

# La sismotectonique du nord-est de la France et ses régions voisines

Cécile Doubre<sup>1</sup>, Mustapha Meghraoui<sup>1</sup>, Frédéric Masson<sup>1</sup>, Sophie Lambotte<sup>1</sup>, Hélène Jund<sup>2</sup>, Maxime Bès de Berc<sup>1</sup>, Marc Grunberg<sup>2</sup>

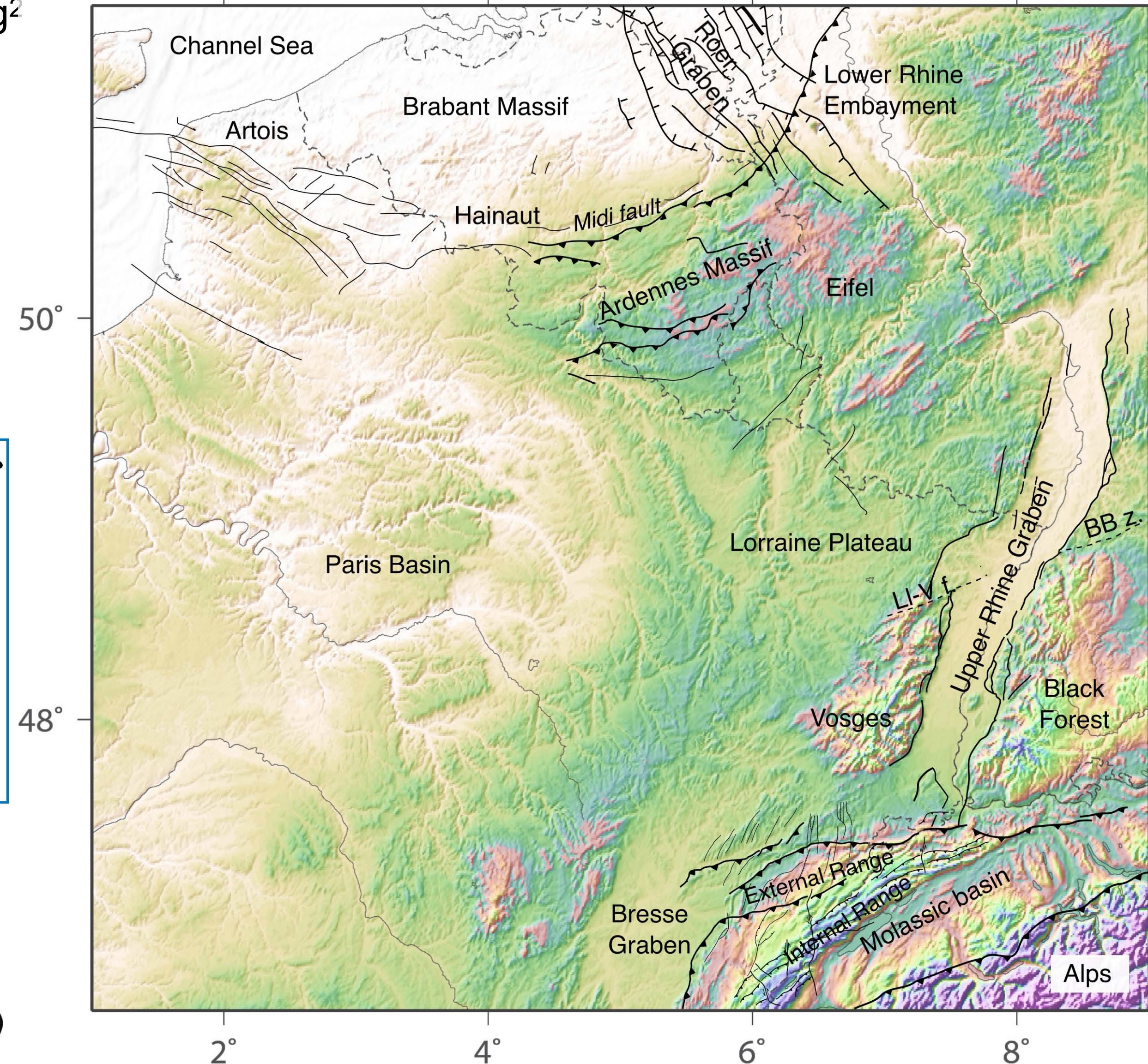
## Comptes Rendus

### Géoscience

Sciences de la Planète

Cécile Doubre, Mustapha Meghraoui, Frédéric Masson, Sophie Lambotte, Hélène Jund, Maxime Bès de Berc and Marc Grunberg

Seismotectonics in Northeastern France and neighboring regions



# La sismotectonique du nord-est de la France et ses régions voisines

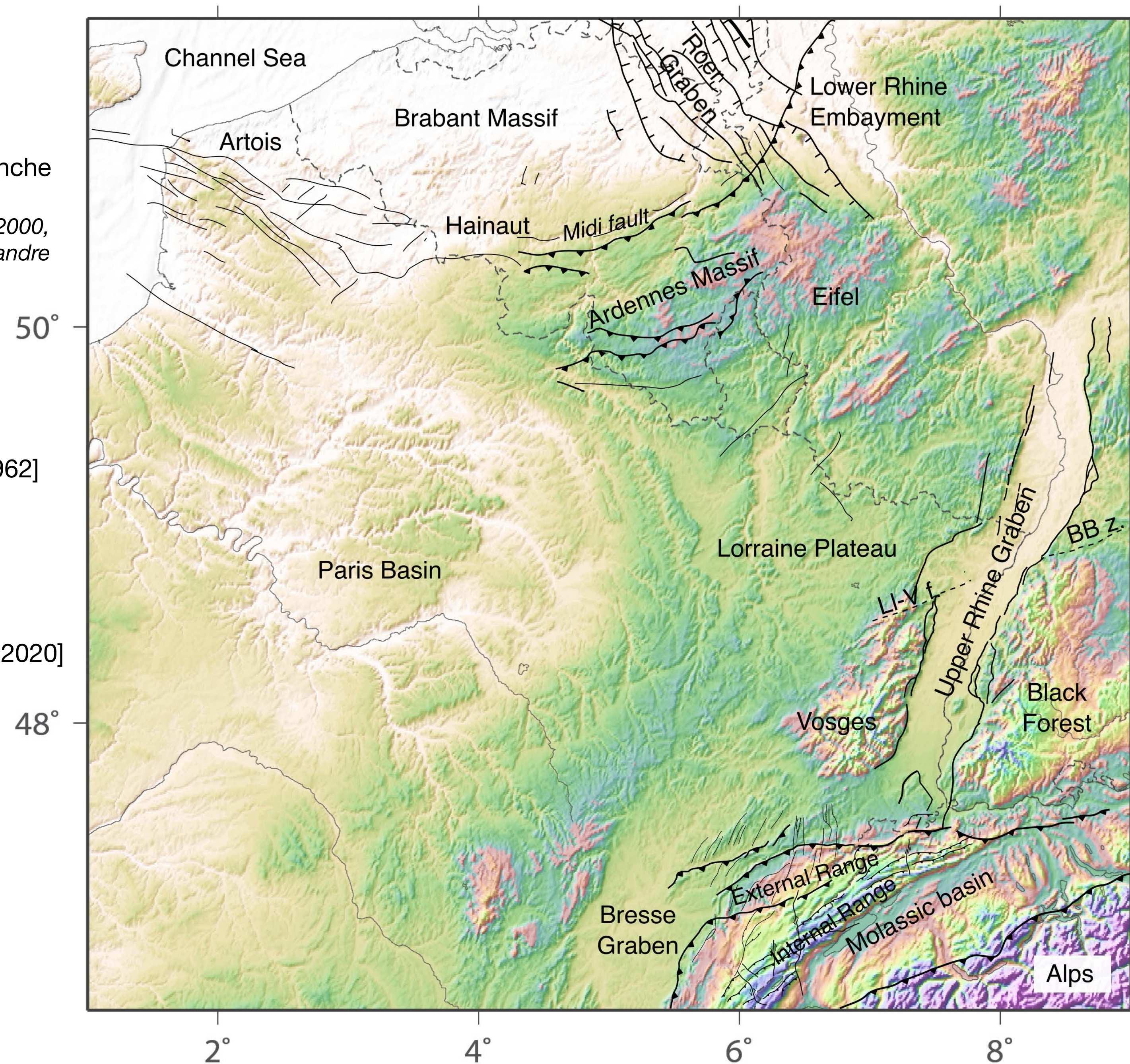
## Plusieurs domaines géologiques

- Jura
  - Vosges
  - Fossé rhénan
  - Eifel, massif des Ardennes, massed de Brabant, Artois, canal de la Manche
- Non inclus: Rhin Inférieur et Roer Graben

[Ahorner, 1975, 1985, 1996, Camelbeeck & Meghraoui, 1998, Meghraoui et al., 2000, Reamer & Hinzen, 2004, Hinzen & Reamer, 2007, Camelbeeck et al., 2007, Alexandre et al., 2008, Lecocq, 2011, Hinzen et al., 202]

## Synthèse sur la sismo-tectonique de la région à partir des données

- Catalogue sismicité historique  
FCAT-17, Mensuel et al. [2018] - SisFrance, Scotti et al. [2014]: [463-1962]  
Données Observatoire Belgique
- Catalogue sismicité instrumentale  
SiHex [1962-2020] - Masson et al. (2021)  
Pas de relocalisations dans NE-France  
Densification du réseau Resif-CLB, Ademe-Alsace, AlpArray [2016-2020]
- Mécanismes au foyer  
FMHex20 - Mazzotti et al. (2021)  
-> inversion tenseurs des contraintes  
-> inversion tenseurs des taux de déformation sismique
- Champ de vitesses GNSS  
Henrion et al. (2020)  
Vitesses horizontales et verticales  
Tenseurs des taux de déformation géodésique



# La sismotectonique du nord-est de la France et ses régions voisines

## Sismicité intraplaque

Sismicité historique

Sismicité modérée

Séisme de Bâles 1356 ( $I_{max}$ = IX,  $M_w$ = 5.5 - 7.1)

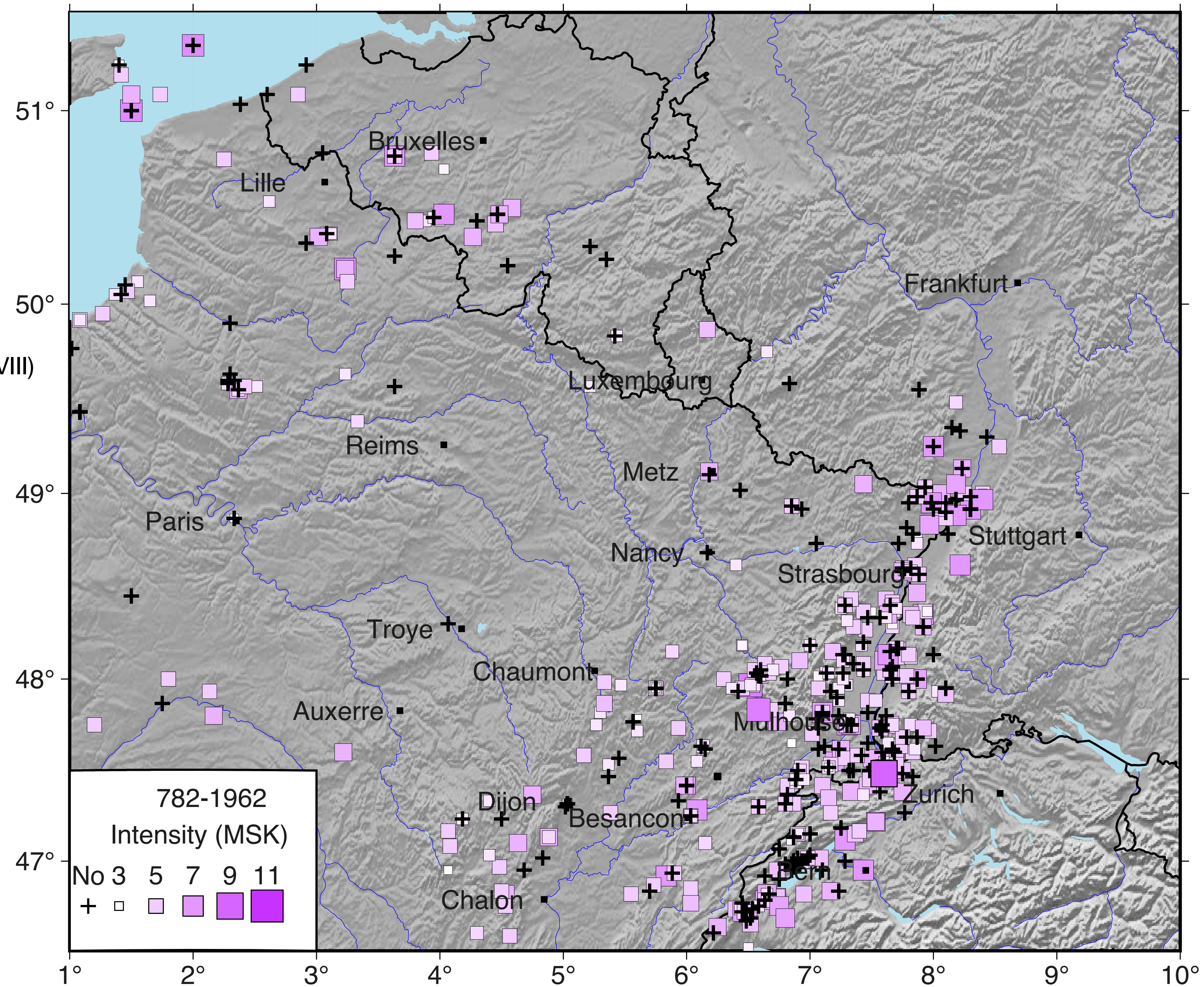
+ 1531 ( $I_{max}$ = VIII)

Séisme de Luxeuil les Bains 1682 ( $I_{max}$ =VIII )

Séquences N-URG ( $I_{max}$ =VII)

Canal de Douvre 1382 ( $I_{max}$  = VII–VIII), 1580 ( $I_{max}$  = VII– VIII)

(+ séismes Jura Souabe)



# La sismotectonique du nord-est de la France et ses régions voisines

## Sismicité intraplaque

Sismicité instrumentale

Sismicité modérée

Rambervilliers (2003, Vosges, Mw=5.3)  
et séquences associées

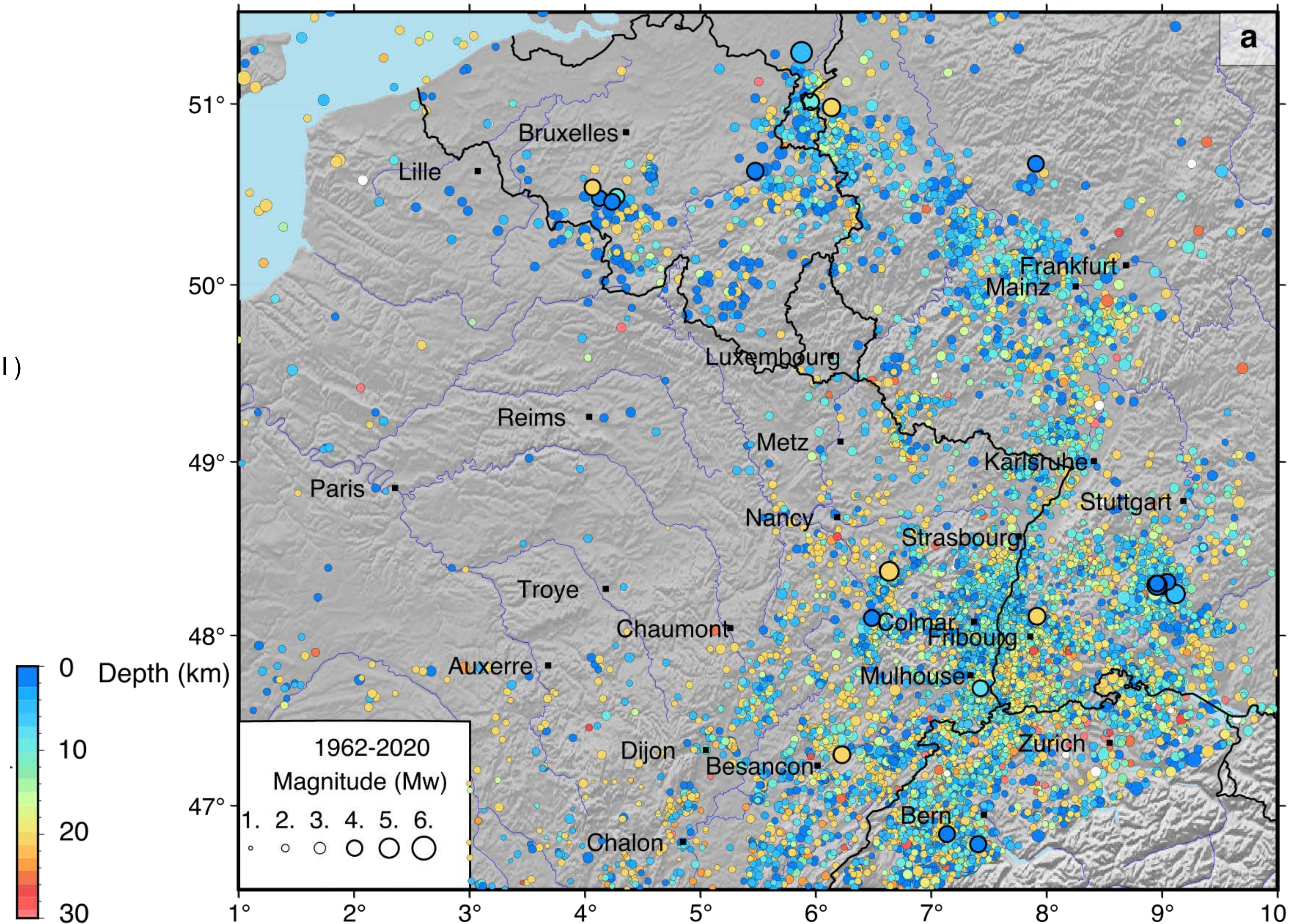
Remiremont (1984, Vosges, Mw=4.1)

Waldkirch (2004, Black Forest, Mw=4.4 )

Sierentz (1980, Fossé rhénan sud, Mw= 4.8, I<sub>max</sub>=VII )  
et séquence associées

Roulans (2004, Jura, Mw=4.4, I<sub>max</sub>=VI )

Hainaut (1995 Mw=4.1, 1966-67 Mw=4.0-4.1)

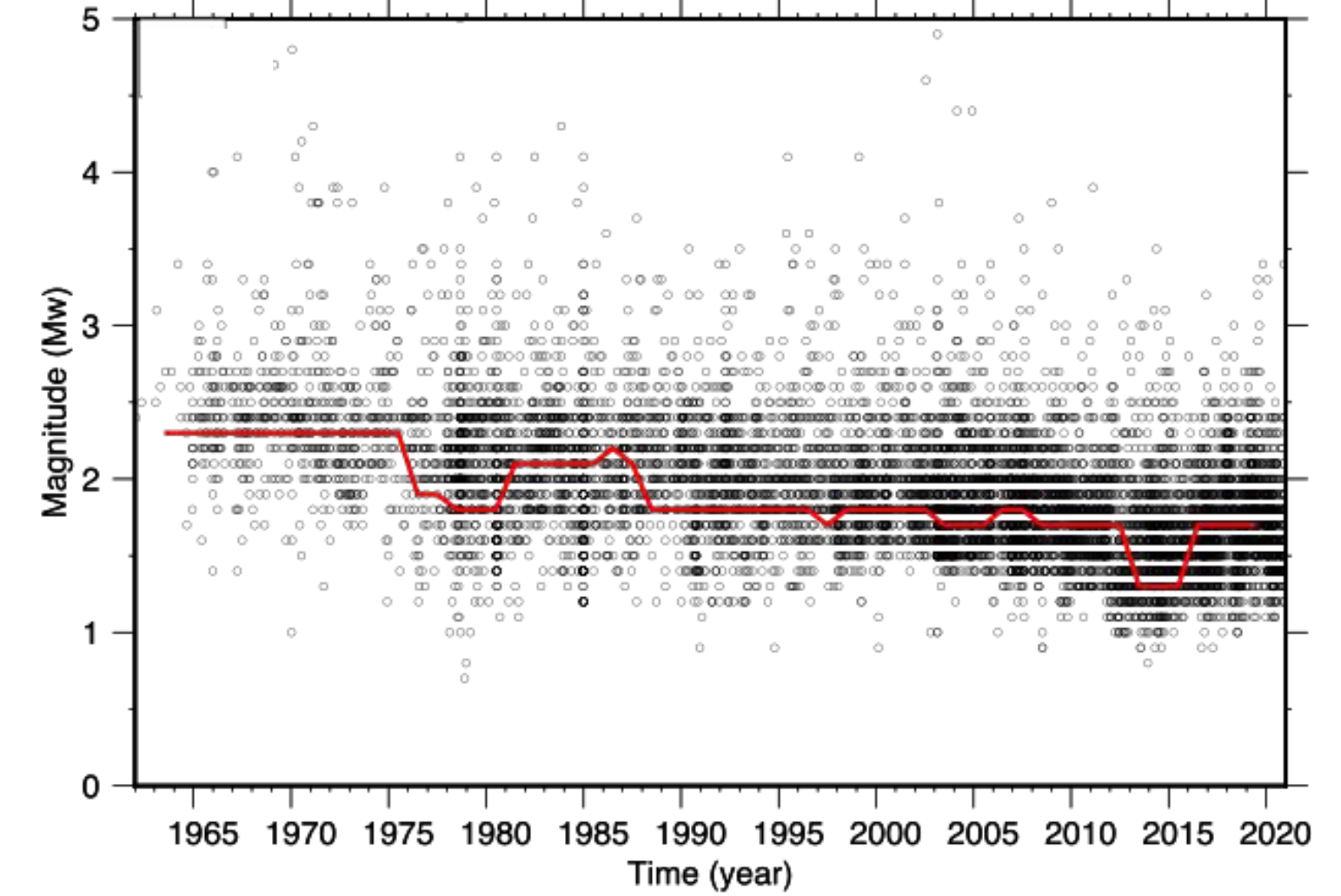
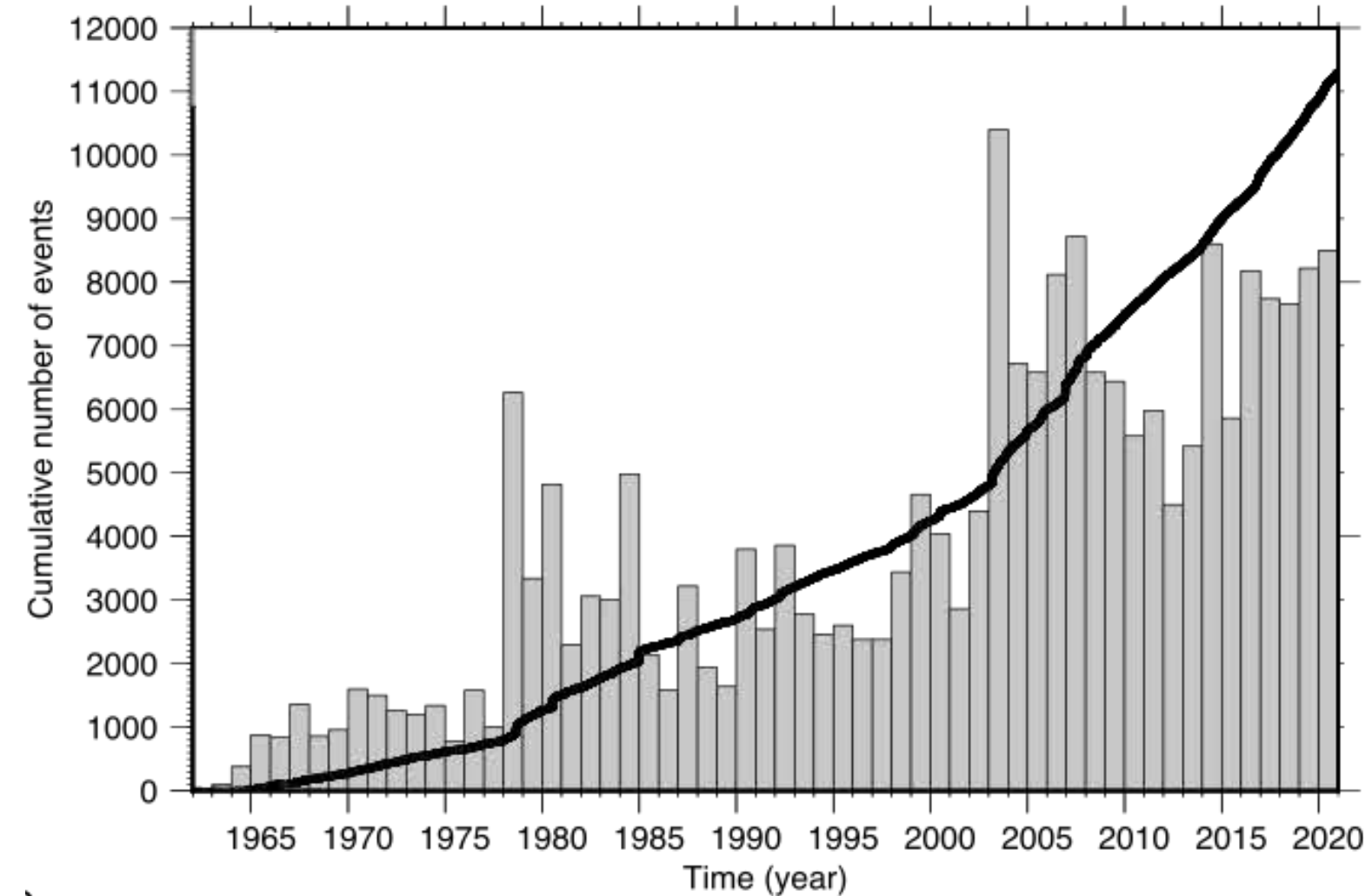
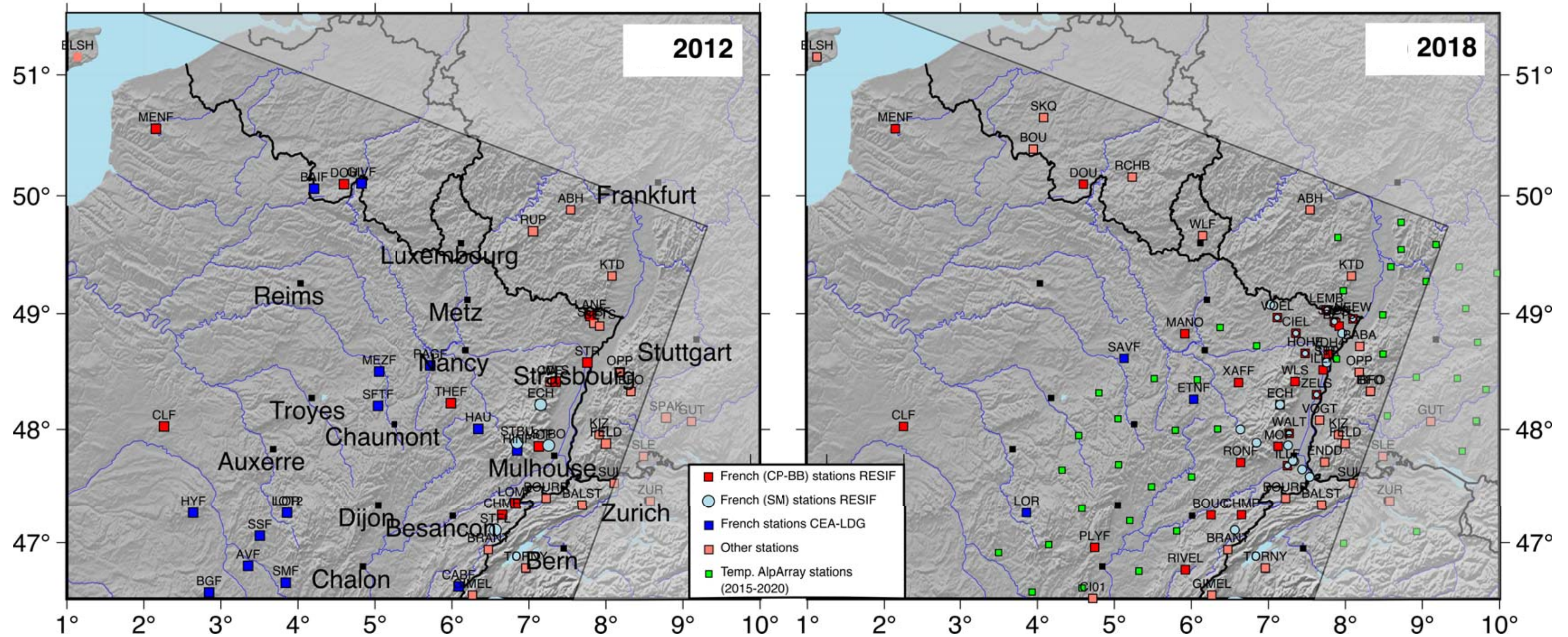


# La sismotectonique du nord-est de la France et ses régions voisines

## Evolution du réseau

->  $M_c \sim 1.5$  (toute la région)

- RéSIF-CLB (RLBP)
- Projet ESG-Alsace (Ademe)
- AlpArray (temporaire)



# La sismotectonique du nord-est de la France et ses régions voisines

## Sismicité intraplaque

Sismicité instrumentale

Sismicité modérée

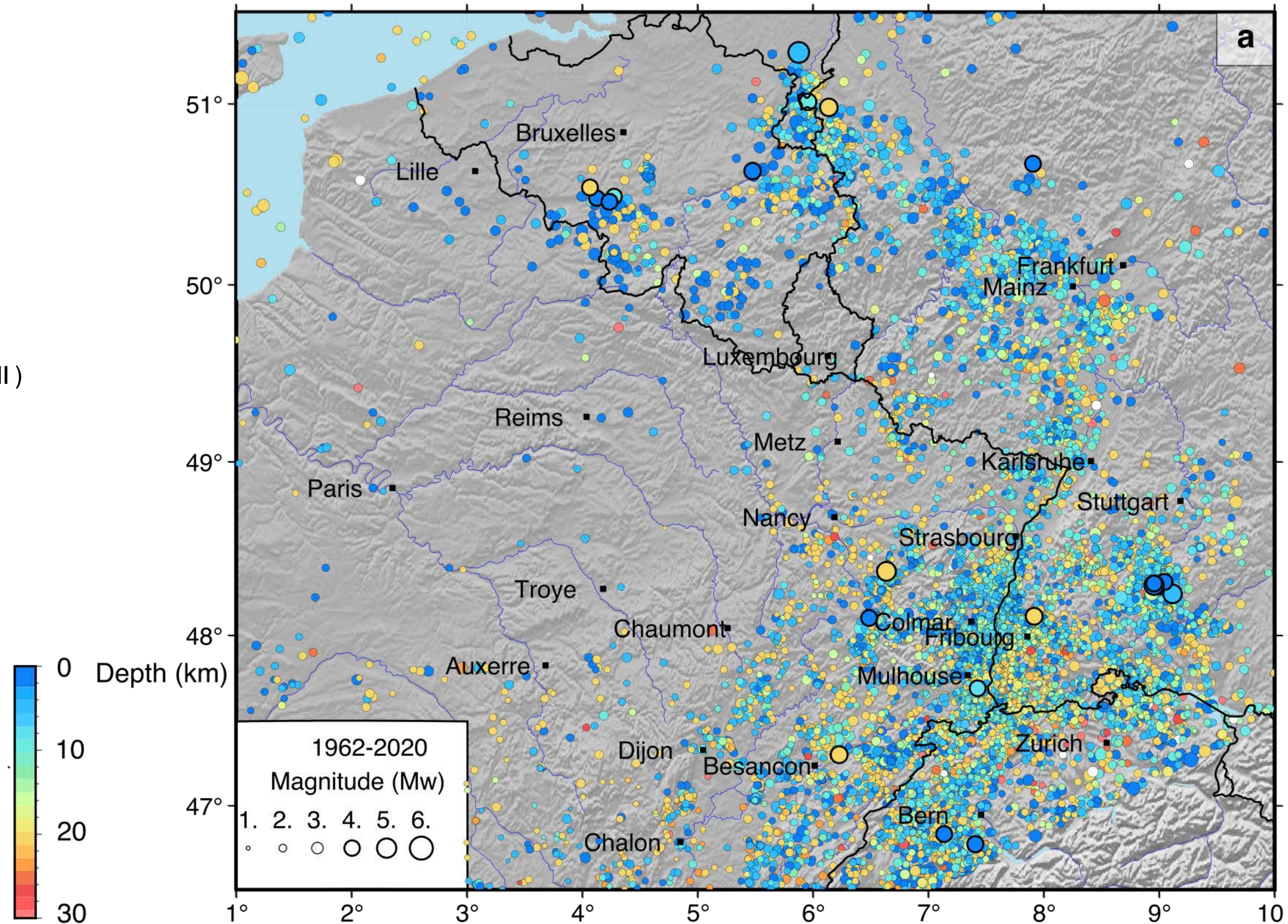
Rambervilliers (2003, Vosges, Mw=5.3)  
et séquences associées

Remiremont (1984, Vosges, Mw=4.1)

Waldkirch (2004, Black Forest, Mw=4.4 )

Sierentz (1980, Fossé rhénan sud, Mw= 4.8, I<sub>max</sub>=VII )  
et séquence associées

Roulans (2004, Jura, Mw=4.4, I<sub>max</sub>=VI )



# La sismotectonique du nord-est de la France et ses régions voisines

Vitesses horizontales (/Eurasie stable)  
Vitesses ~ 0.1 mm/yr - ~incertitudes

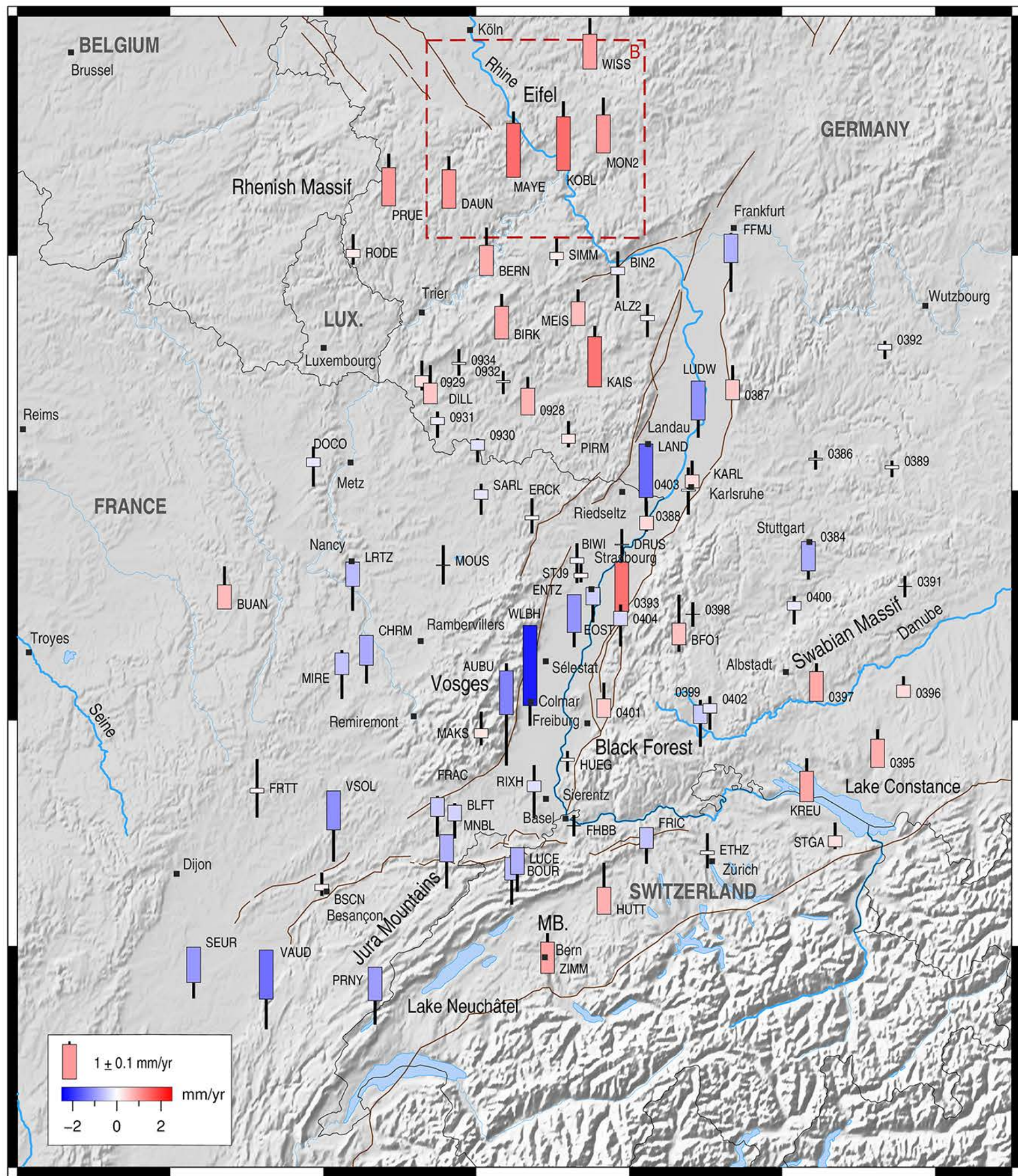
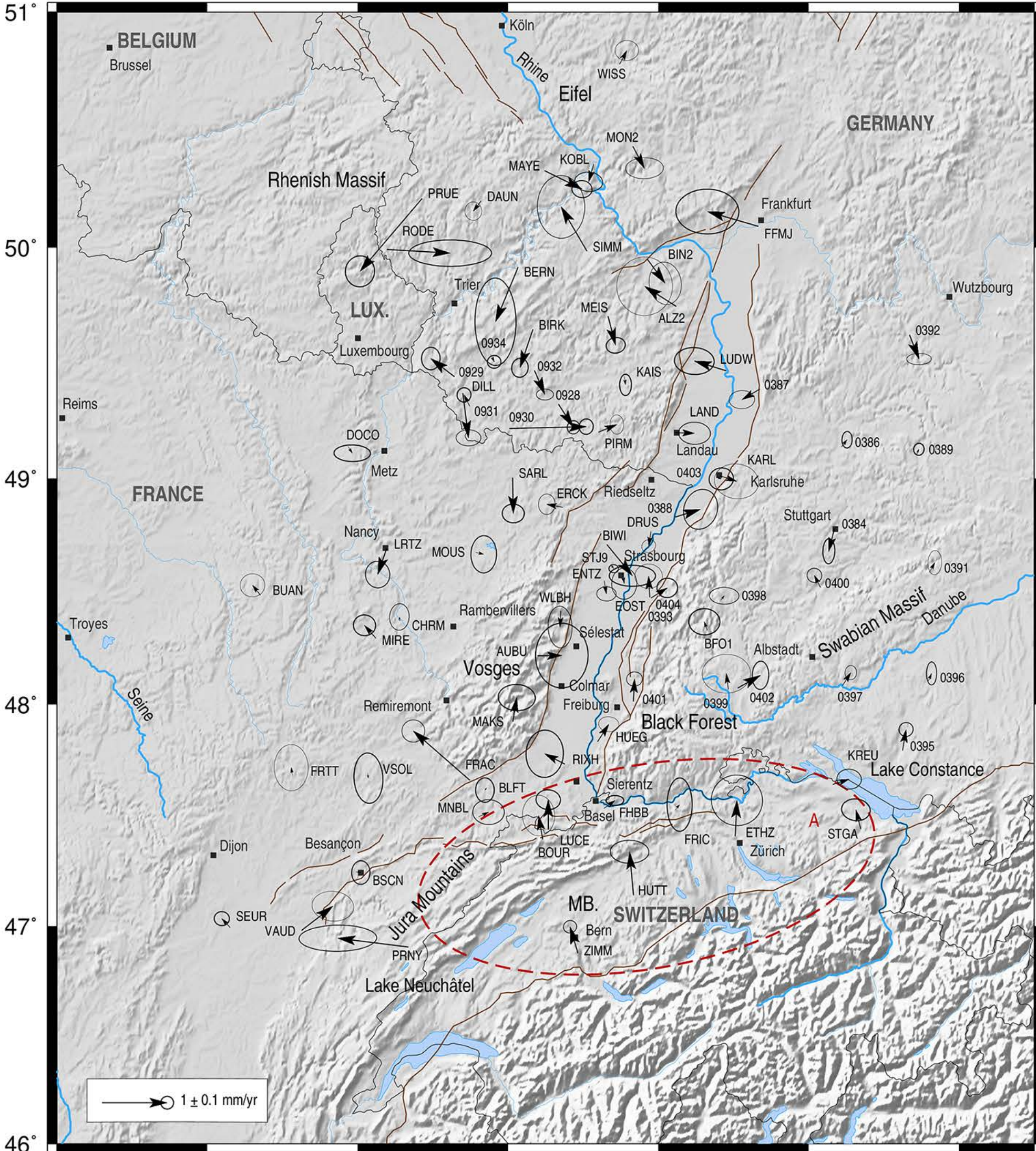
Vitesses verticales  
Vitesses ~ 1 mm/yr - ~incertitudes

## Déformation de surface

GURN (Henrion et al., 2020)  
GNSS (séries temporelles > 5 ans)

- Pas de signaux clairs  
Hormis:
- front alpin (mouvement vers le Nord soulèvement)
  - Eifel (Sud: mouvement vers le Sud soulèvement)

Mouvements d'origine anthropique



Henrion et al. (2020)

# La sismotectonique du nord-est de la France et ses régions voisines

Vitesses horizontales (/Eurasie stable)  
Vitesses ~ 0.1 mm/yr - ~incertitudes

Tenseur taux de déformation  
~ 1 mm/100 km/ an

## Déformation de surface

Tenseur du taux de déformation  
(baseline method, Masson et al., 2014)

- Compression alpine
- Zone de compression latitude d'Obernais





# La sismotectonique du nord-est de la France et ses régions voisines

## Jura

Sismicité distribuée sur toute la zone, peu d'essaims  
Grandes structures peu soulignées

Synthèse Rabin et al. (2018)

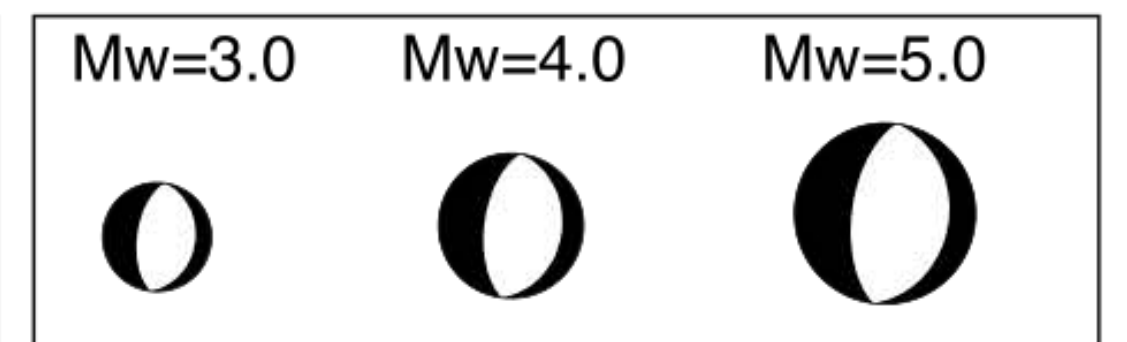
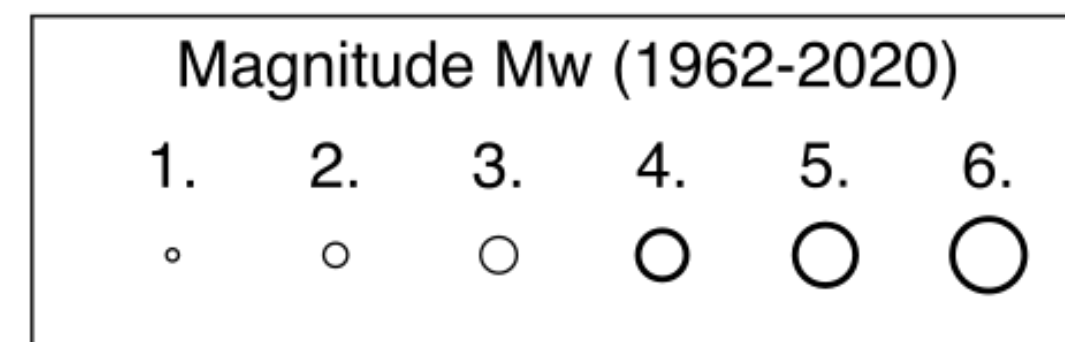
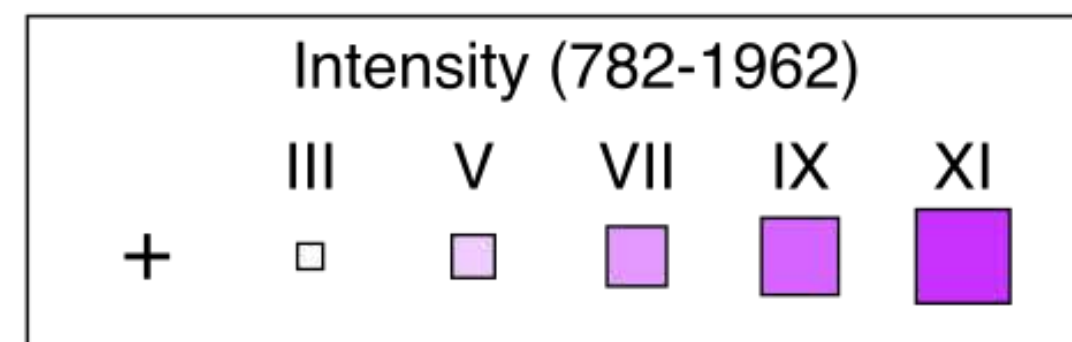
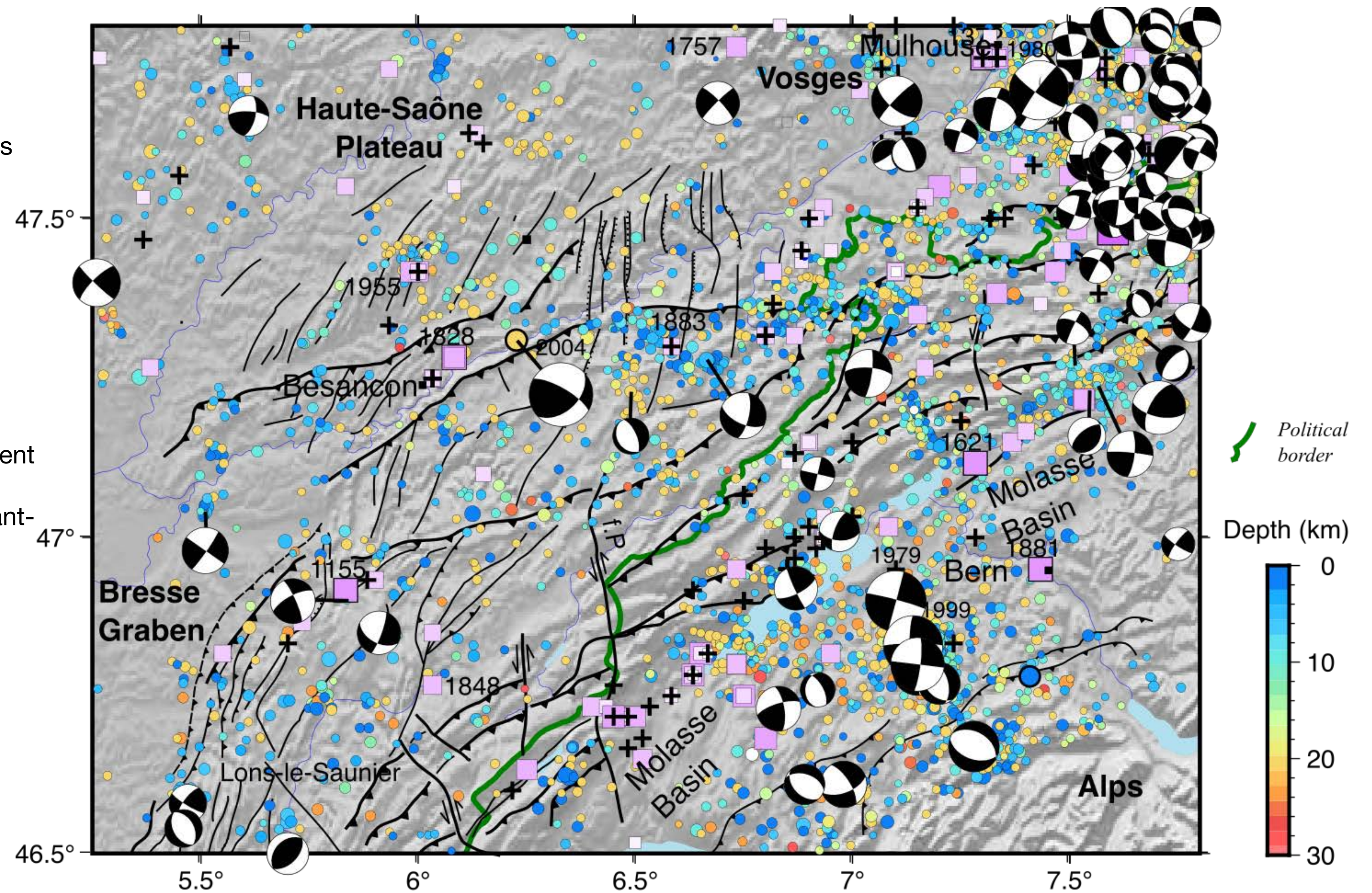
Sismicité historique et instrumentale cohérentes  
Forte concentration dans la région de Mulhouse

Origine des séismes profonds (croûte inférieure)?  
- Fluides  
- Implication du socle dans le raccourcissement

Concentration le long des zones frontales, voire avant-pays

Chevauchements et faisceaux de failles  
- région de Besançon  
- Bresse

Karsts



## Les Vosges

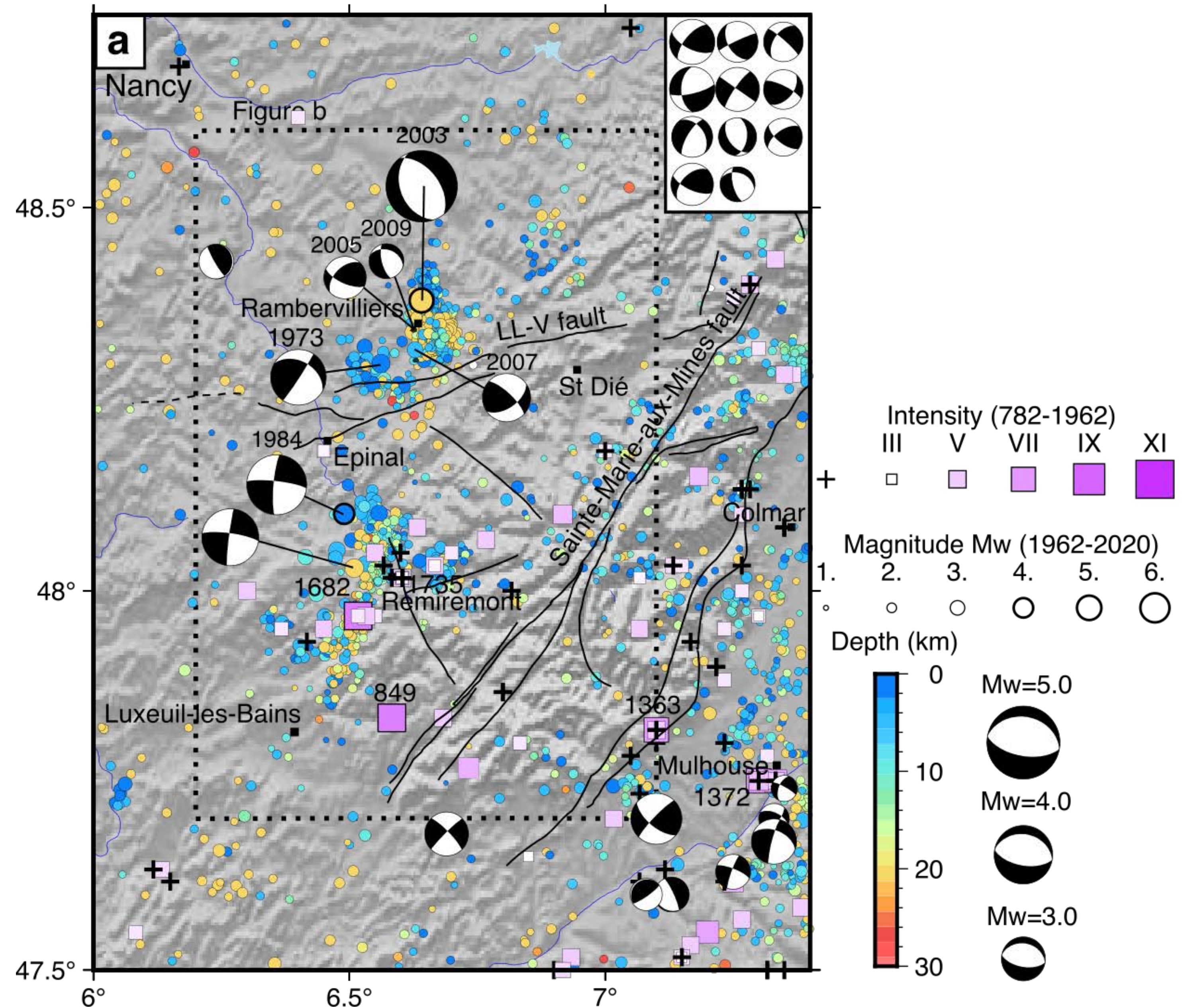
### Sismicité régulière

- bordure ouest du Fossé Rhénan (ex: vallée Munster)
- grande majorité: ouest des Vosges; bordure du massif cristallin
  - 2 zones de cisaillements: faille de Lalaye / faille de Sainte-Marie-aux-mines

### Plusieurs chocs modérés:

- 1682 Luxeuil les Bains (VIII) et 849
- 1984 Remiremont (séquence, Mw= 4.1)
- 2003 Rambervilliers (séquence, Mw=5.3)

Sismicité alignée dans une bande de ~80 km, orientée NNE, obliques par rapport aux structures



## Les Vosges

Sismicité en séquences limitées dans le temps et l'espace

*Haessler and Hoang-Trong, 1988, Plenefisch and Bonjer, 1997, Audin et al., 2004; Got et al., 2011]*

- Séquence d'Epinal (1973): ~20 chocs sur 1 an Mw [1.7, 3.8]
- Séquence 1981: 15 chocs [1.9, 2.8]
- Séquence de Remiremont (1984-1985)
- Séquence de Rambervilliers (2003)

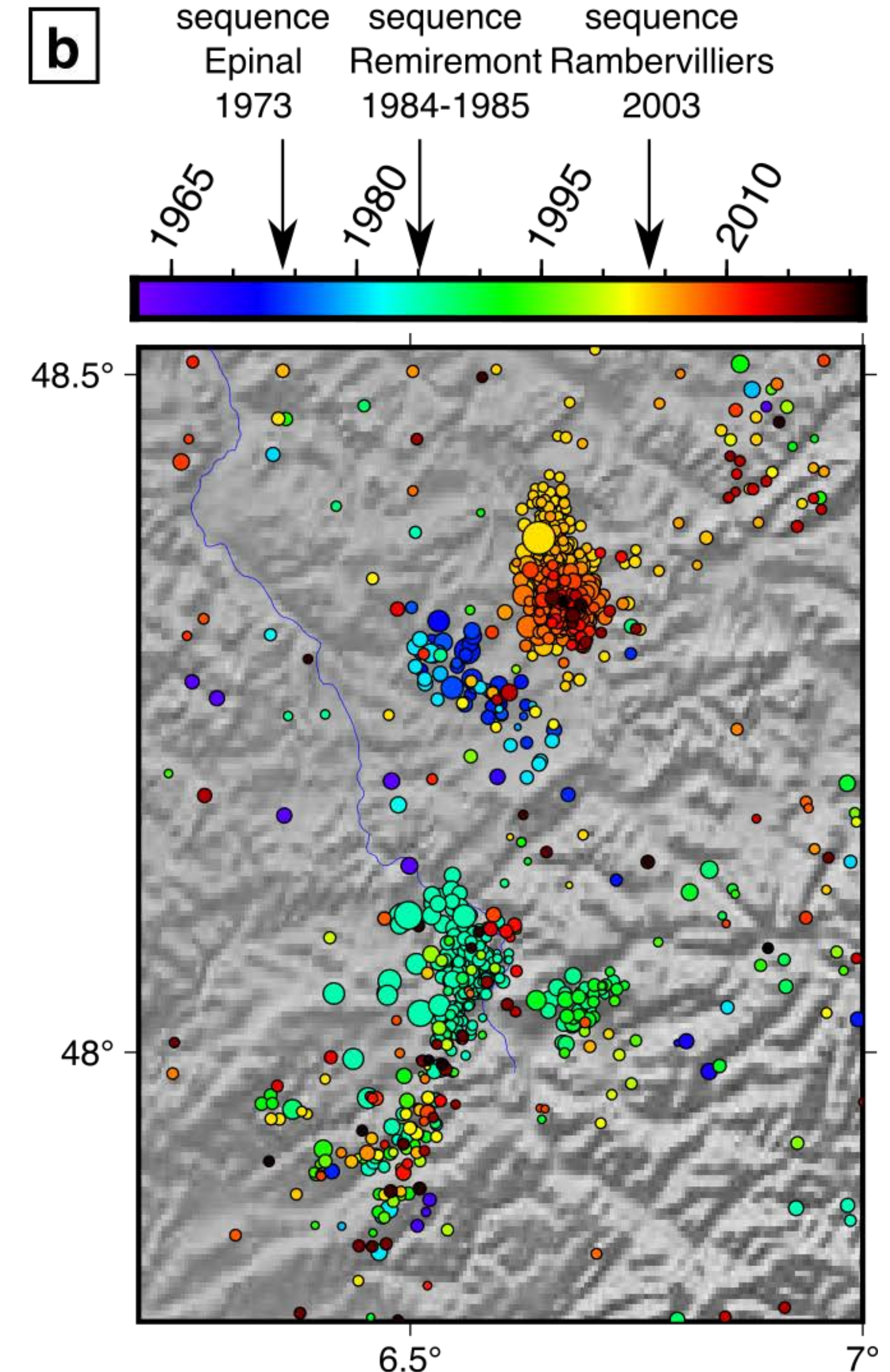
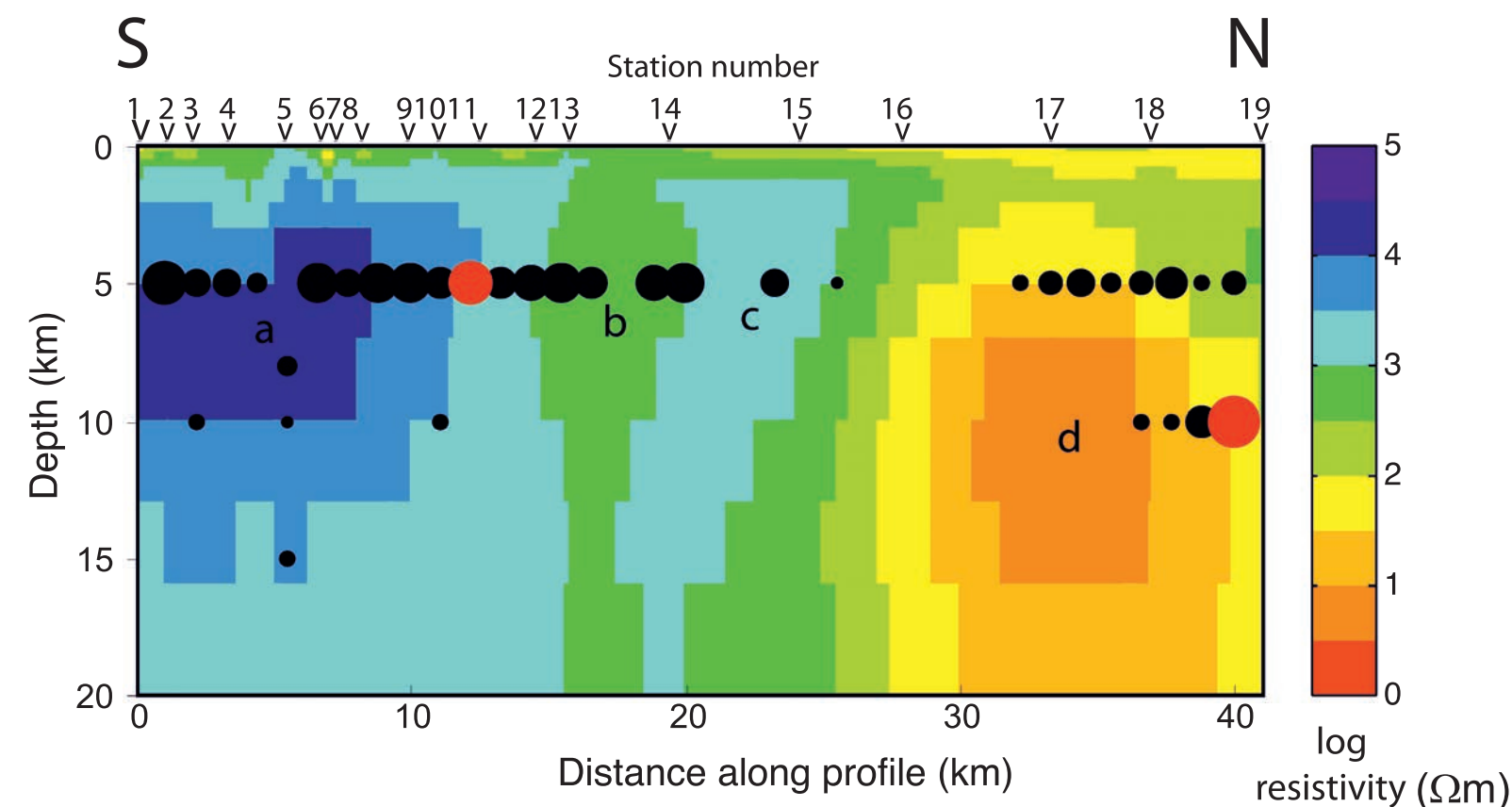
Séismes peu profonds

Migration latérale depuis couverture sédimentaire jusqu'au socle fracturé

Existence de barrières (cristallisation dans réseaux de fractures)

Migration de fluides par diffusion

Zone de forte résistivité (Bourlange et al., 2012)



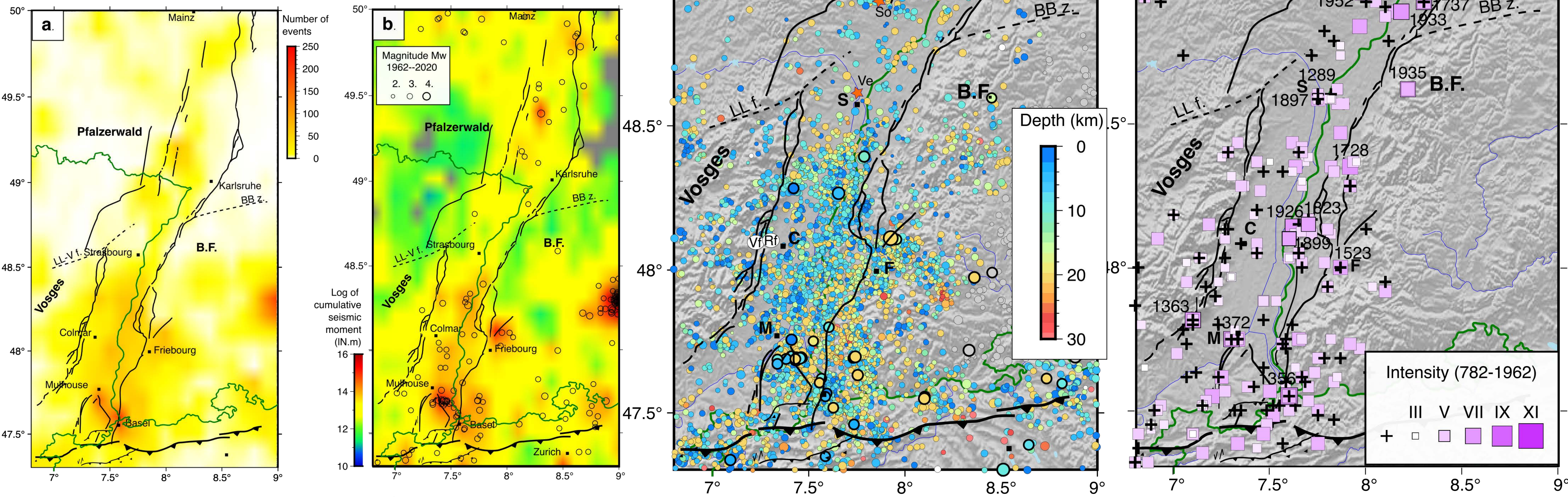
## Le Fossé Rhénan

Structure profonde connue

- doming Moho
- Asymétrie du bassin sédimentaire
- Activité des failles bordières - mais activité quaternaire?

Développement des réseaux: Mc -> 1.3

- Concentration dans le graben, marges calmes (sauf SE)
- Différence Nord et Sud (instrumentale)



## Le Fossé Rhénan (Sud)

### Région de Bales:

- évènement de 1356
- Sismicité induite: séquence de 2006-2007 (ML=3.4)

### Graben de Sierentz

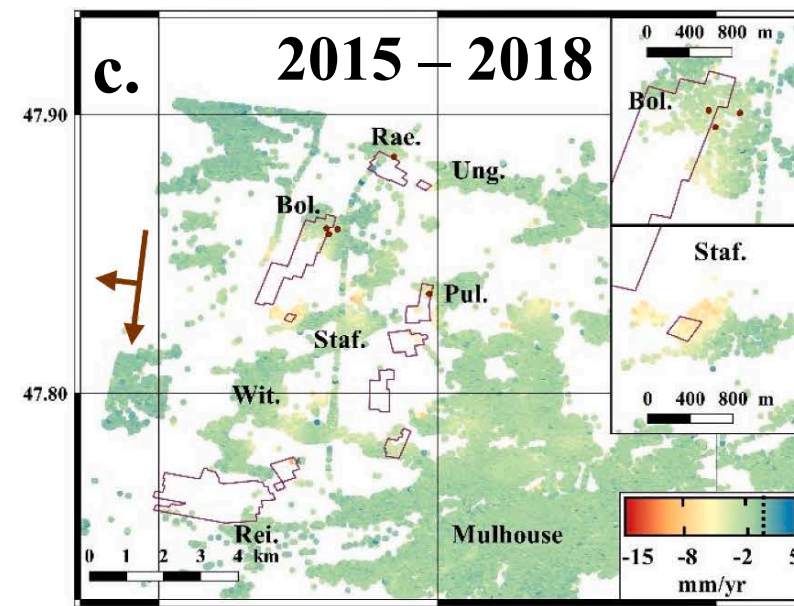
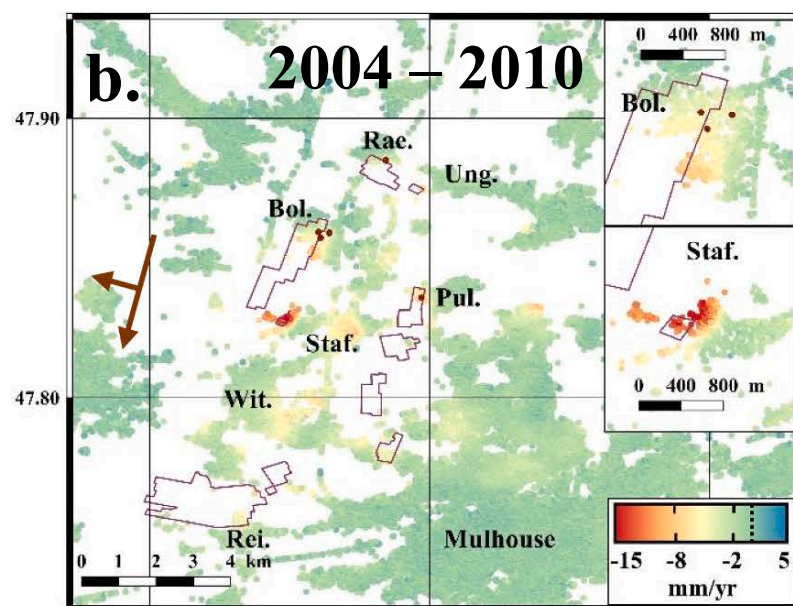
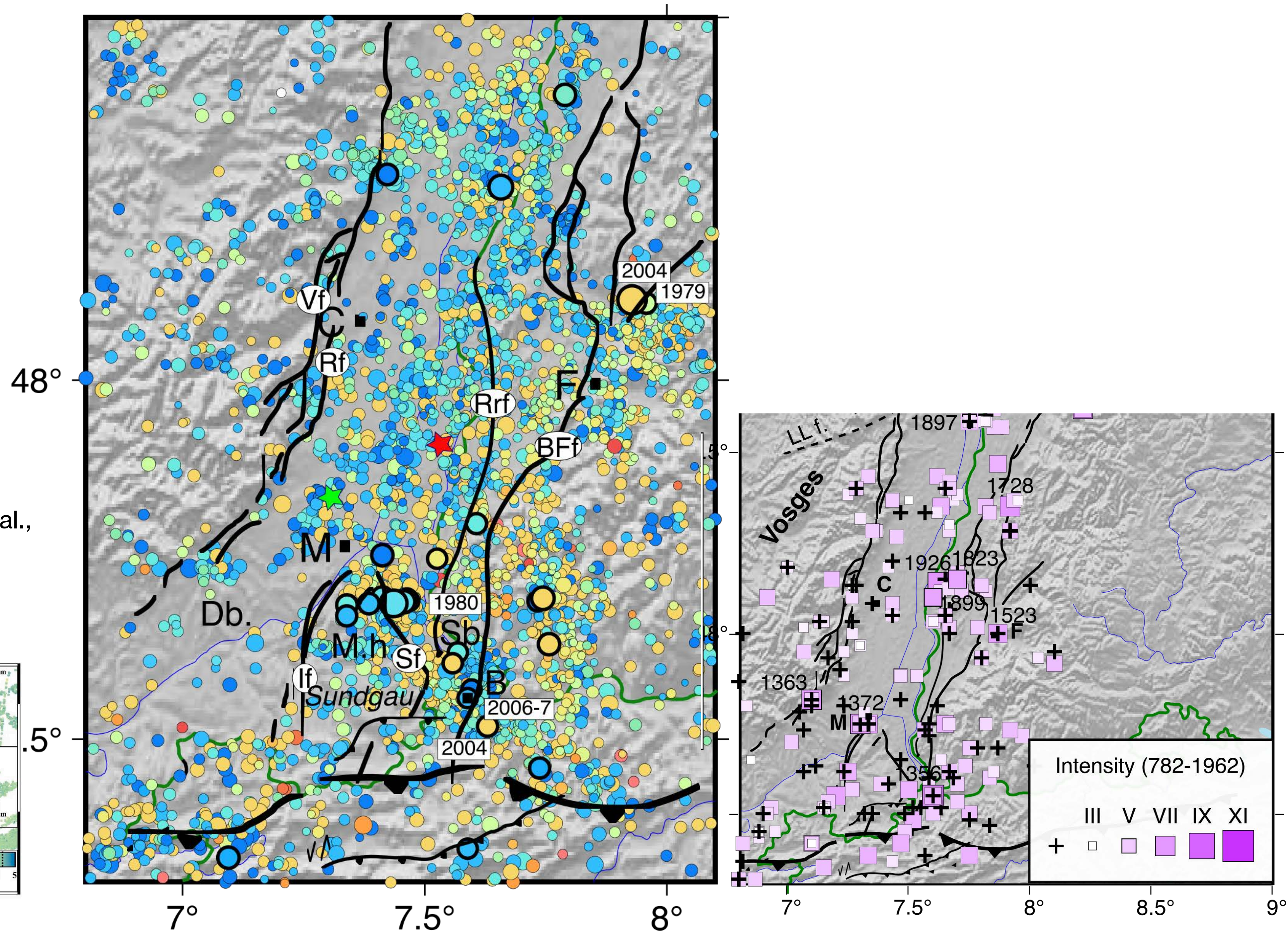
- Séquence de 1980 : décrochements ~NS

### Nord de Mulhouse:

- Différence sismicité instrumentale vs. historique
- Activité récente à l'ouest  
(profils sismiques; *Rotstein & Schaming, 2008*)
- Mines De Potasse d'Alsace
  - déformation de surface importante (métrique)
  - Post-mine [*Modeste et al., 2021*]
  - Réseau de failles

### « Fessenheim »

- Faille de Rhine River (*Nivière et al., 2008, Thomas et al., 2017*)
- Failles avec déplacements verticaux
- Activités minières



## Le Fossé Rhénan (Nord)

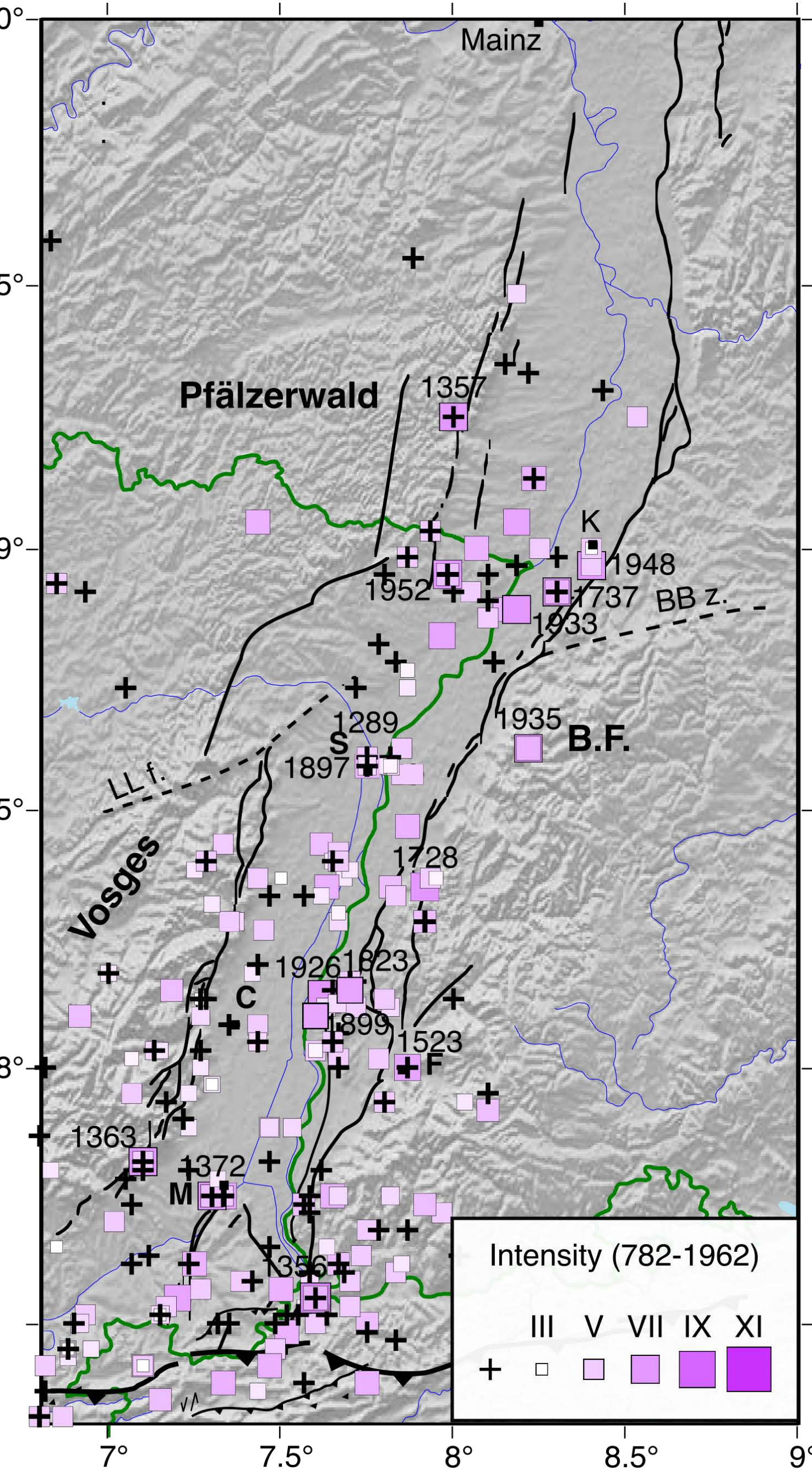
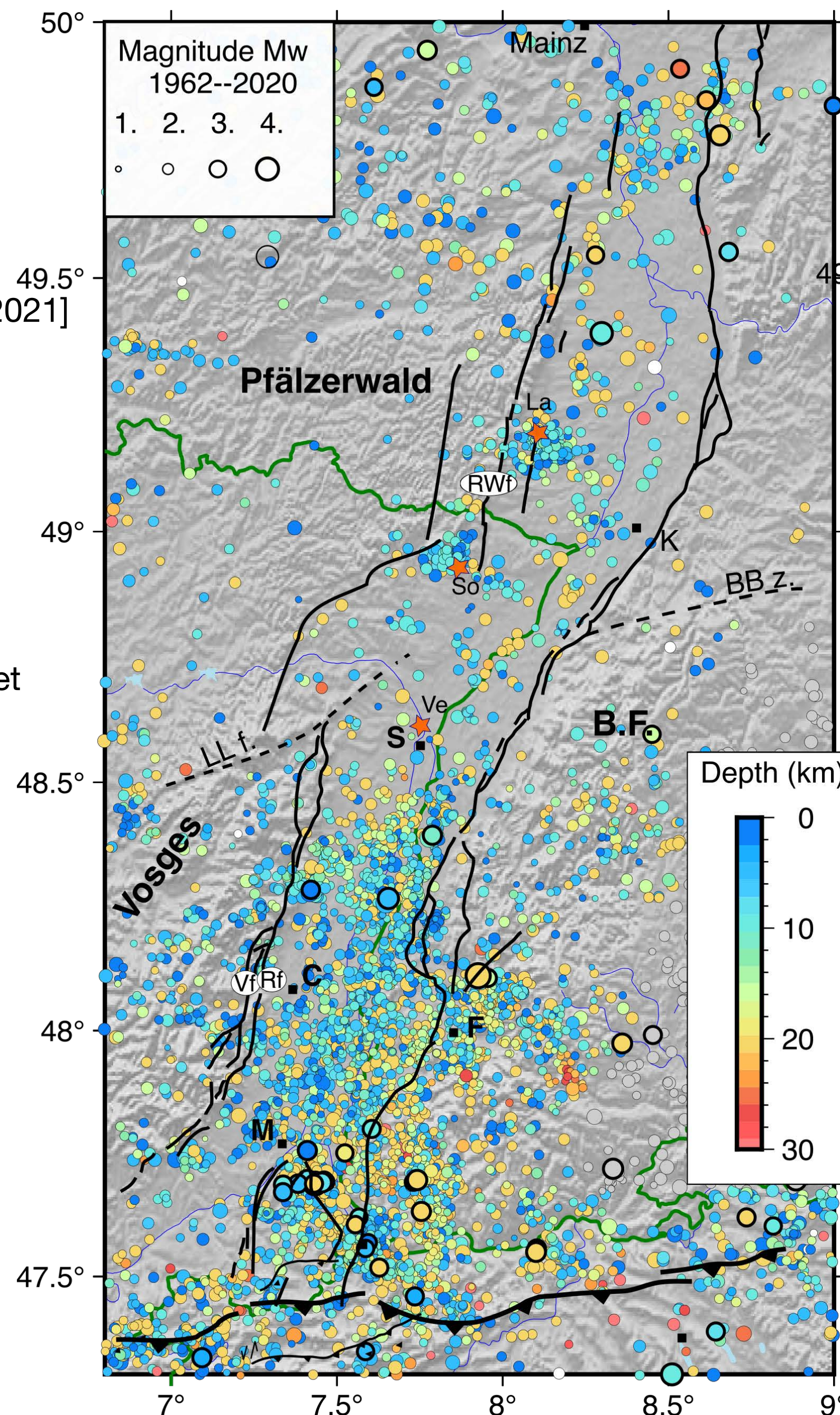
Région de Strasbourg :

- Séquence sismicité induite 2019-2020 [Schmittbuhl et al., 2021]
- Réseaux de failles
  - Décalages verticaux dans profils sismiques (<1mm/an) [Bertrand et al., 2006]
  - Séismes historiques

Région des sites géothermiques (Soultz, Landau)

- Discrimination
- Failles bordières à proximité
  - Séquence de 1952 (I<sub>max</sub>=VII) - glissements Holocène et récents

[Schipton et al., 2016]



## Artois - Brabant - Hainaut - Ardennes - Eifel

≠ bassin Parisien

Activité Liège / Maatstricht (LRG, Roer Graben)  
 nombreuses études sismiques  
 paléo-sismiques, géodésiques

Eifel:

Peu d'activité

Réseaux locaux:

lien sismicité avec gradient de vitesses verticales  
 Événements profonds, BF

Hainaut:

Sismicité naturelle

Sismicité liée aux mines

Barrages

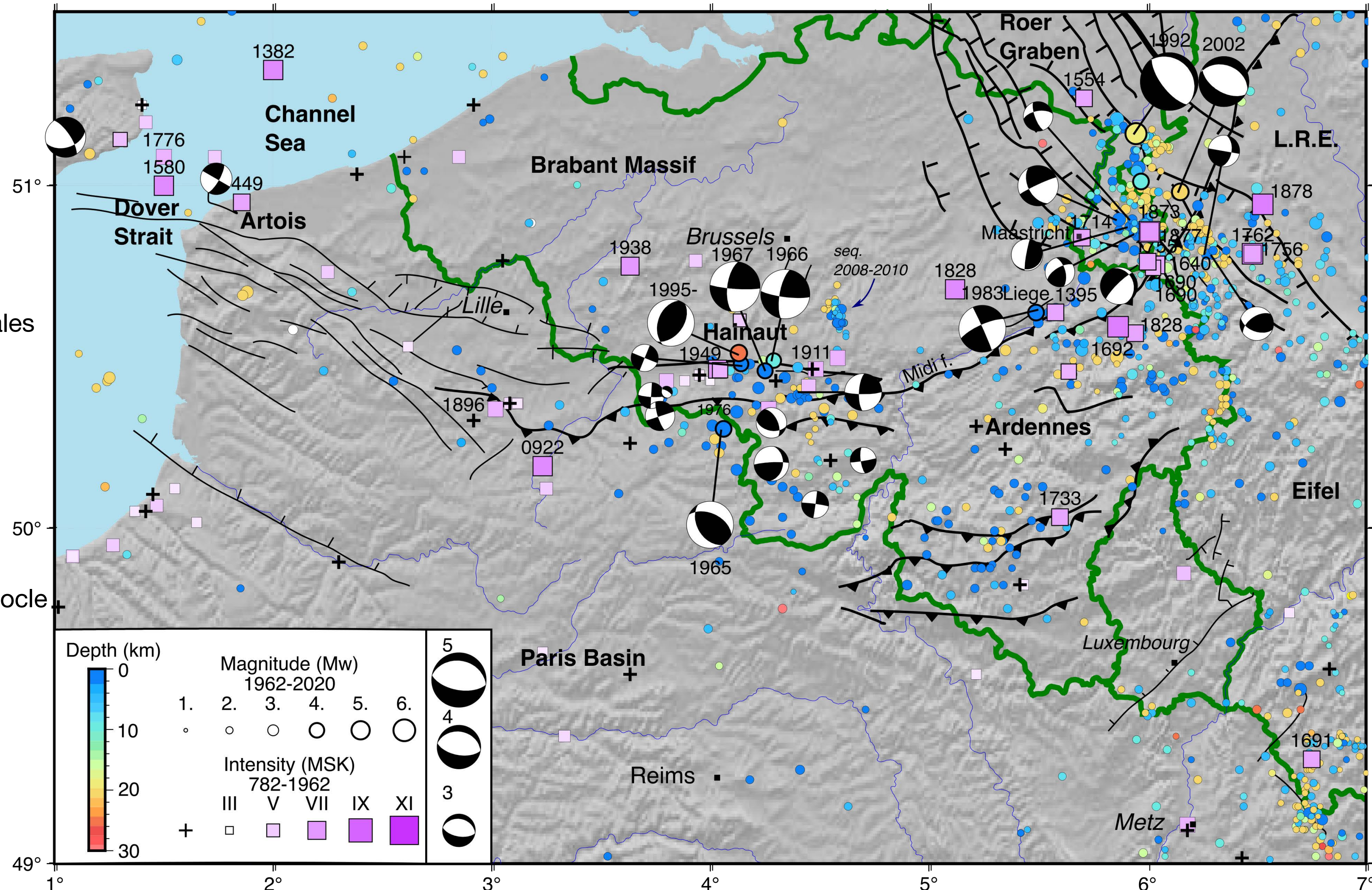
Brabant:

Séisme de 1938 et séquences: ruptures dans le socle

Artois:

Séismes dans le canal de Douvre (1382, 1580)

Indices d'activité quaternaire



## Conclusions

Sismicité intraplaque modérée

Sismicité « Background » surimposée par des séquences

Séquences sur structures connues, avec des taux de chargement très faible

Domaines très différents - champ de contraintes homogène sur l'ensemble de la région

Origine de la sismicité: Tectonique / Fluides / Géothermie / Mines / Karsts...

Rôle des structures : paléosismologie, géomorphologie, géophysique de surface)

Discrimination encore à développer

Base pour reprendre les catalogue

Nouveau réseau

