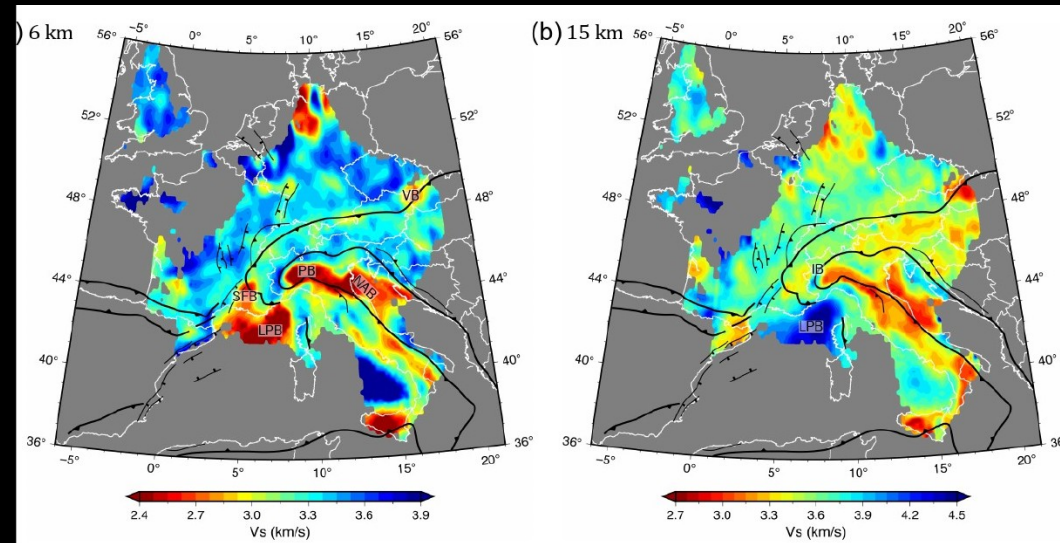
Modèle Vs probabiliste :

- Comparaison de dispersion locale avec 130 millions de courbes de dispersion prédites par des modèles synthétiques à 4 couches : Sed/ Cr sup/ Cr inf/ Manteau
=> densité de probabilité pour Vs + une probabilité d'avoir une interface

Extraction d'une solution de référence déterministe :

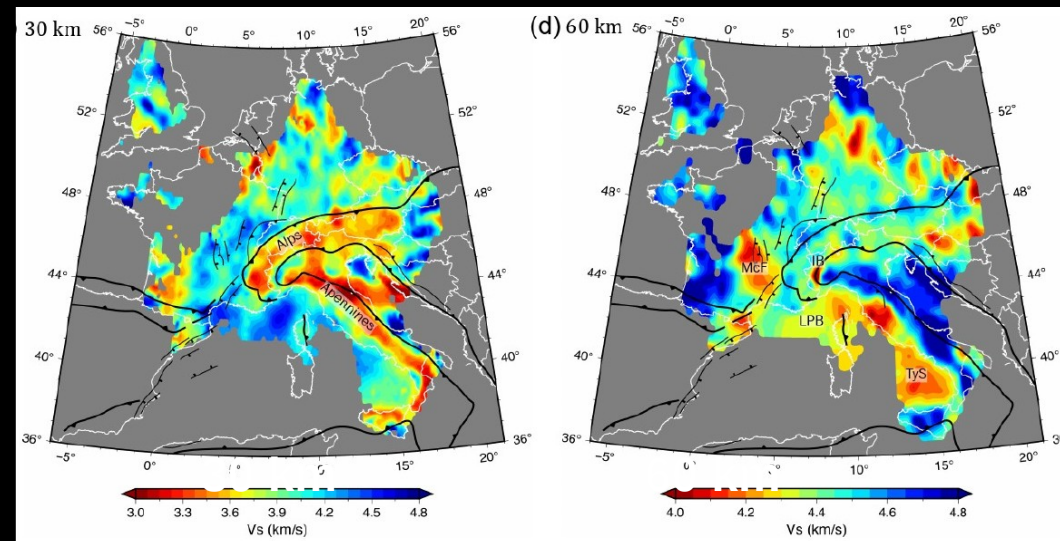
- Modèle initial utilisé pour les simulations numériques
- Moyenne des meilleurs modèles 4 couches + inversion linéaire
- Modèle à N couches – une seule valeur de Vs à chaque profondeur

Vitesse des ondes S en fonction de la profondeur



6 km

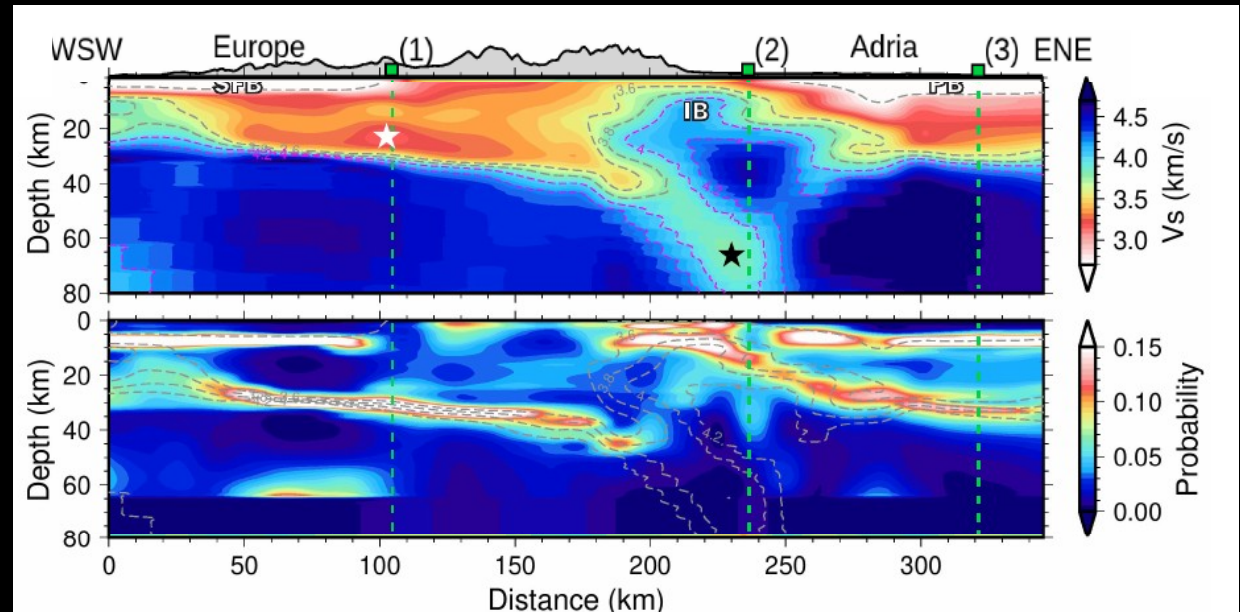
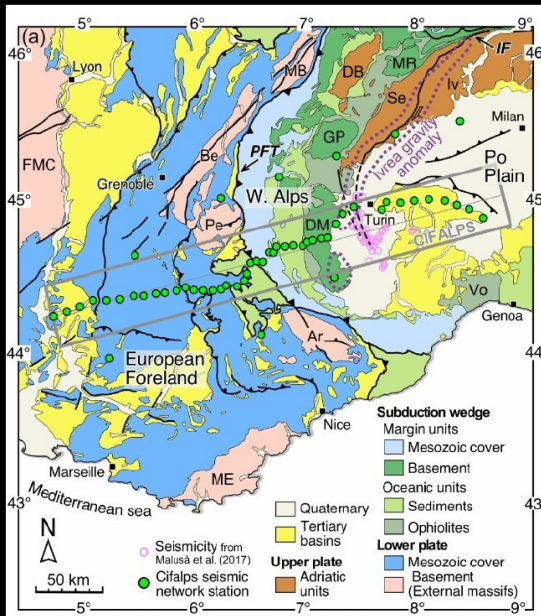
15 km



30 km

60 km

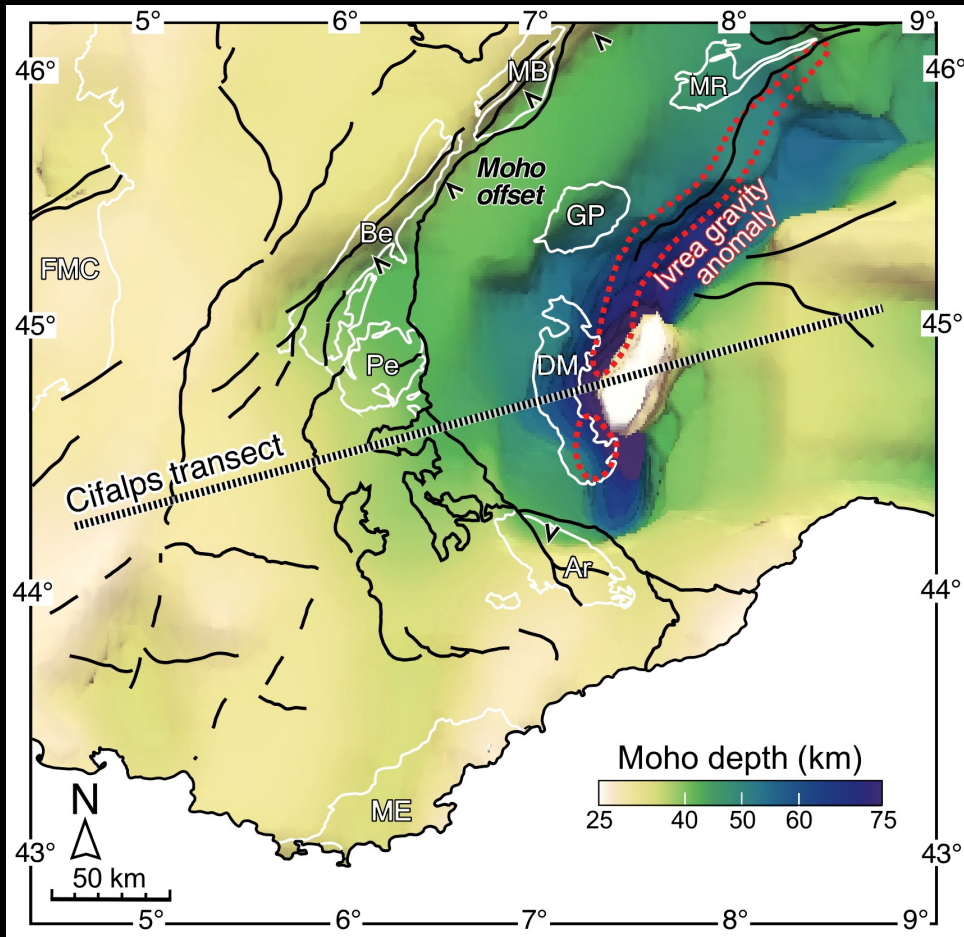
Géométrie des structures le long de la coupe Cifalps



Nouibat et al., 2021 in press

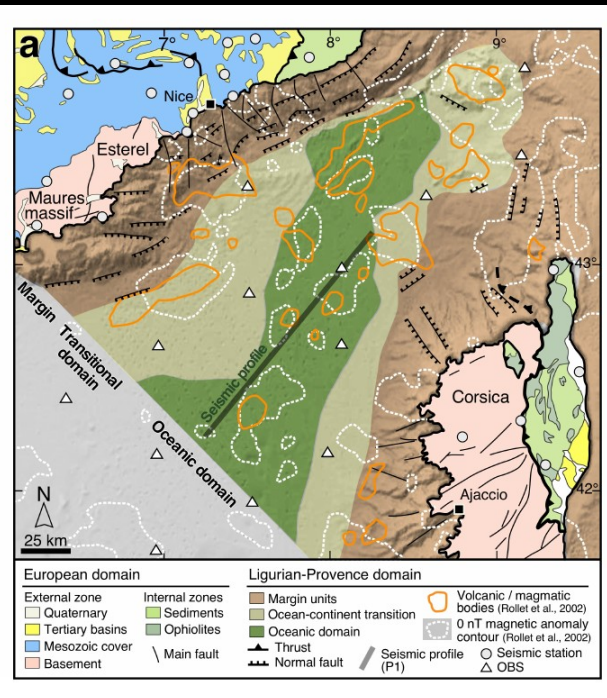
- Subduction de la lithosphère européenne
- Anomalie lente à la base de la croûte européenne
- Corps d'Ivrée associé à deux anomalies rapides
- Peu d'épaississement crustal dans les zones externes des Alpes

Proxy pour le Moho : iso vitesse 4.3 km/s

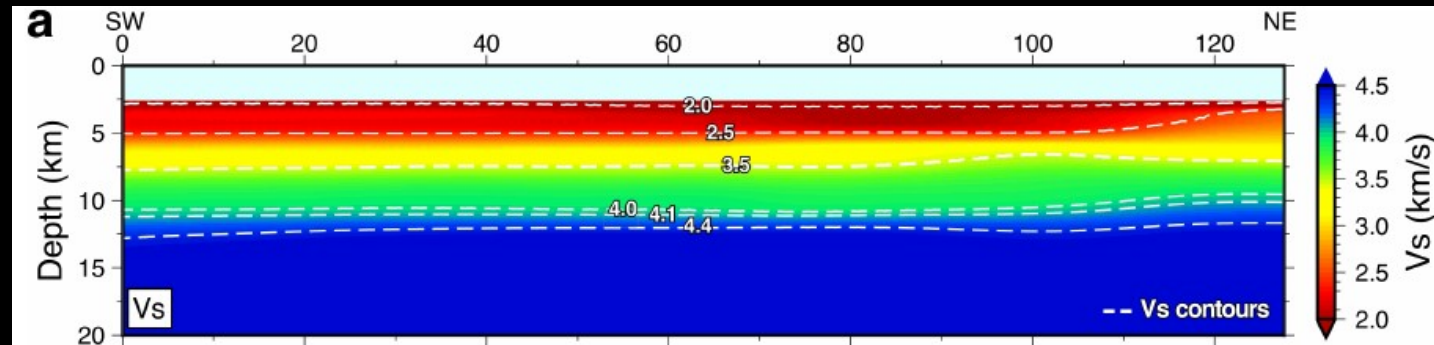


- Profondeur du Moho : 25-75km
- Iso-vitesse 4.3 km/s passe au-dessus du corps d'Ivrée
- Peu d'épaississement crustal dans les zones externes des Alpes
- Saut de Moho sous le Mt Blanc par exemple

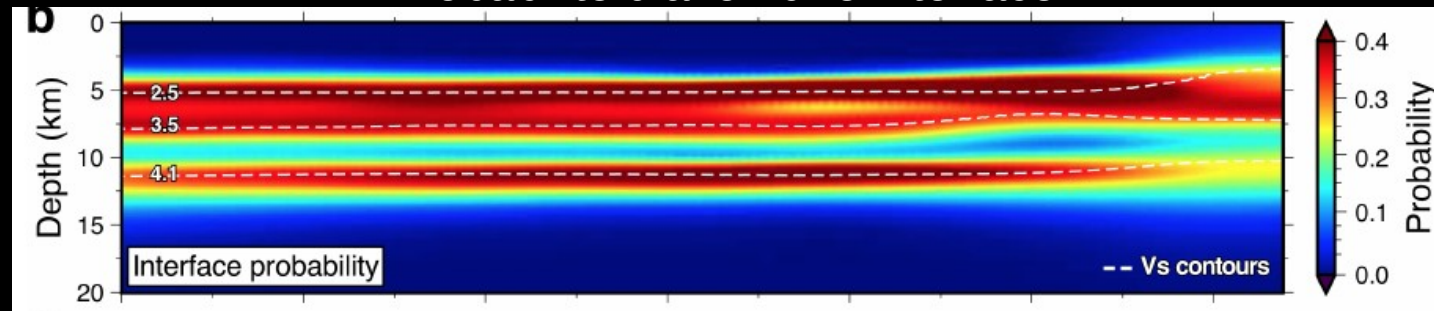
Mer Ligure



Vitesse des ondes S

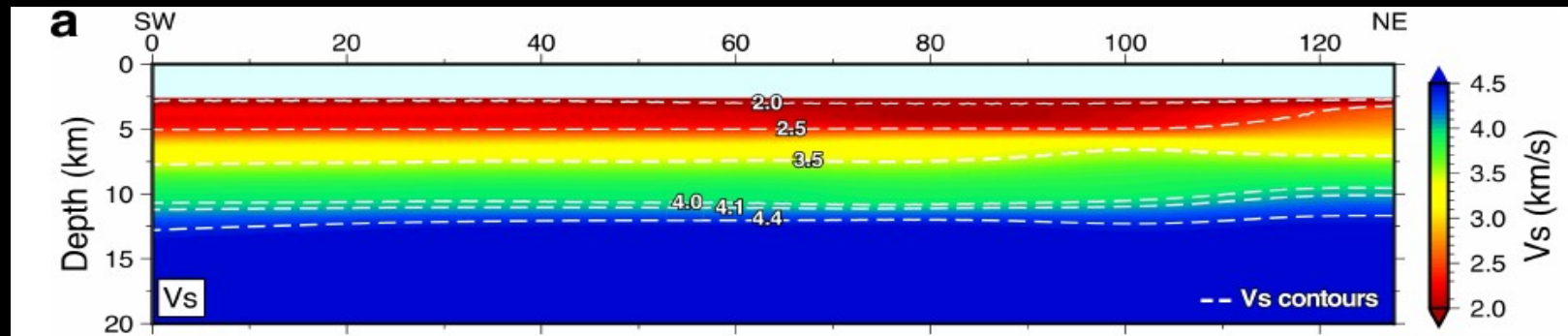


Probabilité d'avoir une interface

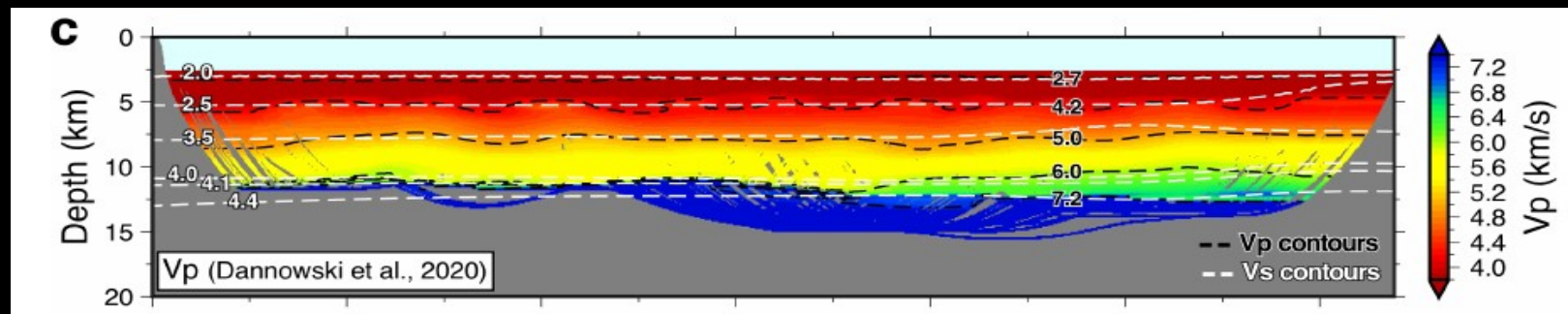


- Vs homogène latéralement
- 3 interfaces :
 - 5 km : intra-sédimentaire
 - 7.5 km : sédiment / croûte
 - 12 km : moho

Ratio V_p/V_s



Vs (notre étude)

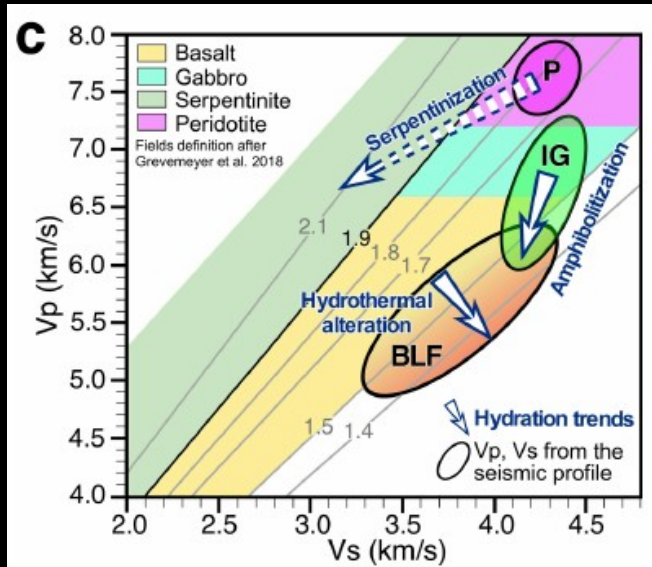


Vp Dannowski et al., 2020

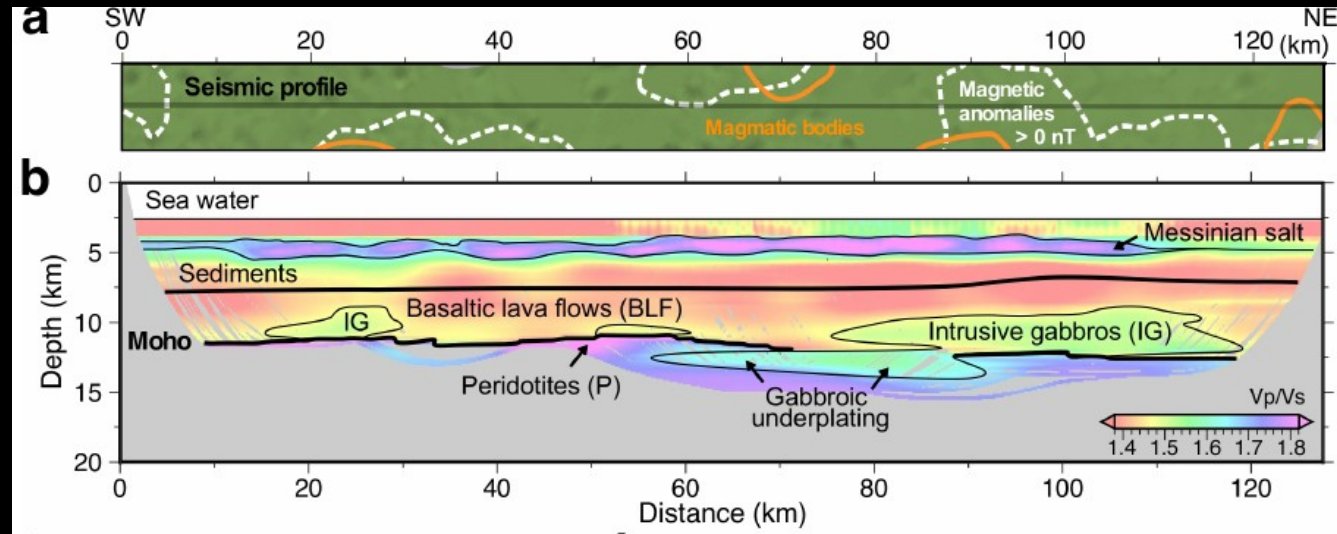
- Pour obtenir le ratio V_p/V_s , on va utiliser le modèle Vp de Dannowski et al., 2020 obtenu à partir de sismique réfraction

Ratio V_p/V_s le long de la coupe

Modèle V_s divisé par le modèle V_p de Dannowski et al., 2020



d'après Grevenmeyer et al., 2018

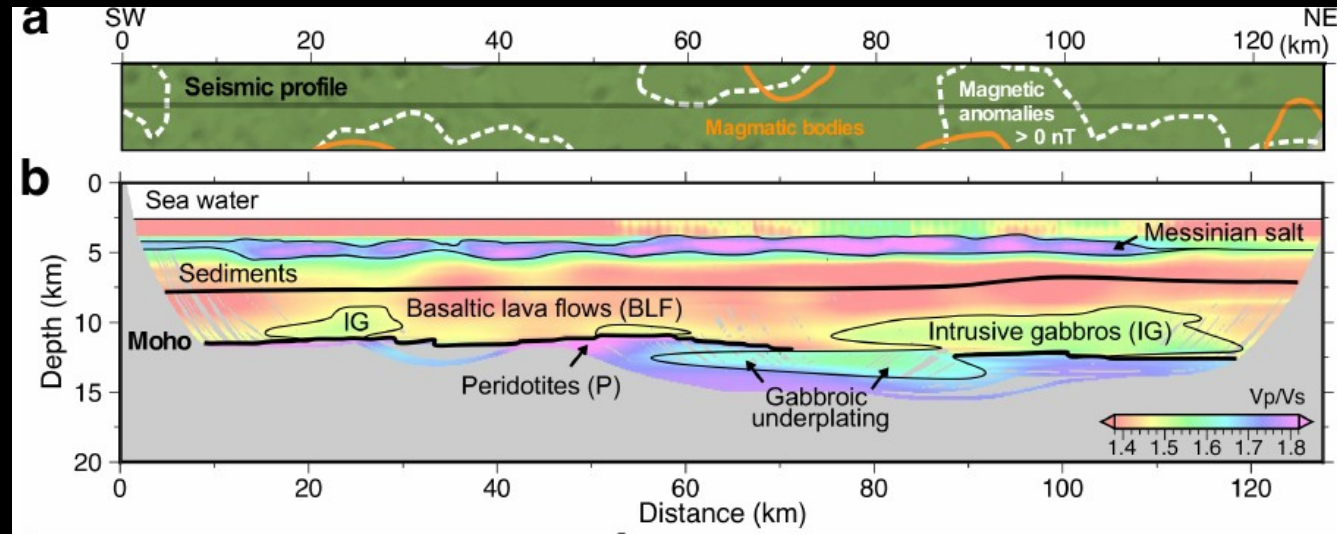
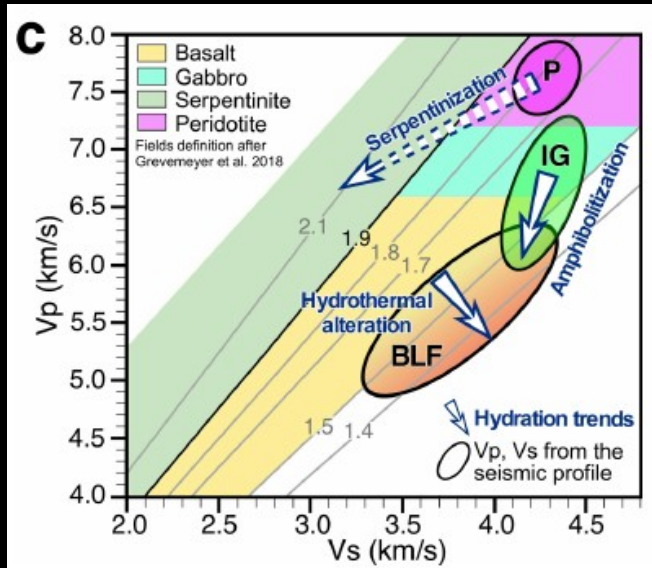


Nouibat et al., submitted

- **3-5 km de profondeur** : $V_p/V_s \sim 1.8$ → Unité saline du Messinien
- **Au sein de la croûte** : $V_p/V_s \sim 1.4-1.5$ → basalte avec différents niveaux d'hydratation (BLF)
- **Hétérogénéités en base de croûte** : distance 15-30km et 80-110 km : $V_p/V_s \sim 1.6$ -
→ gabbros amphibolitisés
- **Sous plaquage de Gabbro en base de croûte**
- **Proxy pour le Moho** : saut de V_p/V_s de 1.5-1.6 à 1.7-1.8

Ratio V_p/V_s le long de la coupe

Modèle V_s divisé par le modèle V_p de Dannowski et al., 2020

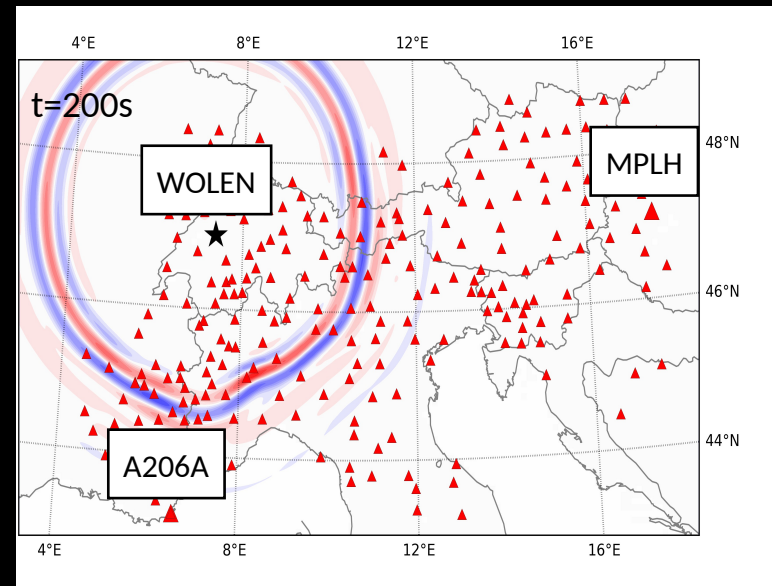


- **Ce qu'on ne voit pas :**

- Dans le manteau : V_p/V_s reste inférieur à 1.8 -> pas de manteau serpentinisé
- Pas d'hyper extension de la croûte : la croûte basaltique a une épaisseur toujours supérieure à 4km.

- Toutefois on ne connaît pas précisément les incertitudes du ratio V_p/V_s

Travaux en cours : Modélisation des corrélations de bruit & intégration de séismes



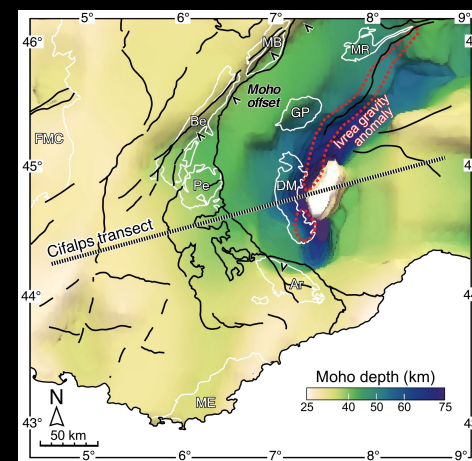
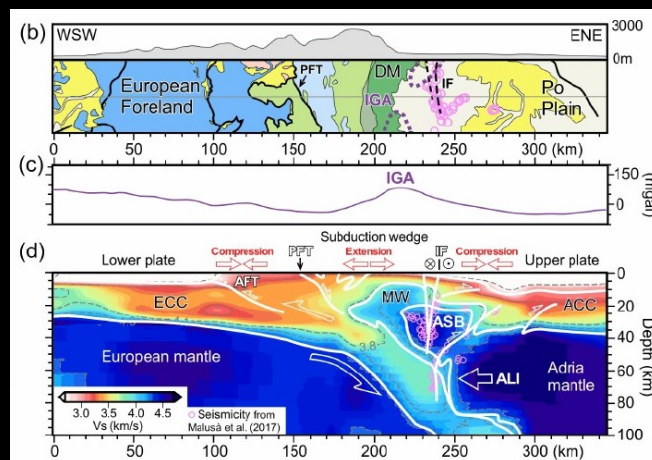
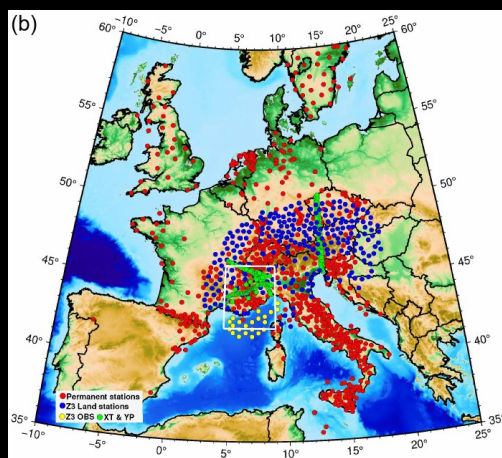
Ex simulation numérique

Construction d'un modèle V_p et V_s dans les Alpes occidentales et la mer Ligure

- Simuler la forme d'onde des corrélations dans le modèle V_s de Nouibat et al., 2021, et de séismes locaux
- Inverser itérativement les différences de temps d'arrivée des formes d'onde synthétiques et observées

=> modèle V_p + V_s pour les prochaines journées RESIF ?

Conclusion



- 1. modèle Vs initial de la lithosphère européenne obtenu à partir de
 - corrélation de bruit de fond sismique pour les stations terrestres
 - corrélations itératives pour les OBS en mer Ligure
 - Inversion probabiliste → modèle Vs étendue à la mer Ligure
- 2. Vers un modèle Vp/Vs haute résolution de la zone alpine
 - prochaines journées RESIF ?

Fin

