



Apports des données sismologiques, géodésiques et sismotectoniques pour la connaissance de l'aléa sismique en France métropolitaine

S. Mazzotti ^(a), H. Jomard ^(b), F. Masson ^(c)

a. Géosciences Montpellier, Université de Montpellier, CNRS

b. Bureau d'Evaluation des Risques Sismiques pour la Sureté des Installations, IRSN

c. Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre, Université de Strasbourg, CNRS

- (1) Identifier et construire des documents synthétiques à l'échelle du territoire → données d'entrée pour l'élaboration d'un calcul d'aléa sismique**
- (2) Mieux comprendre les processus qui contrôlent la déformation active et l'aléa sismique en France**

Dialogue entre les communautés RESIF + géologie + praticiens de l'aléa sismique

1^{er} workshop les 27/28 Sept. 2016 (≈50 Pers.)

Thème : données existantes pour le calcul d'aléa sismique + potentiel de création de nouvelles BD

2nd workshop commun axes 4 et 5 les 29/31 Janv. 2018 (≈40 Pers.)

Thème: « Processus et taux de déformation à l'origine de la sismicité en France Métropolitaine, modélisation et confrontation aux données géophysiques et géologiques »

Atelier « *sismotectonique de la France métropolitaine* » les 24/16 Janv. 2019 (≈30 Pers.)

- Actions identifiées:
- Article de synthèse données sismotectoniques
 - Collecte données SIG → synthèse mécanismes aux foyers
 - Lancement Action Faibles ACTives (FACT – J. Ritz – L. Audin)
 - Benchmark strain (RENAG)
 - Journée modélisation déformation (à venir...)

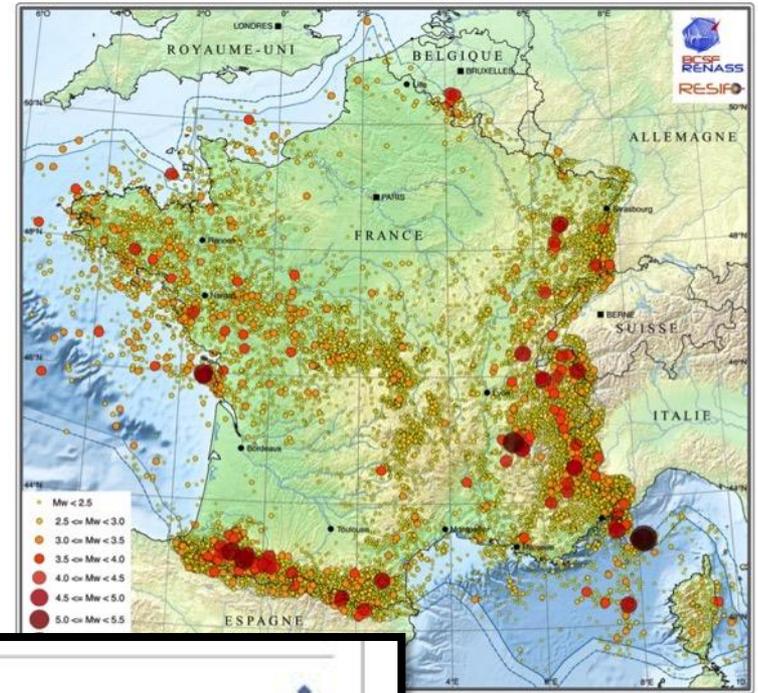
Sismicité instrumentale

Plus de 50 000 séismes entre 1962 et 2018

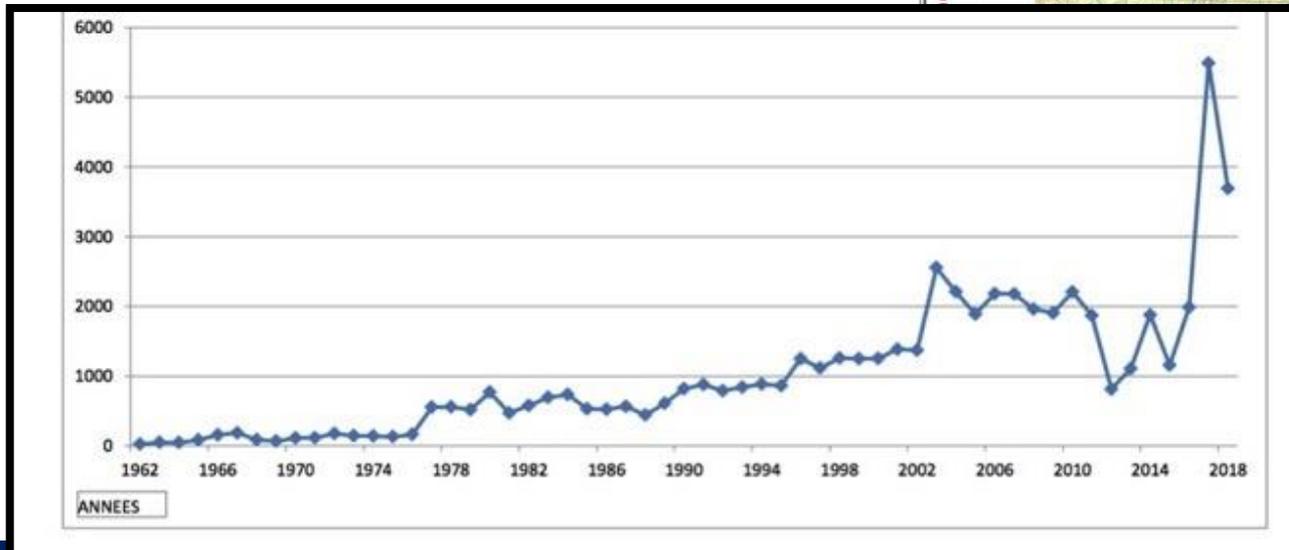
Mw de complétude ~ 2.5

Mw ≤ 5.5 (où 6.0 ...)

Sismicité Instrumentale de la France métropolitaine 1962-2018



version 03/2019
 métropolitaine et zone économique exclusive en mer (ZEE), avec
 1962-2009 le catalogue issu du projet SI-Hex (Cara et al. 2015,
 SS, pour lequel la magnitude MI a été convertie en Mw.

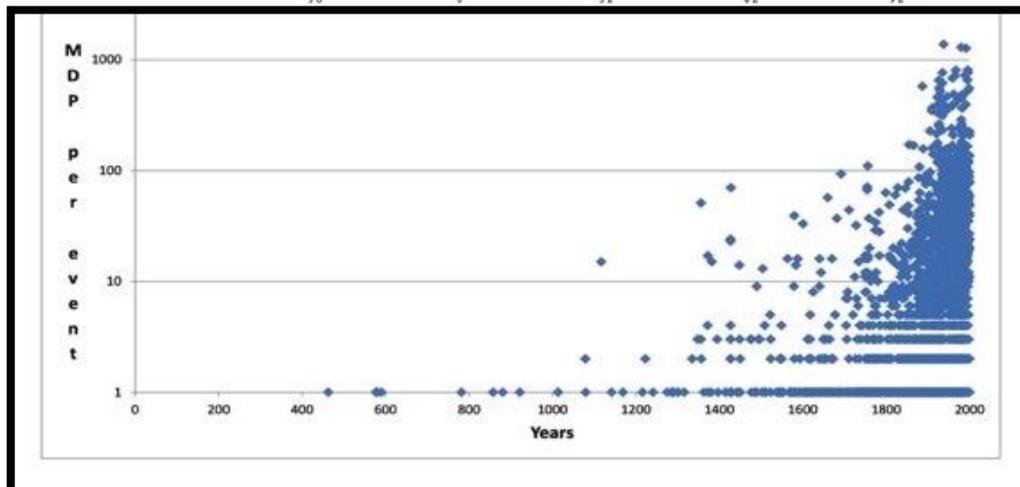
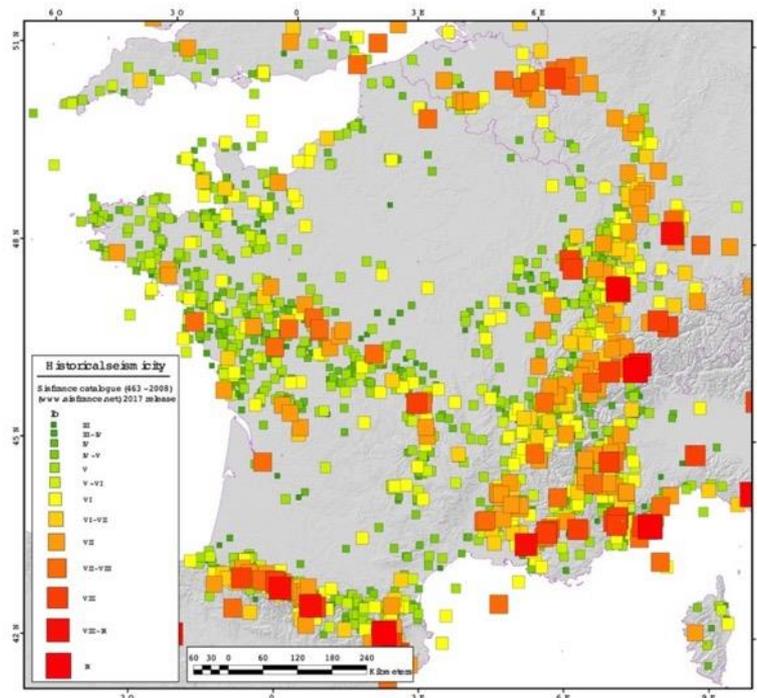


Macrosismicité et sismicité historique

$M_w \leq 6.5$ (ou 6.7 ...)

- Cohérent avec sismicité instrumentale
- Complexités locales, faible sismicité instrum. mais forts séismes historiques
 - Pas-de-Calais ($I_0 = VII-VIII$)
 - Provence, Moyenne Durance - Trevaresse ($I_0 = VIII-IX$)

➔ Les grands séismes ont tendance à se produire dans des zones de forte sismicité instrum., mais on ne peut pas exclure leur occurrence dans des zones de faible sismicité



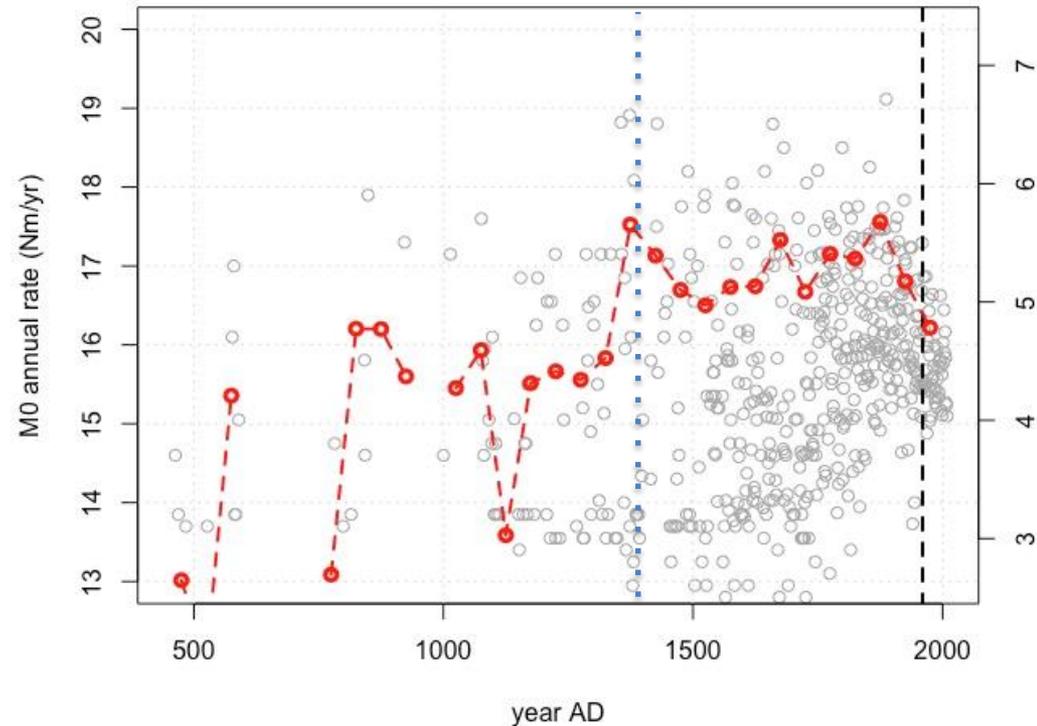
Taux de moment sismique basé sur FCAT-17 (Manchuel et al., 2017)

Avant XIV^e siècle, taux de moment augmente avec le temps, fortes variations → catalogue incomplet

Du XIV^e au début du XX^e siècle, taux de moment stable (malgré l'augmentation des données macro-sismiques)

$\sim 1 \times 10^{17} \text{ N m a}^{-1}$ (eq. Mw=5.3)

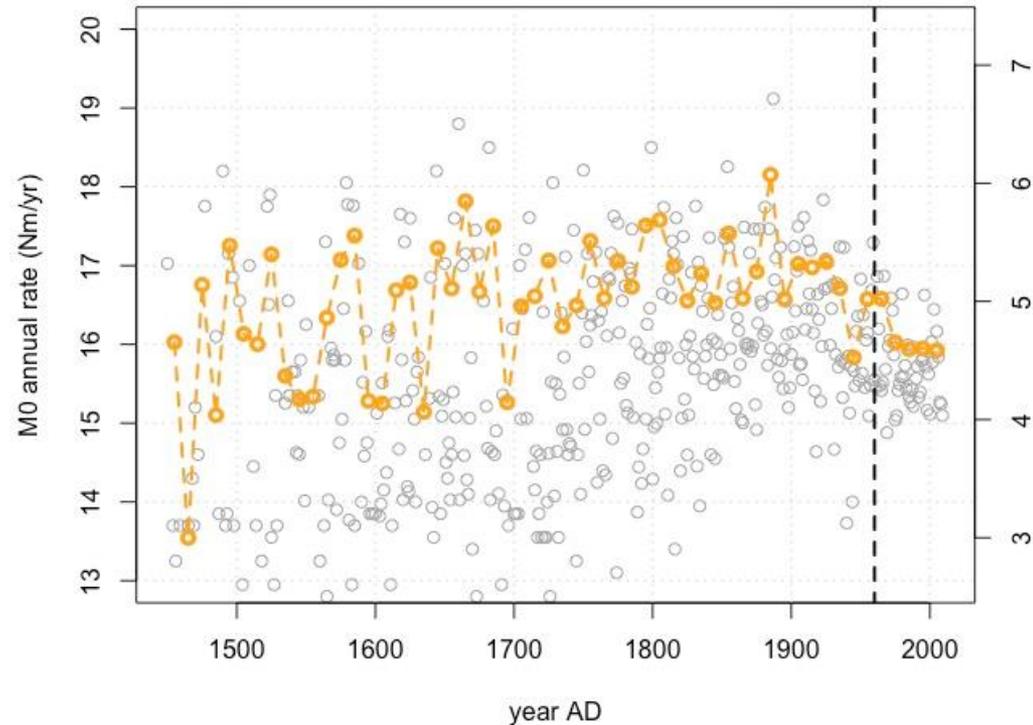
→ Suggère que la plupart des grands séismes sont connus post XIV^e



Taux de moment post 1960 dix fois plus faible que pre 1960, malgré la croissance des réseaux sismo.

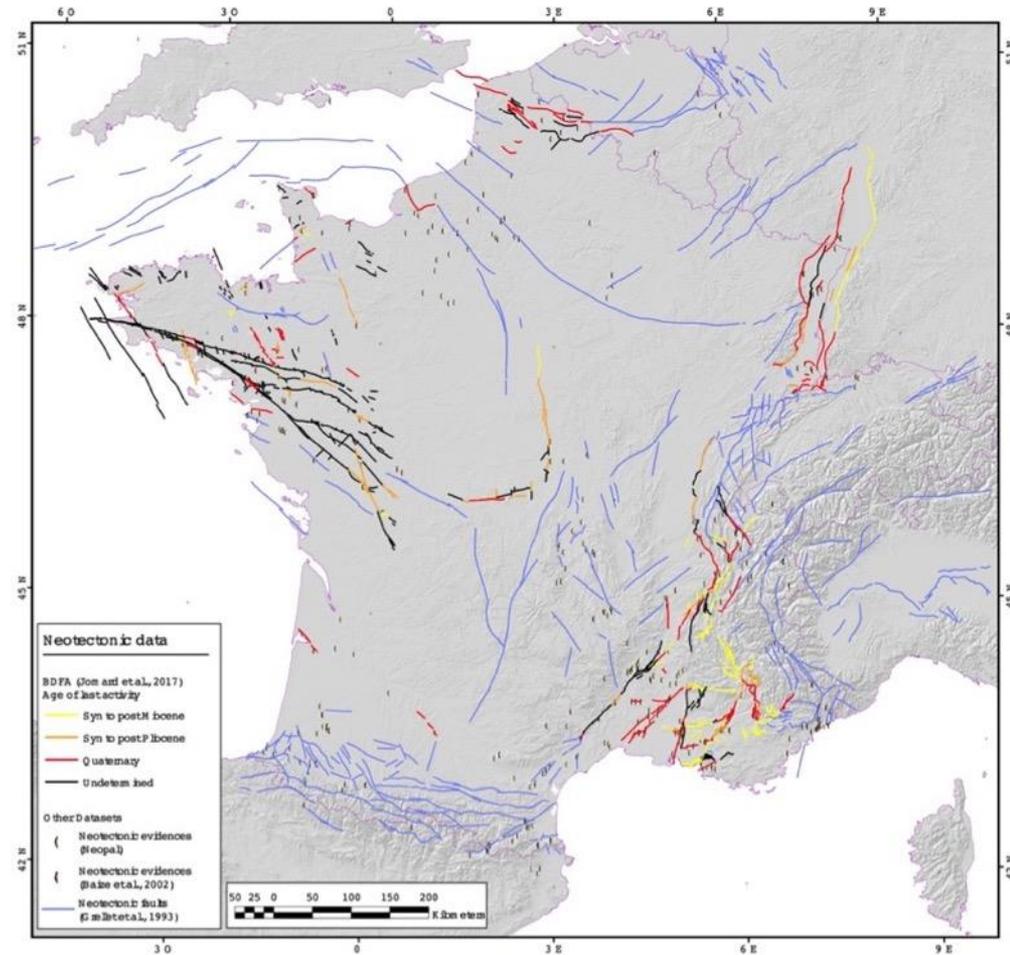
- Mw historiques surestimées (~ 0.5)
- Mw instrumentales sous-estimées ($M_w > 4.5-5$)
- 50 dernières années = période de repos sismique (pas observée depuis 1700 AD)

➔ Conclusion difficile concernant les variations temporelles de la sismicité en France métropolitaine



BDFA (Jomard et al., 2017) : base de données des failles potentiellement sismogènes (rayon de 50 km des installations nucléaires)

- Potentiel sismogène = signes d'une déformation syn ou post Miocène
- Trois failles avec des séismes récurrents (et période de récurrence)

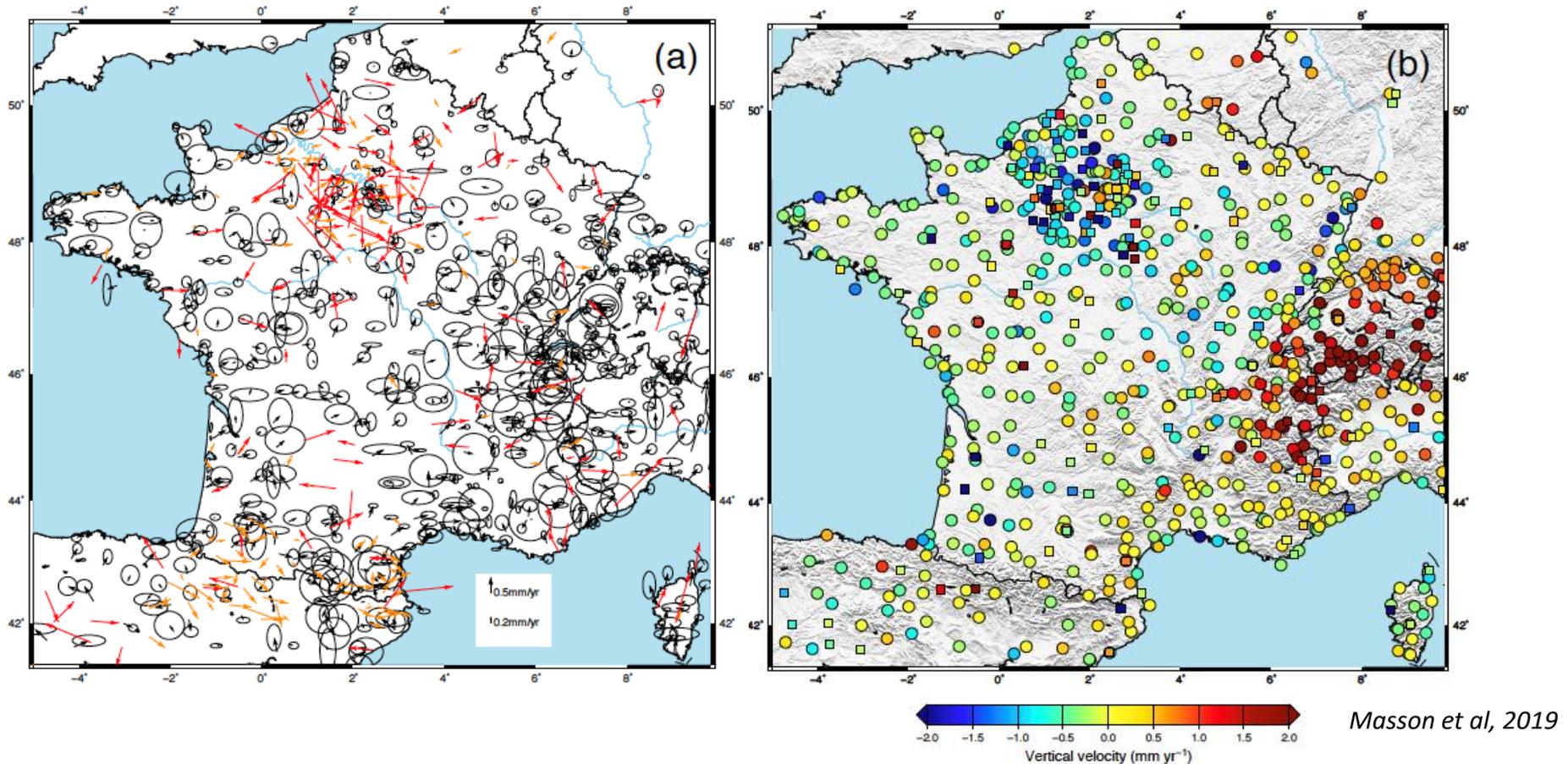


Calendrier de l'action FACT

- **Période Eté 2019 – Printemps 2020 : Travail des différents groupes « région » pour :**
 - 1/ Evaluer et compléter les BD disponibles (fiches BDFA, Neopal, etc...)
 - 2/ Identifier les besoins et analyses complémentaires en vue de futurs projets

- **Réunion fin Mai-début Juin 2020 : Workshop SIGMA2 / RESIF**
 - 1/ Thème tectonique active/Datation
 - 2/ Bilan intermédiaire de l'action « Failles ACTives -France »

- **Printemps – Eté 2021 : Ecole d'été / Workshop ANR DISRUPT / RESIF (dans 2 ans)**
 - 1/ Rupture (effets de surface, déformation off fault,...)
 - 2/ Bilan de l'action « failles actives » et perspectives (nouveaux projets de recherche)



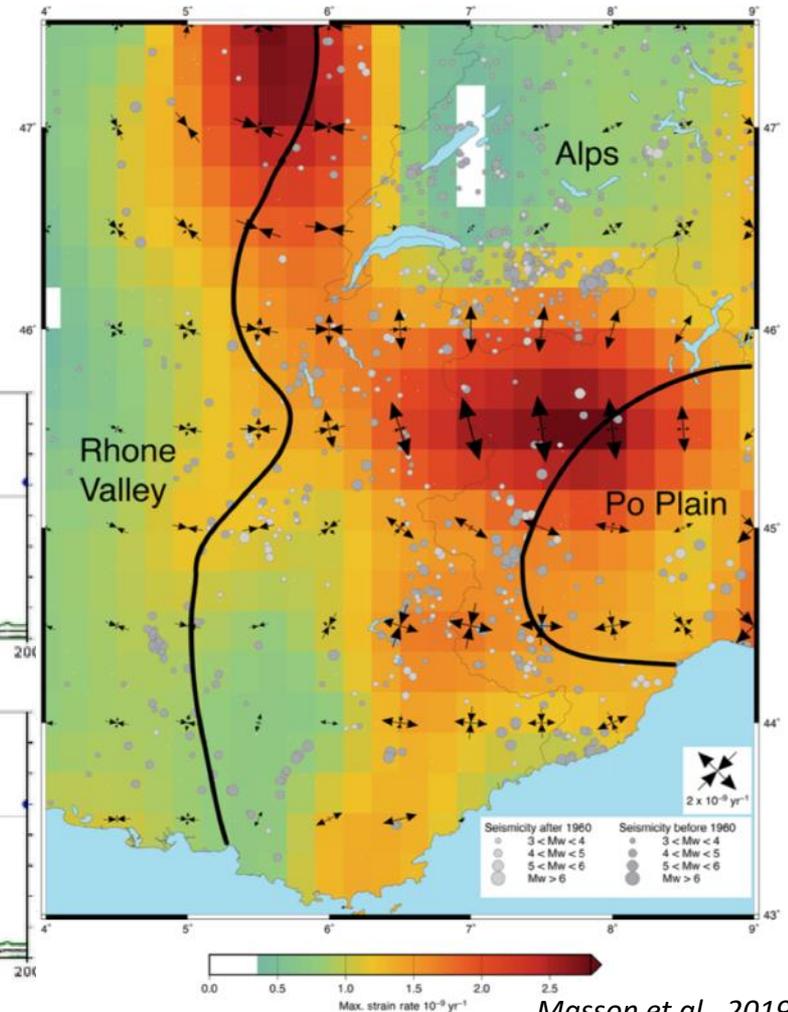
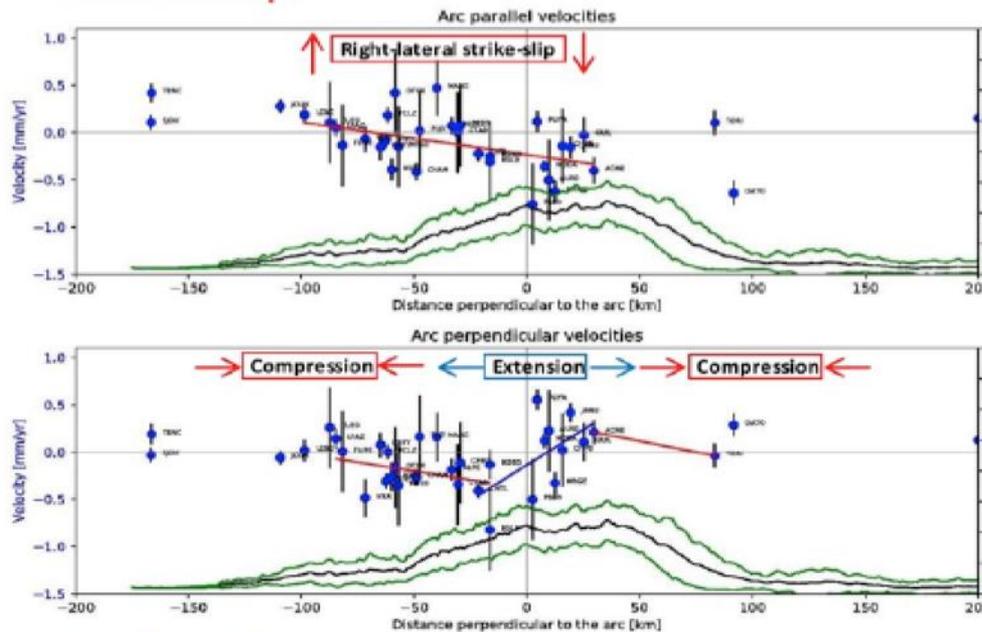
Forte densité de stations GNSS (RENAG + IGN + réseaux privés)

Traitement de très large volumes de données (plus de 700 stations, 5-19 ans)

- ➔ Tendances verticales (Alpes, Bassin parisien)
- ➔ Signal horizontal de 1^{er} ordre < 0.5 mm/a

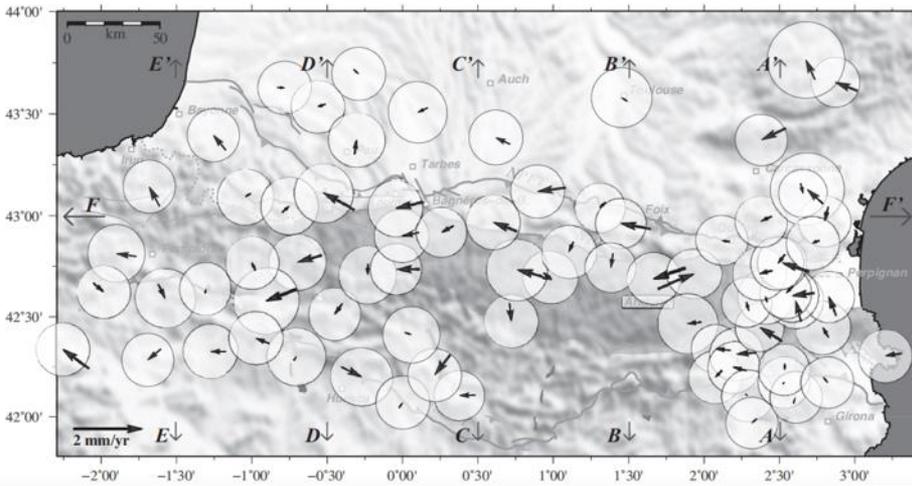
Alpes Occidentales

- Extension domaines internes (N-S → E-W)
- +
- Raccourcissement plus lent de l'avant-pays
- +
- Décrochement dextre (Belledonne)

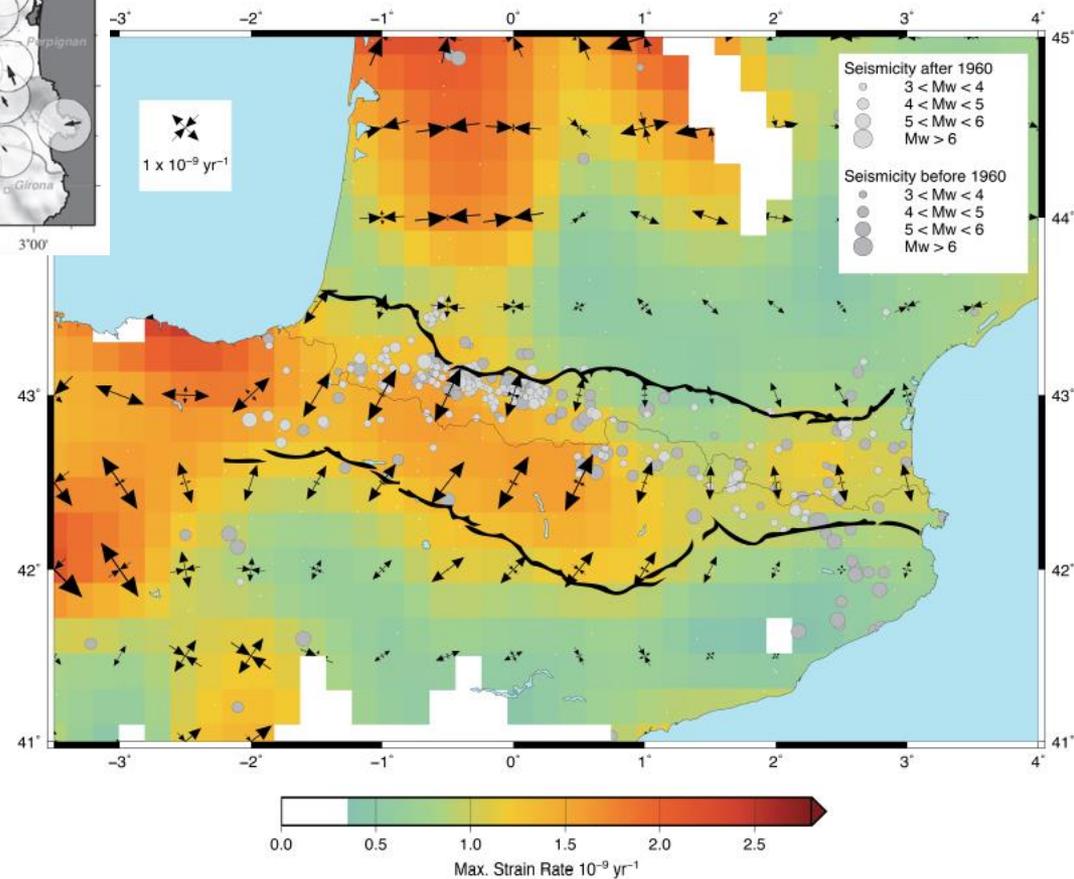
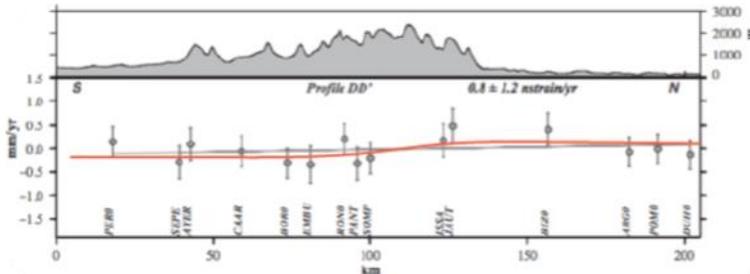


Pyénées

Extension N-S, sans mvt verticaux clairs



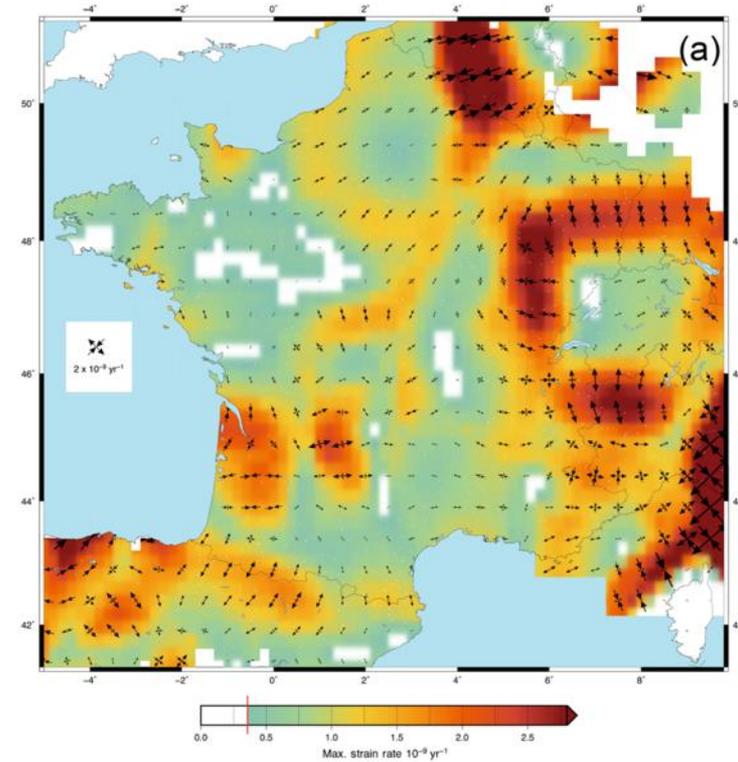
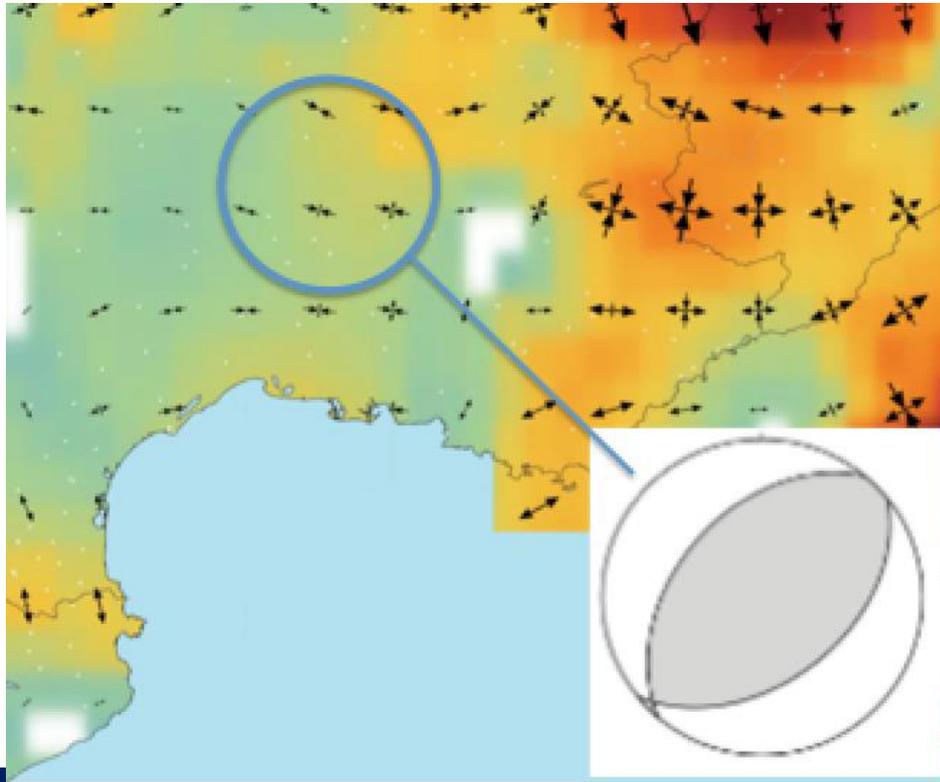
Rigo et al., 2015



Masson et al., 2019

- Forte densité de stations GNSS
- Très large volumes de données
- Nouvelles méthodes de traitement du signal

➔ Résultats complexes dont l'implication en terme de sismicité reste à étudier

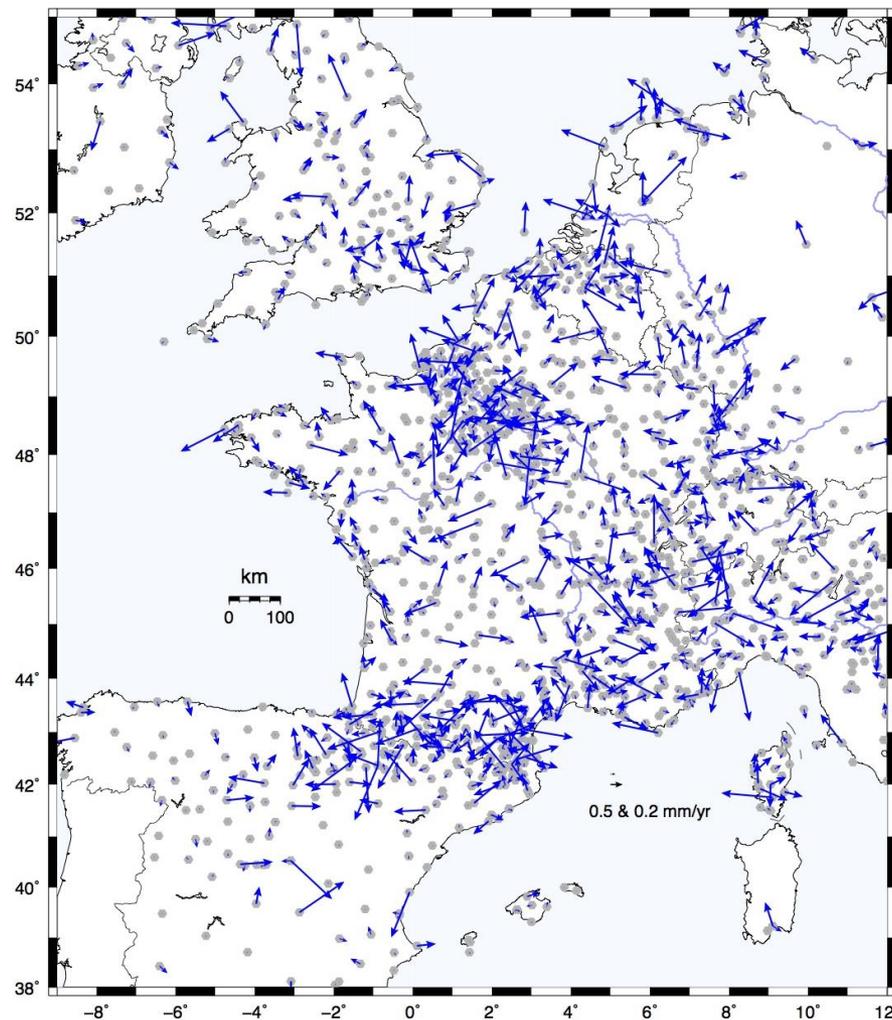


Masson et al., 2019

Action combinée RENAG

Comparaison et étude des
différentes modèles et méthodes
de calcul des taux de déformation
GNSS

➔ Printemps 2020



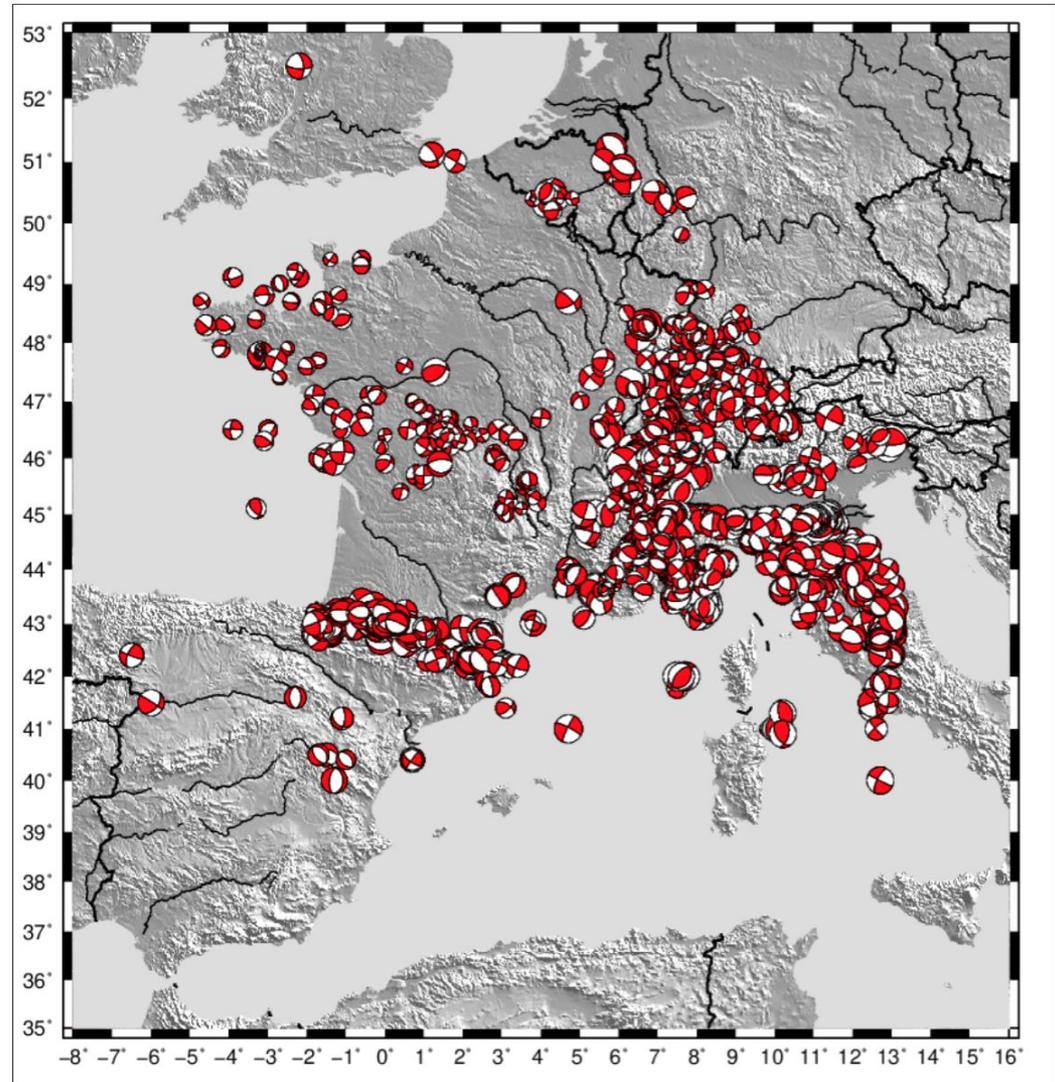
Synthèse sismo-tectonique

e.g., compilation de mécanismes aux foyer

Base = BD CEA (Do Paco et al., 2016)

➔ cat. vérifié mais hétérogène

➔ ca. 1300 solutions dont 900 séismes)

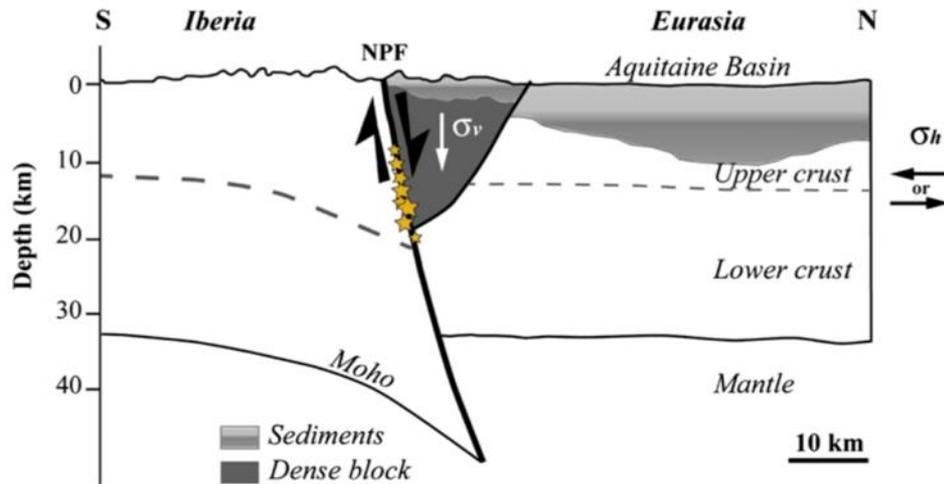


3 - Modèles de processus et de mécanismes à l'origine de cette déformation et de cette sismicité ?

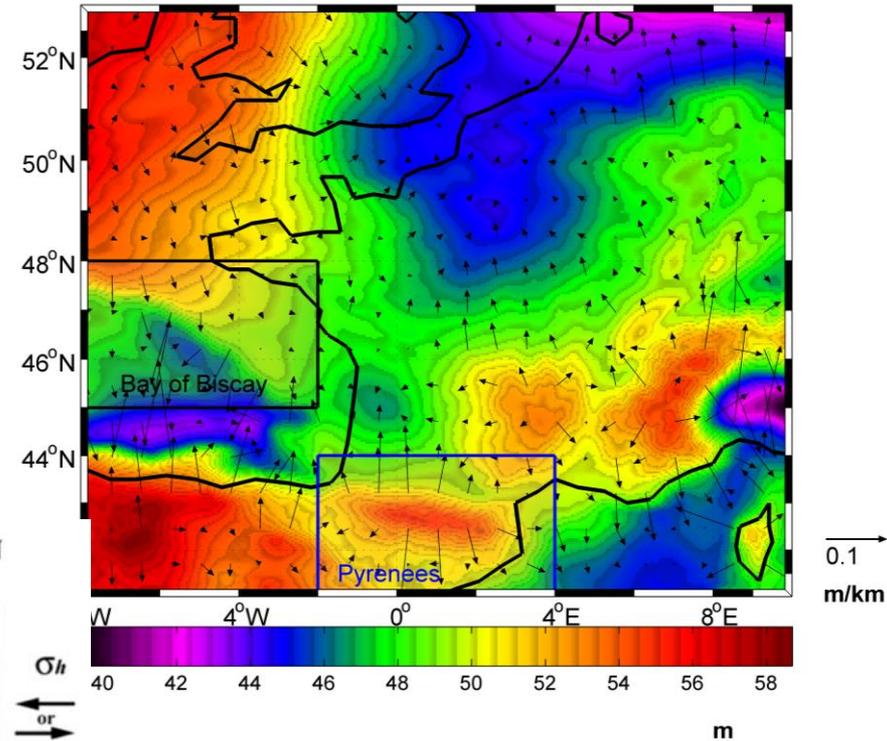
(1) Forçages isostatiques jouant potentiellement un rôle

Topographie et variations de densité lithosphériques et crustales

➔ Contraintes variables spatialement et réactivation de failles ?



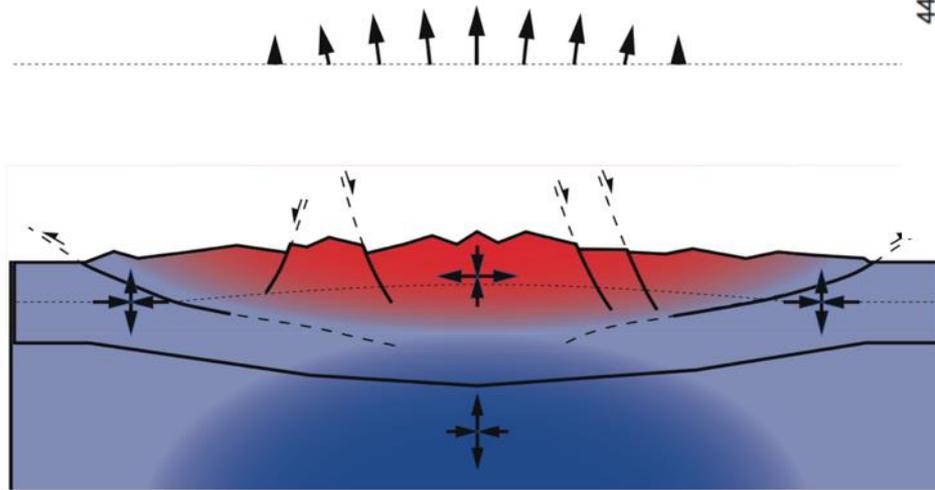
Souriaux et al., 2014



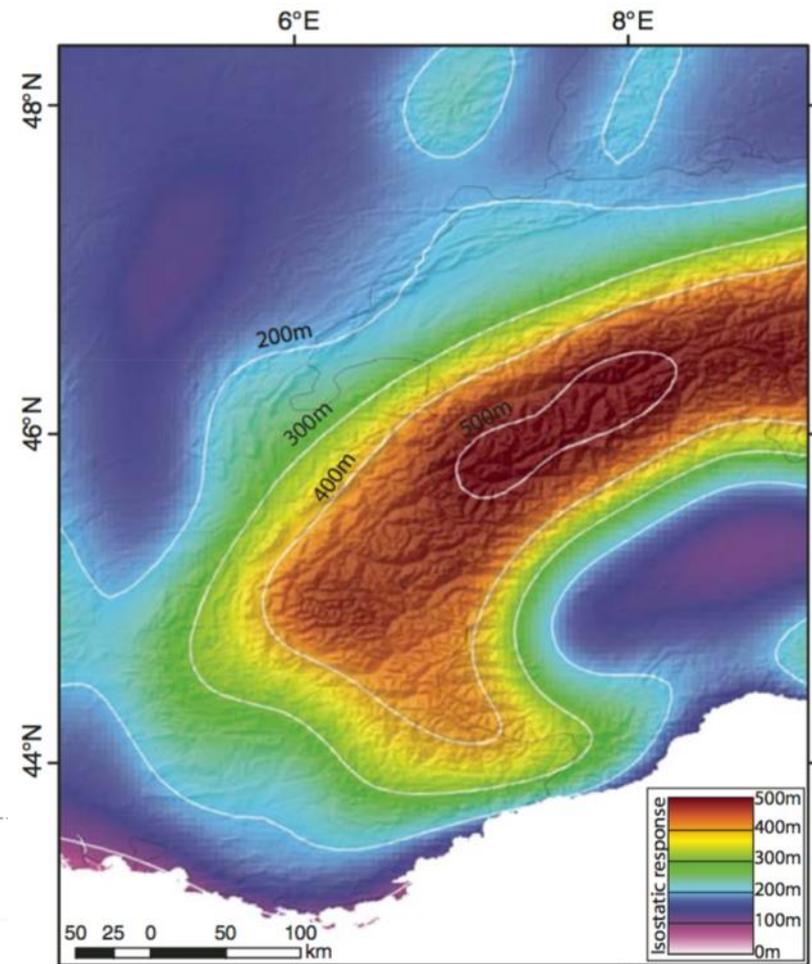
Camelbeck et al., 2013

(1) Forçages isostatiques jouant potentiellement un rôle

Erosion des reliefs (Alpes, Massif Central, ...) → Soulèvement et extension



Vernant et al., 2013

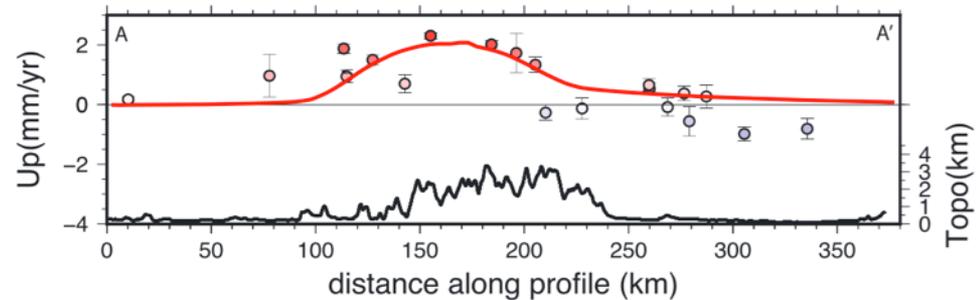
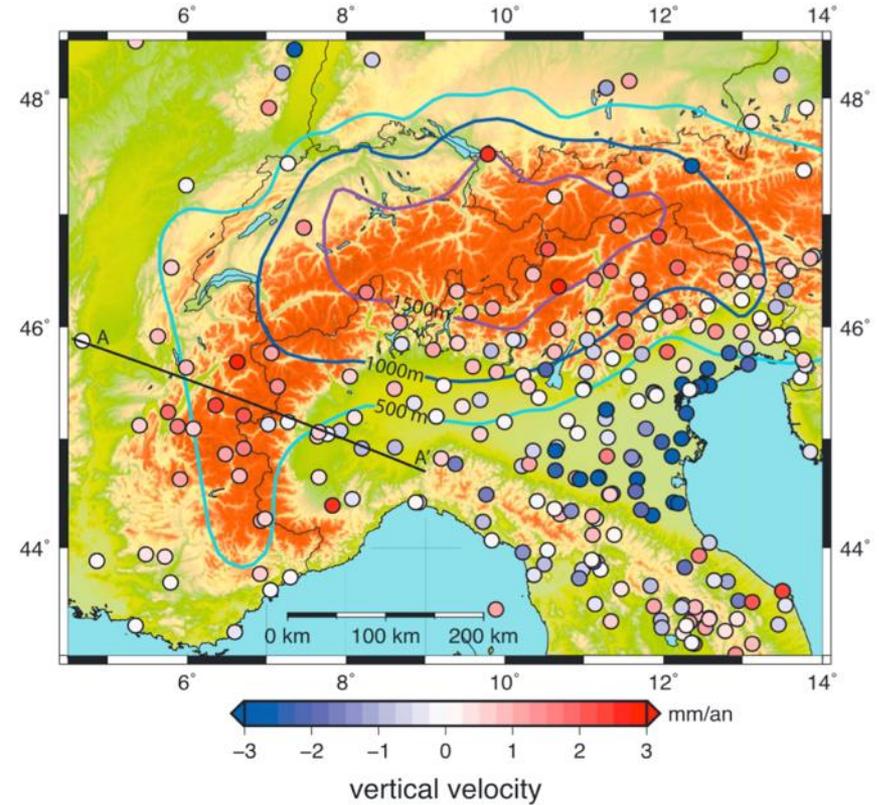


Champagnac et al., 2007

(1) Forçages isostatiques jouant potentiellement un rôle

Rebond postglaciaire (calotte alpine au dernier maximum glaciaire)

→ Soulèvement et extension

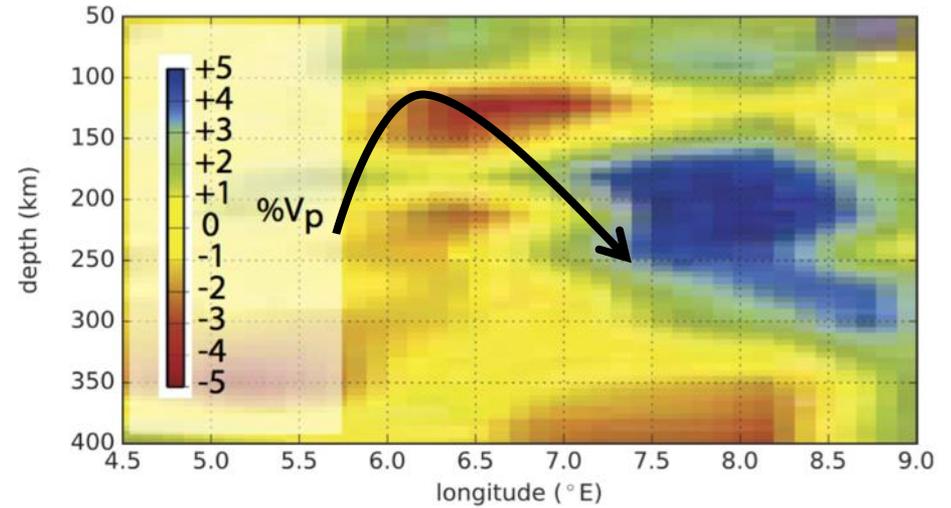


3 - Modèles de processus et de mécanismes à l'origine de cette déformation et de cette sismicité ?

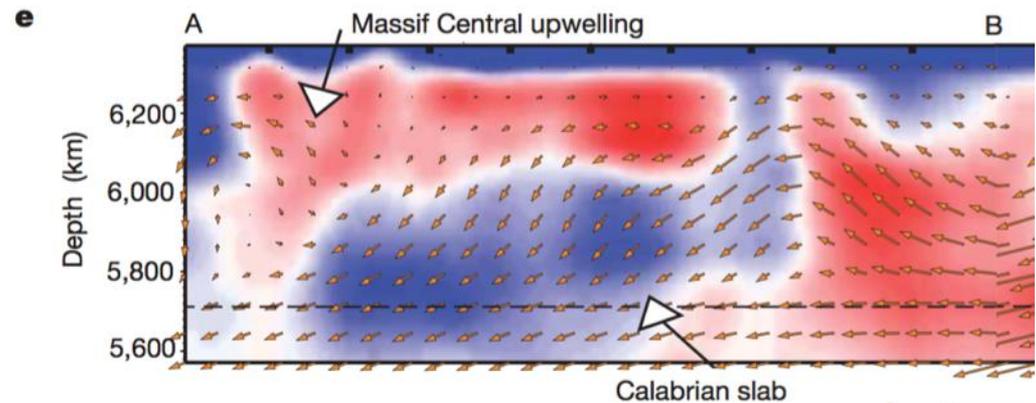
(2) Forçages mantelliques jouant potentiellement un rôle

Dynamique mantellique liée au détachement du slab alpin

Dynamique mantellique grande échelle liée à la subduction méditerranéenne



Nocquet et al., 2016



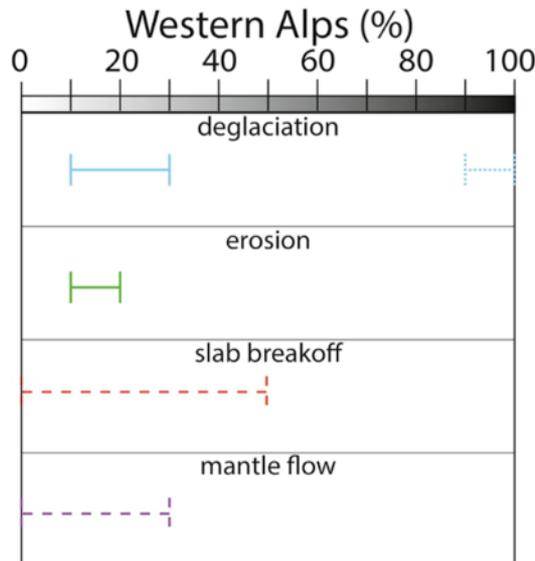
Faccena and Becker, 2010

3 - Modèles de processus et de mécanismes à l'origine de cette déformation et de cette sismicité ?

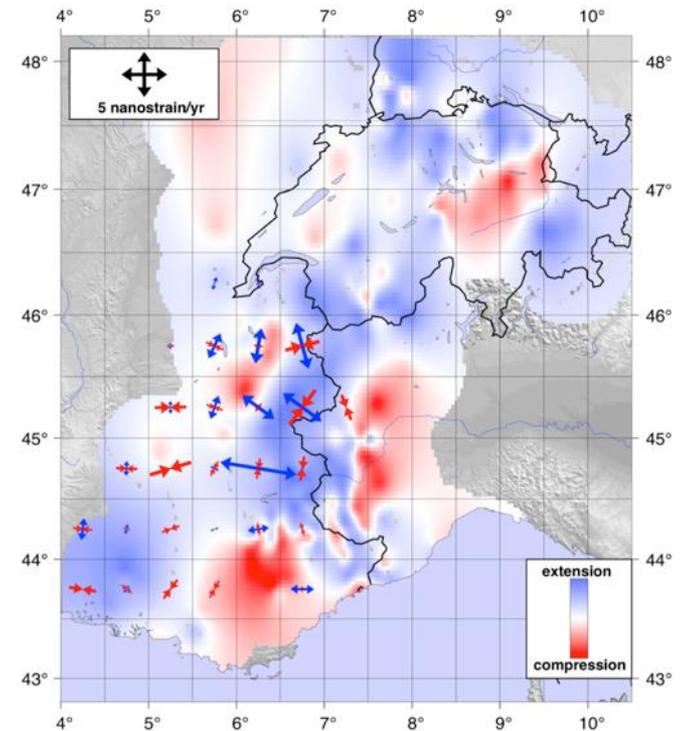
Au stade actuel, difficile de distinguer la part de chaque processus

e.g. Alpes occidentales :

- Extension E-W et soulèvement au cœur de la chaîne
- 4 processus en compétitions, peut-être avec chacun un impact similaire ?



Sternai et al., 2019

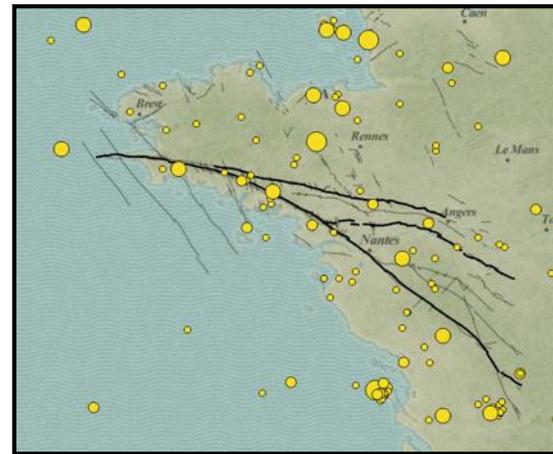


Exemple d'application pour mieux caractériser l'aléa sismique

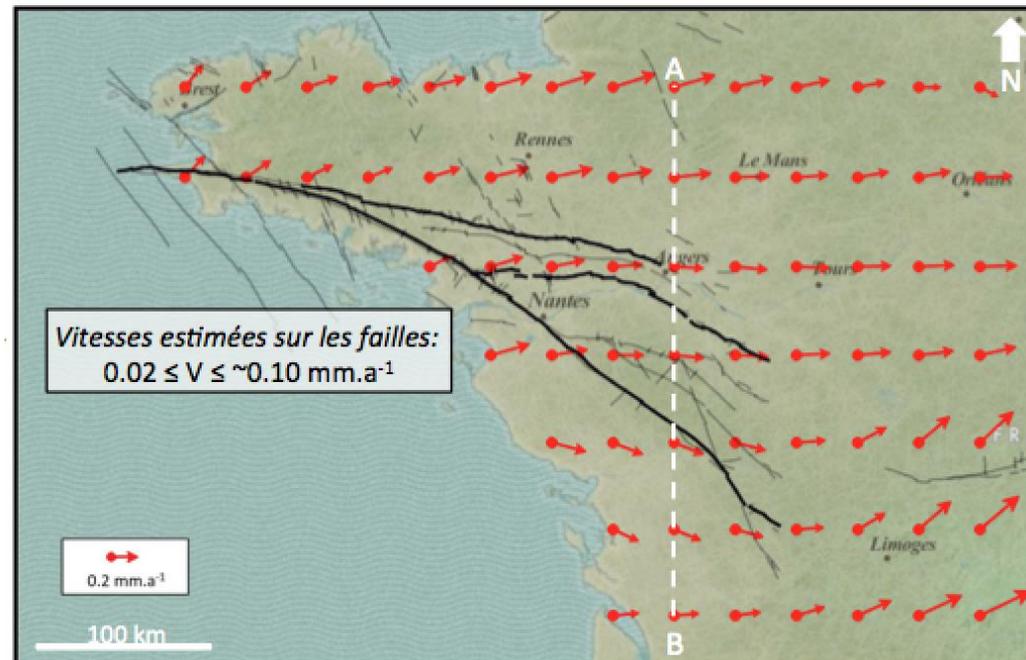
Intégration d'un champ de vitesses GNSS (modélisé) dans un modèle de failles sismogènes (SHERIF, Chartier et al., 2019)

Ex. Bretagne et Cisaillement Sud Armorica

NB : vitesse de failles $< 0.1 \text{ mm/a}$



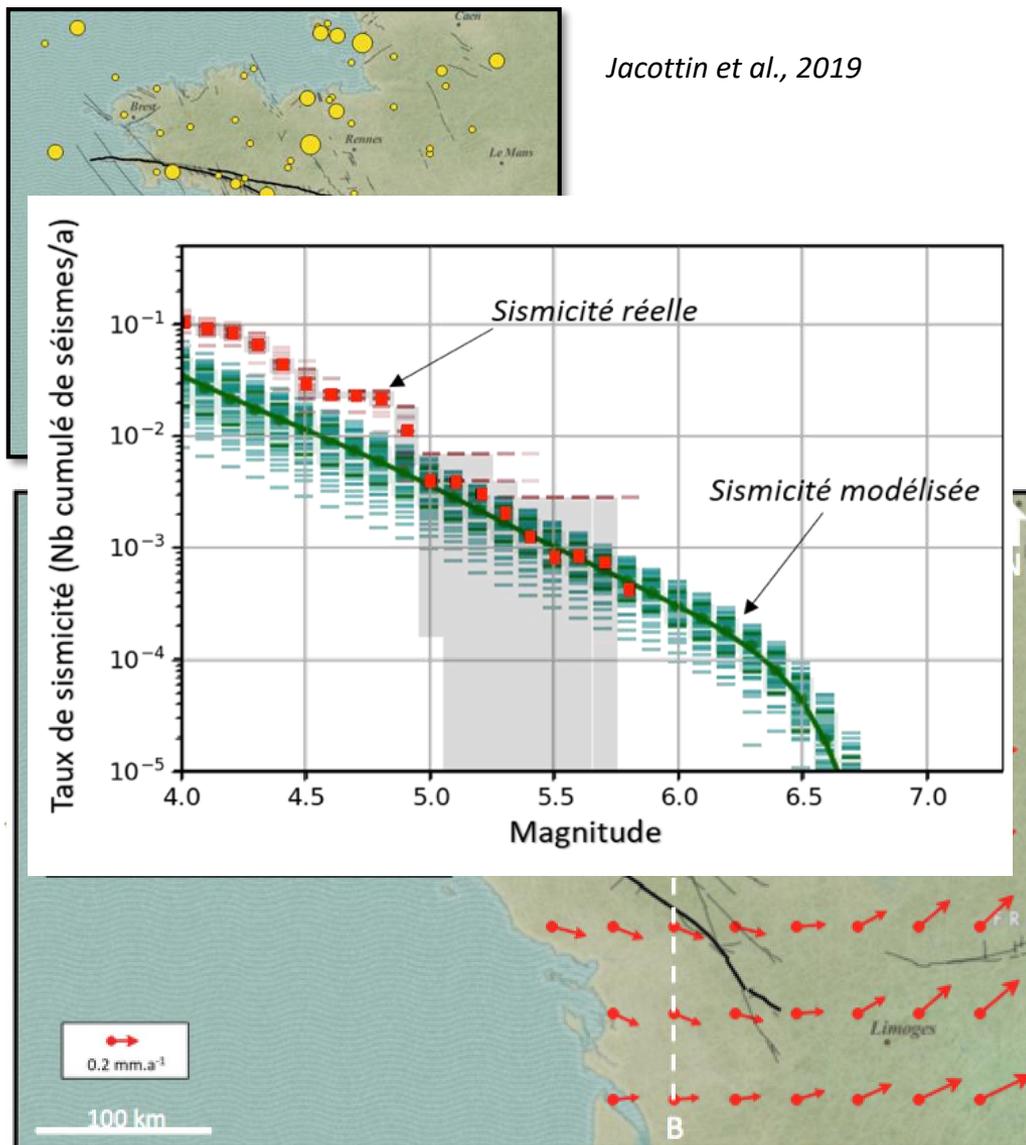
Jacottin et al., 2019



Exemple d'application pour mieux caractériser l'aléa sismique

Intégration d'un champ de vitesses GNSS (modélisé) dans un modèle de failles sismogènes (SHERIF, Chartier et al., 2019)

- ➔ Contraintes sur la magnitude maximum et la fréquence des séismes importants pour l'aléa
- ➔ Accord sismicité historique et déformation géodésique requière séismes de magnitude $M_w \geq 6.5$



Conclusions

De nombreux modèles cohabitent aujourd'hui pour expliquer la sismicité en France avec des influences relatives +/- fortes selon les régions

➔ Sortie d'un modèle « tout tectonique »

➔ Quel impact sur la manière de calculer l'aléa sismique ? Quelles données sont nécessaire ?

L'axe 5 de l'ATS RESIF a pour ambition de

- Promouvoir les échanges entre différentes communautés (sismo, géol, géodésie, ...)
- Rassembler et rendre disponibles les données nécessaires au calcul d'aléa à l'échelle de la France
- Repositionner la communauté académique au centre de la question de l'aléa sismique en France