

Sismicité de La Réunion

des microséismes aux effondrements de caldera

Zacharie Duputel

Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise
Institut de Physique du Globe de Paris

Lise Firode (OVPF/IPGP), Valérie Ferrazzini (OVPF/IPGP),
Tatiana Kartseva (ISTERRE), Olivier Lengliné (ITES),
Luis Rivera (ITES), Nikolai Shapiro (ISTERRE)



QU'EST-CE Q'UN SÉISME ?

Faille - Version Hollywood (San Andreas)



Tsunami - Version Hollywood (The Last Day)



Séisme + Tsunami + Éruption - Version Hollywood (2012)



Faille - Séisme de Kumamoto (Japon, 2016)



Tsunami - Tohoku - Aéroport de Sendai (Japon, 2011)



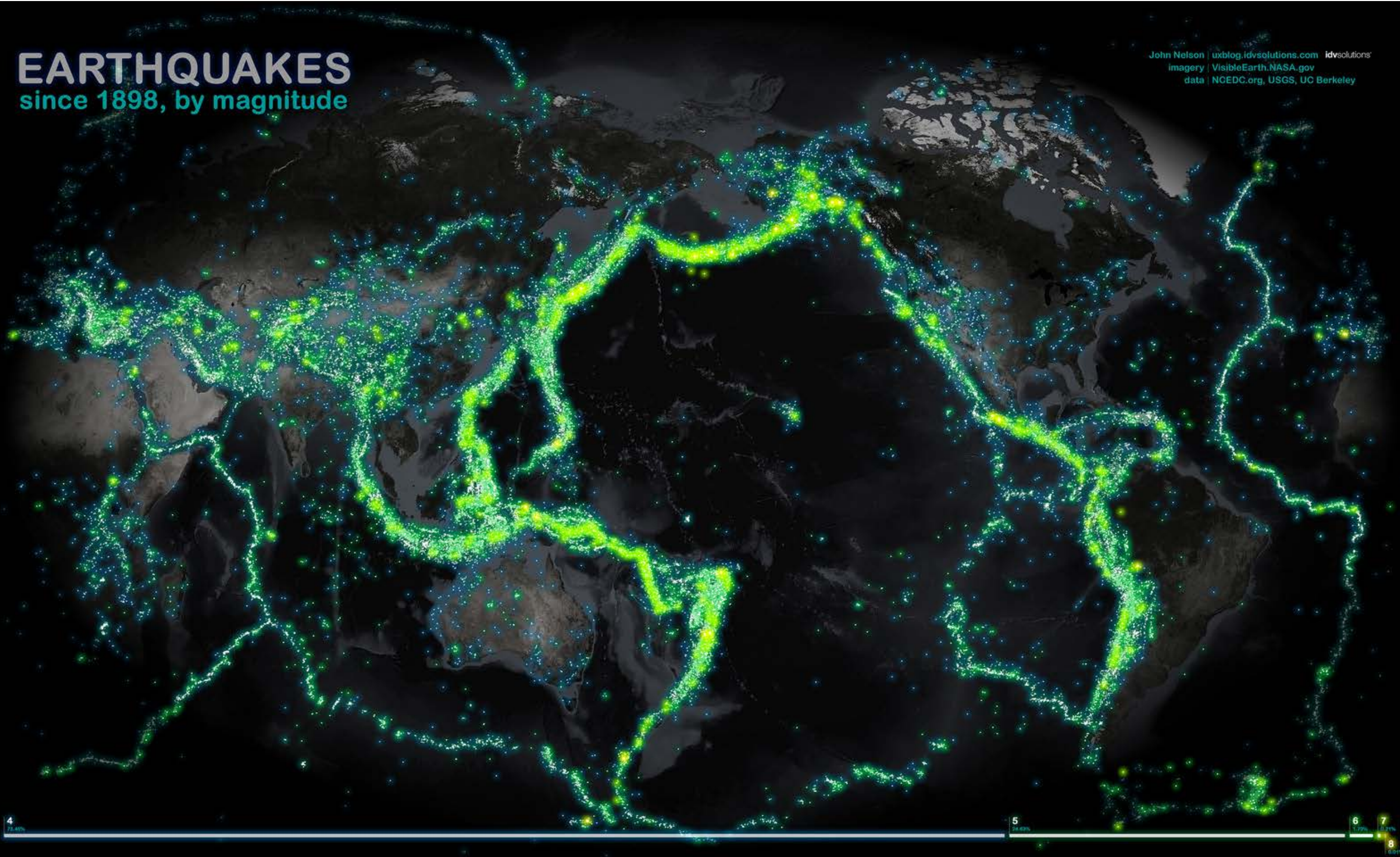
Effondrement de caldera sommitale - Kilauea (Hawai, 2018)



Séismes tectoniques vs volcaniques

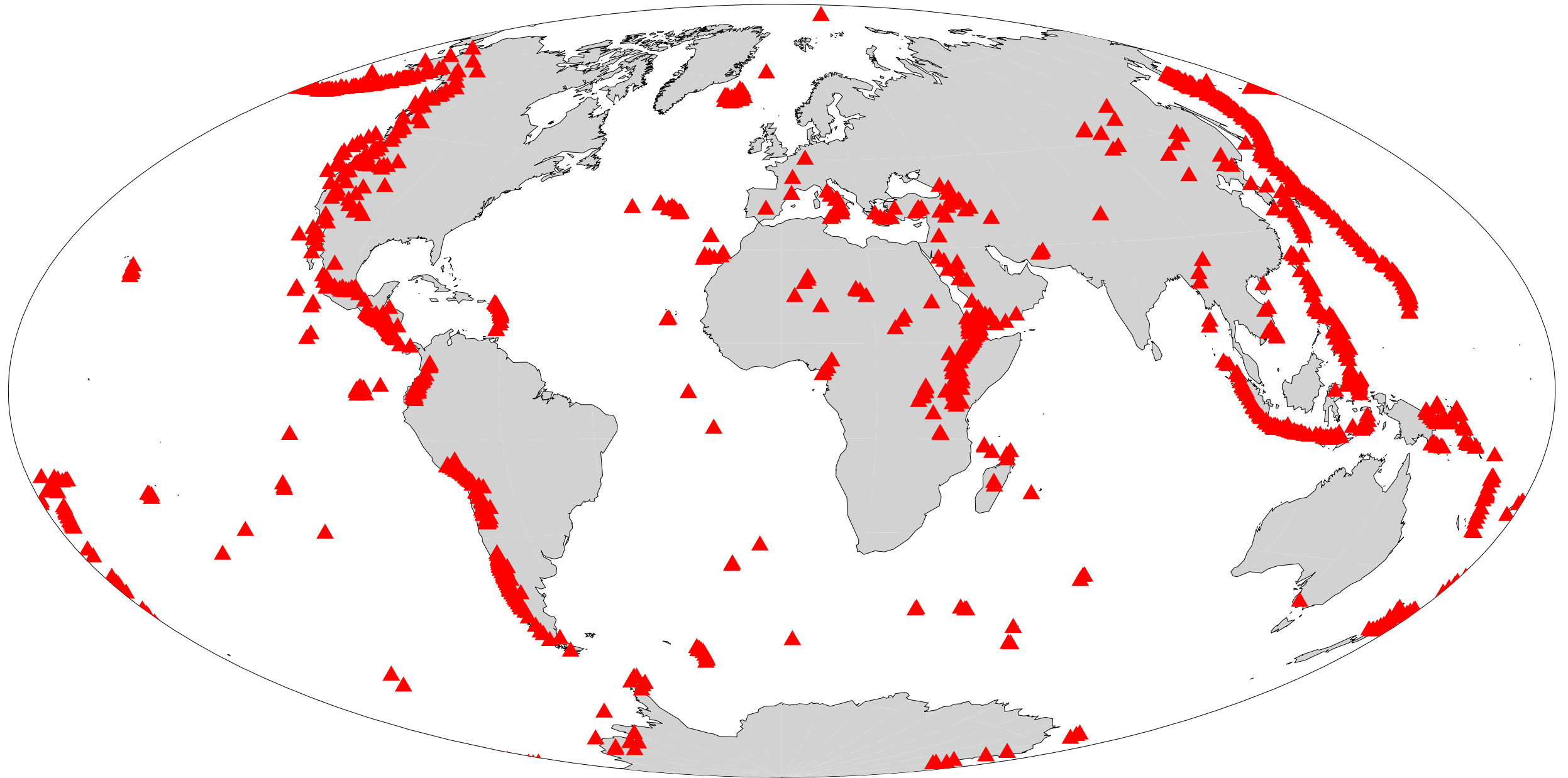
EARTHQUAKES
since 1898, by magnitude

John Nelson | uxblog.idvsolutions.com | idvsolutions.com
imagery | VisibleEarth.NASA.gov
data | NCEDC.org, USGS, UC Berkeley



Les séismes volcaniques sont fréquents

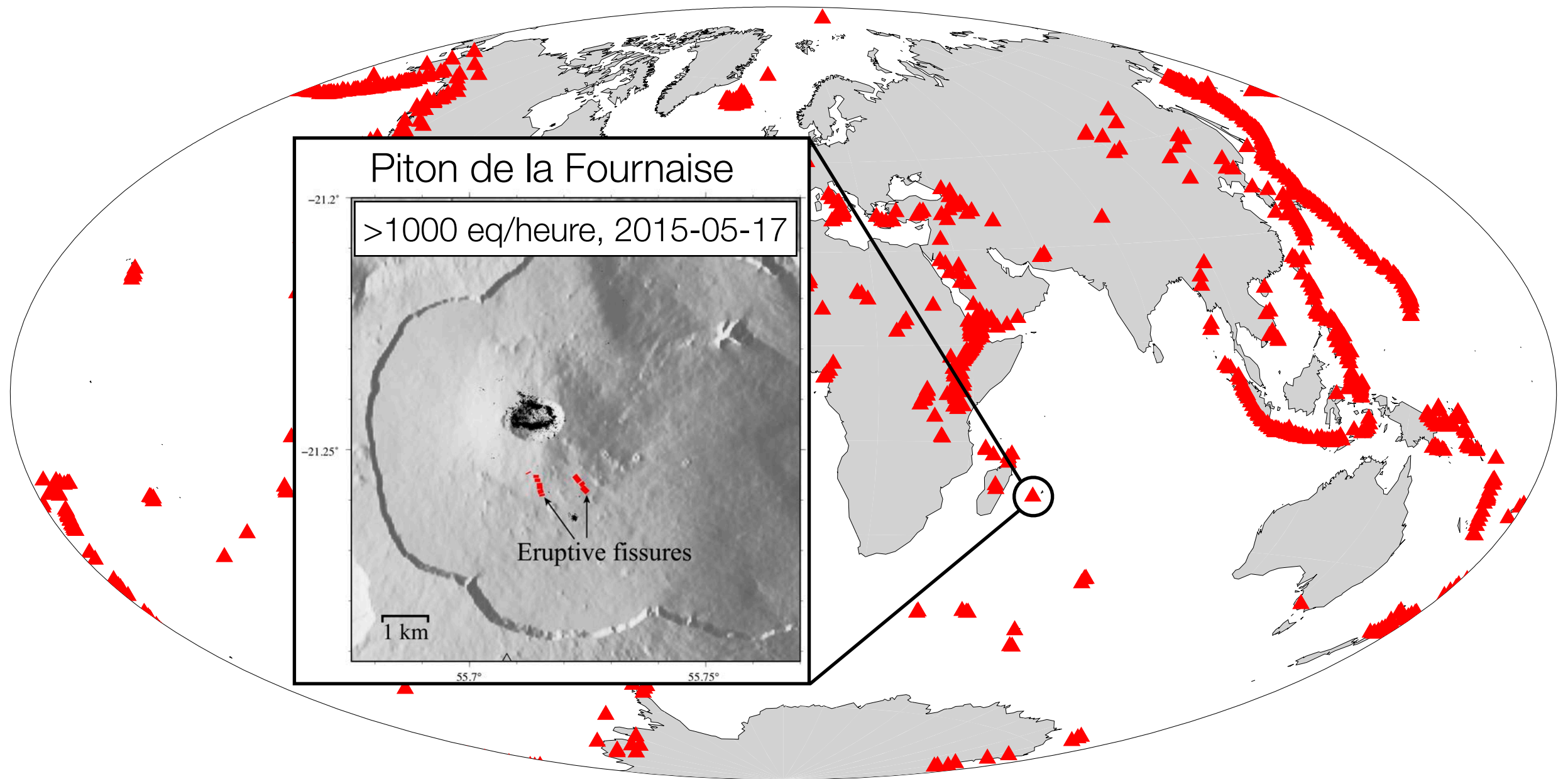
- Environ 1500 volcans ont été actifs au cours des 10 000 dernières années.
- Chaque année, plus de 50 volcans entrent en éruption.



Data Source : Global Volcanism program, Smithsonian Institution

Les séismes volcaniques sont fréquents

- Environ 1500 volcans ont été actifs au cours des 10 000 dernières années.
- Chaque année, plus de 50 volcans entrent en éruption.



Sismicité de La Réunion - Sismicité historique

Témoignages historiques (Lambert, 1997)

– Premier séisme local rapporté en 1707 - Intensité VI

“Un tremblement de terre considerable, qui dura environ 7 à 8 minutes, et qui fut general par toute l'isle, mais qui n'a, Dieu mercy, fait aucun dommage.” (Journal du Gouverneur, 1909)

– Séisme local important en 1751 - Intensité VII

" 26 avril 1751 : ... on sentit par toute l'île trois secousses au soleil levant qui firent craquer les charpentes. La nouvelle église de Saint-André fut fort endommagée. “ (Notes de l'Abbé Davelu, 1753)

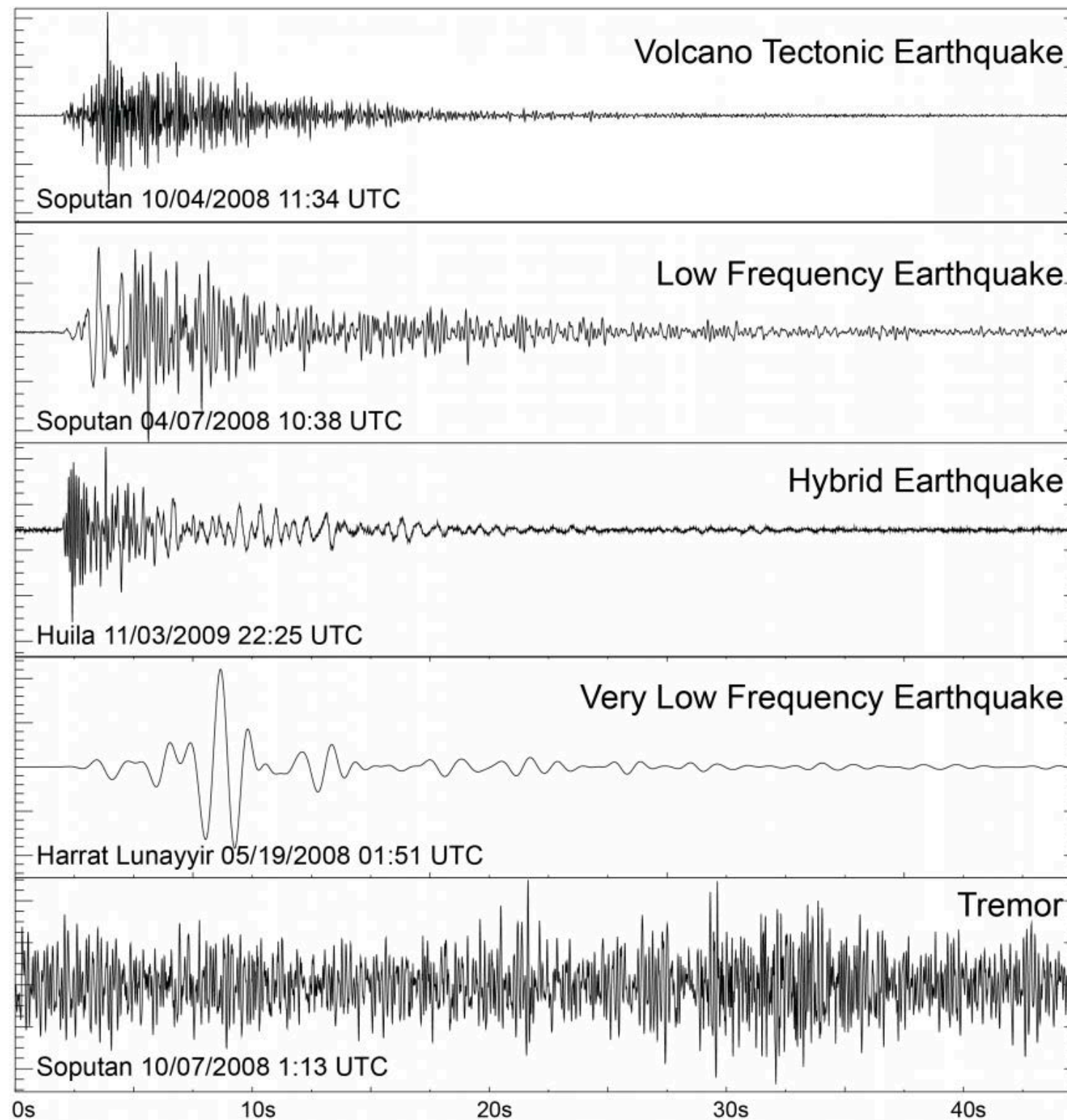
– Activité sismo-volcanique en 1753 - Retombées de cendres jusqu'à St Denis

"Cette année là, il y eut la plus forte éruption dont on eût encore entendu parler; elle fut meme accompagnée d'un tremblement de terre” (A. Lacroix, 1936)

Echelle d'intensité macrosismique - Evaluation des dégâts lors d'un séisme

Perception Humaine	non ressenti	très faible	faible	légère	modérée	forte	très forte	sévère	violente	extrême
Dégâts Potentiels	aucun	aucun	aucun	aucun	très légers	légers	modérés	importants	destructions	généralisés
Accélérations (mg)	< 1.5	1.5 – 3.2	3.2 – 6.8	6.8 – 15	15 – 32	32 – 68	68 – 150	150 – 320	320 – 680	> 680
Intensités EMS98	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

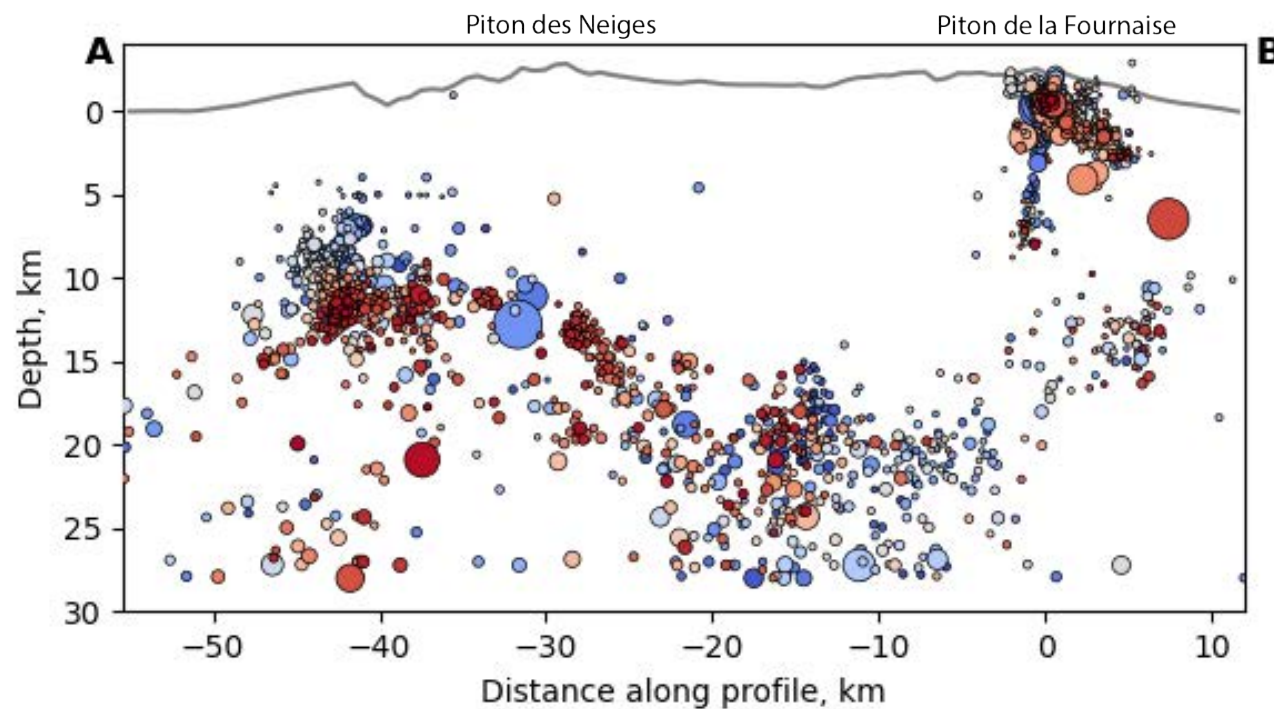
Diversité des signaux sismo-volcaniques



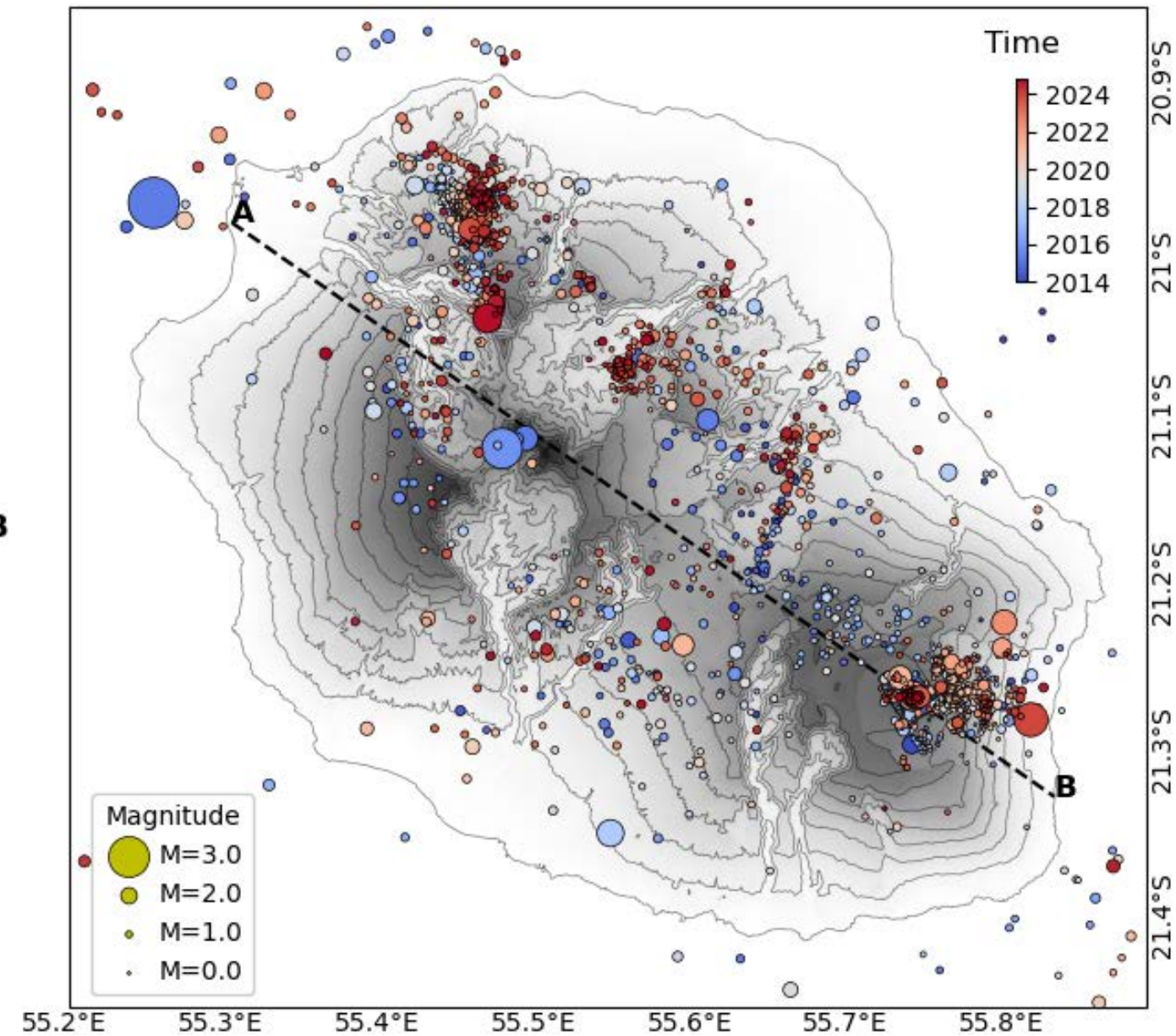
Sismicité de La Réunion

Trois grandes régions sismiques:

- Sismicité volcanique au Piton de la Fournaise
- Sismicité du Piton des neiges
- Zone d'alimentation profonde entre les deux volcans



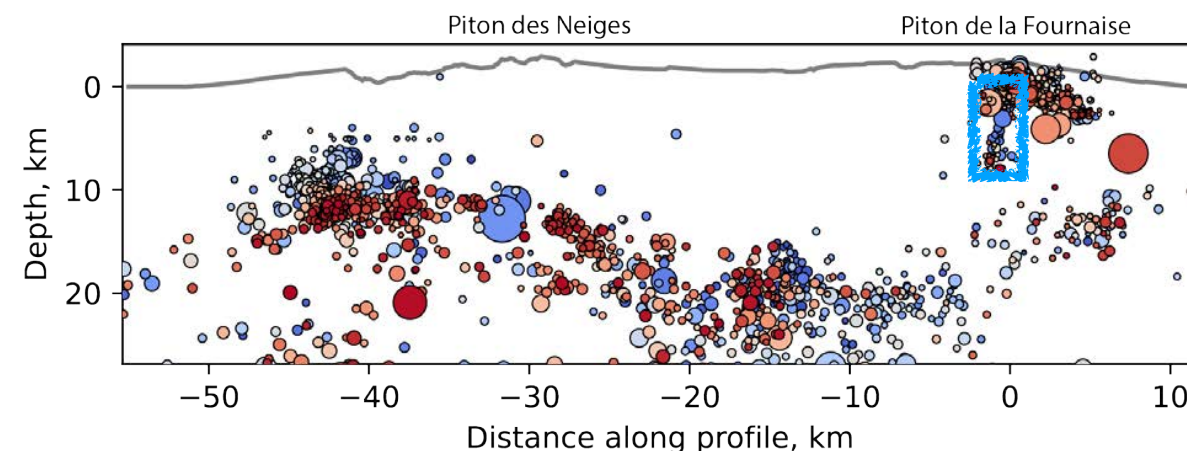
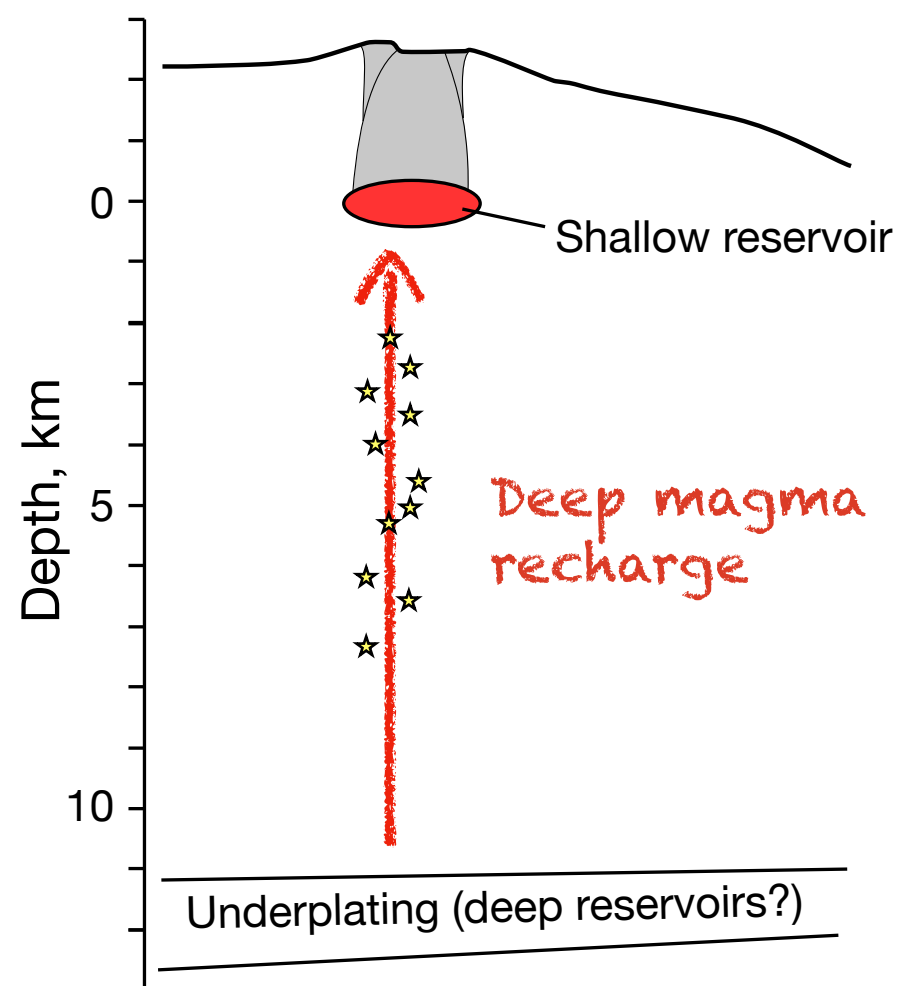
Catalogue OVPF - 2014 - 2024



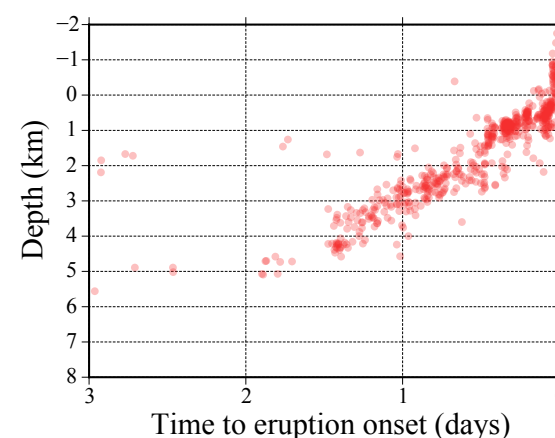
Activité sismique au Piton de la Fournaise

Sismicité VT profonde (sous le niveau de la mer)

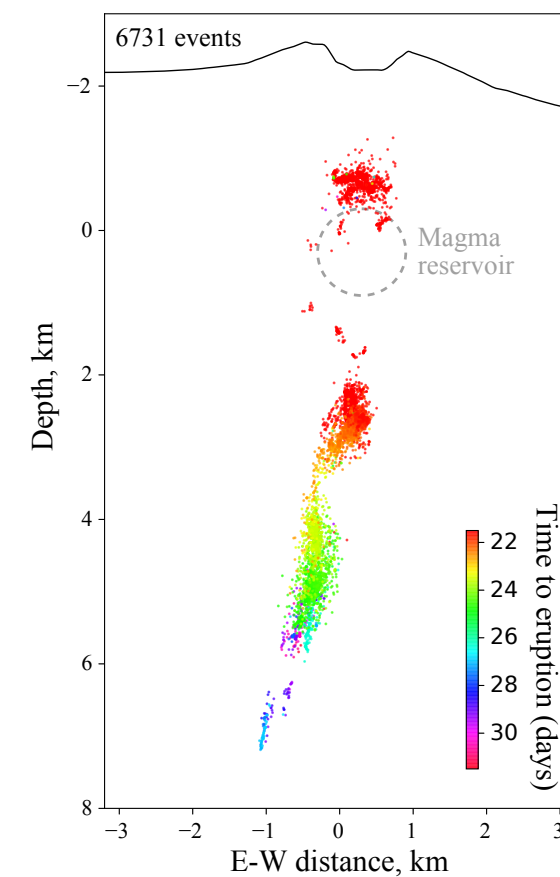
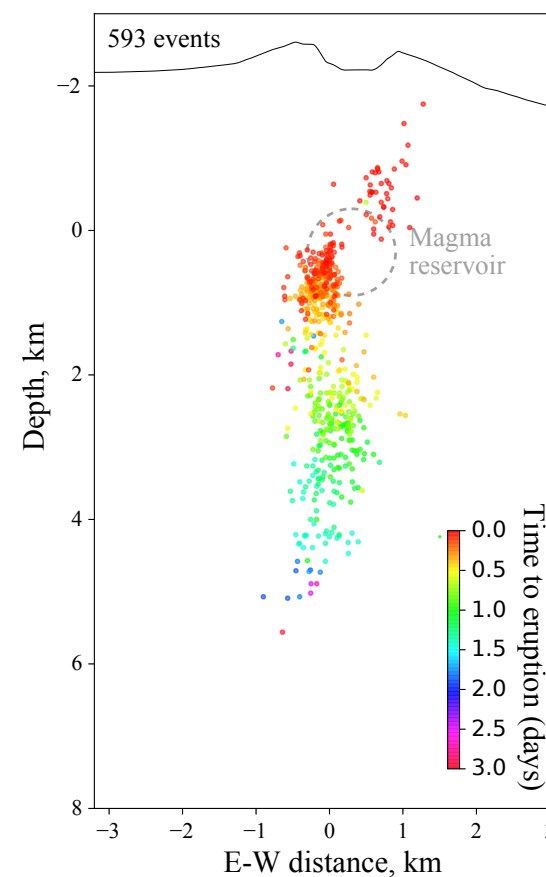
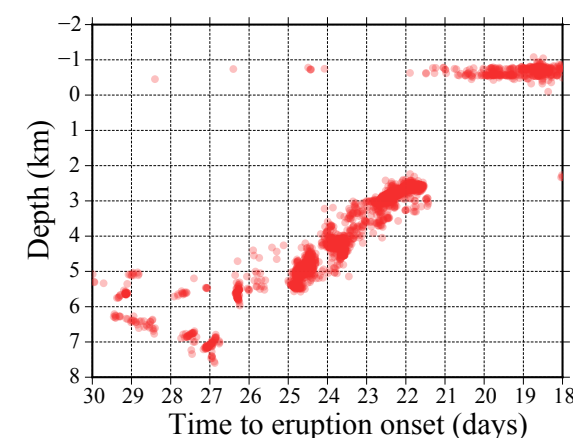
- Migrations ascendantes de la sismicité
- À la suite de phases de repos
 - 1992 - 1998
 - 2010 - 2014
- Recharges de magma profond
 - En accord avec les données géodésiques



a) March 1998 deep pre-eruptive migration



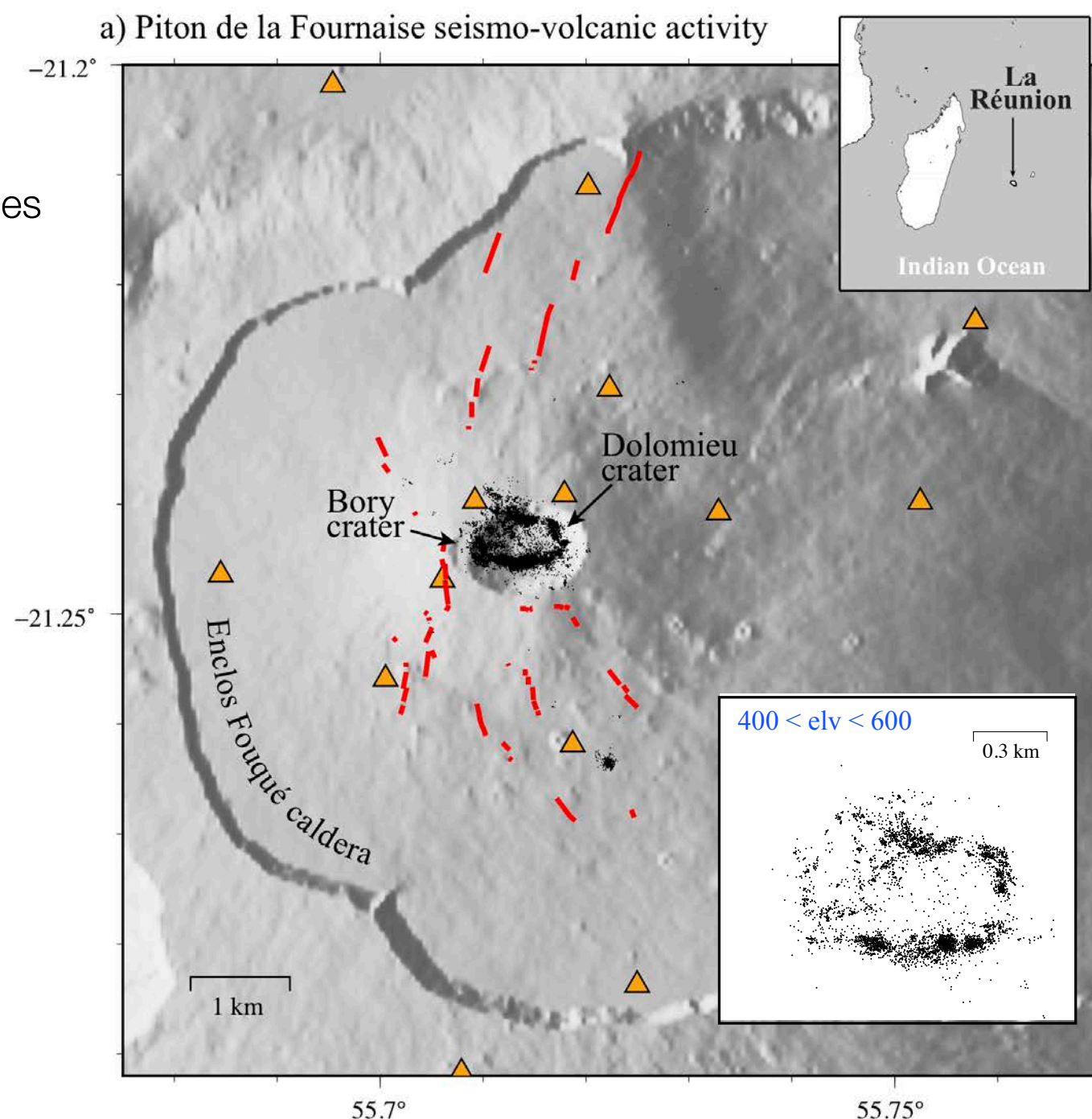
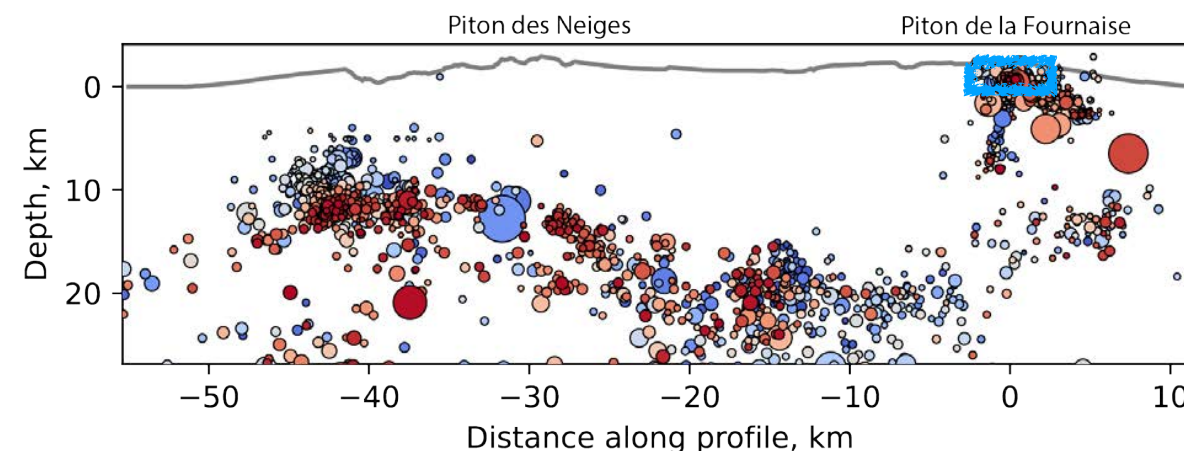
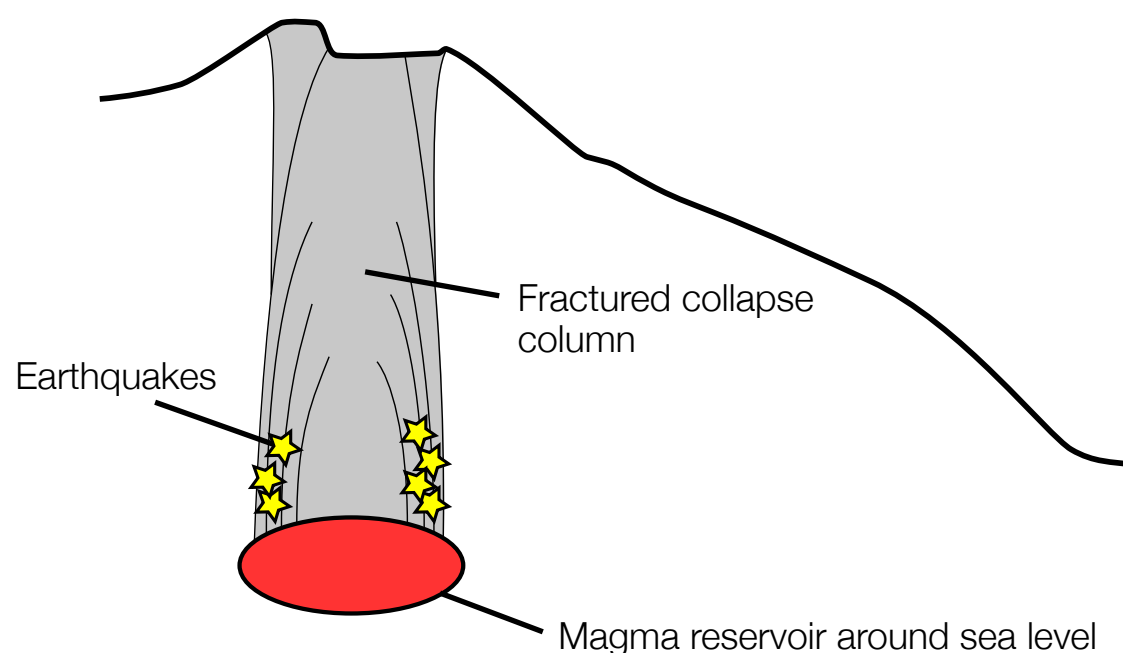
b) May 2015 deep pre-eruptive migration



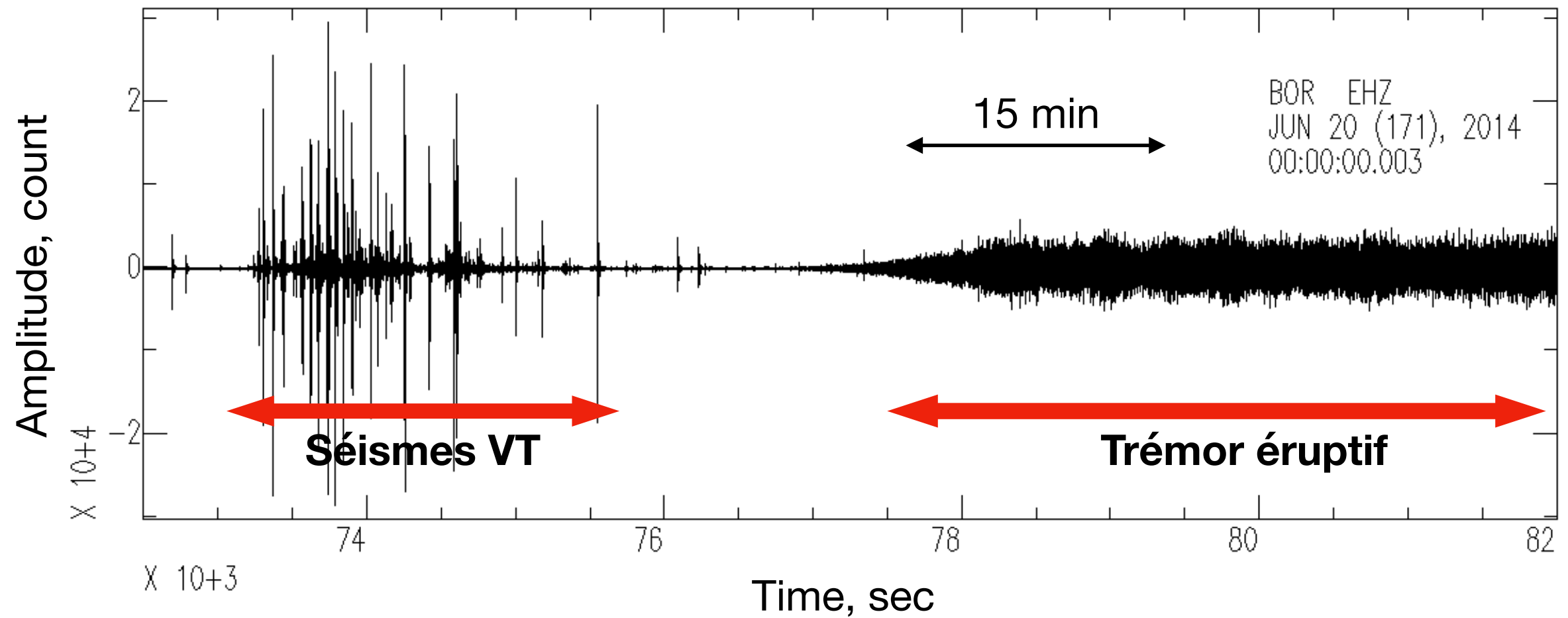
Activité sismique au Piton de la Fournaise

Séismes VT superficiels

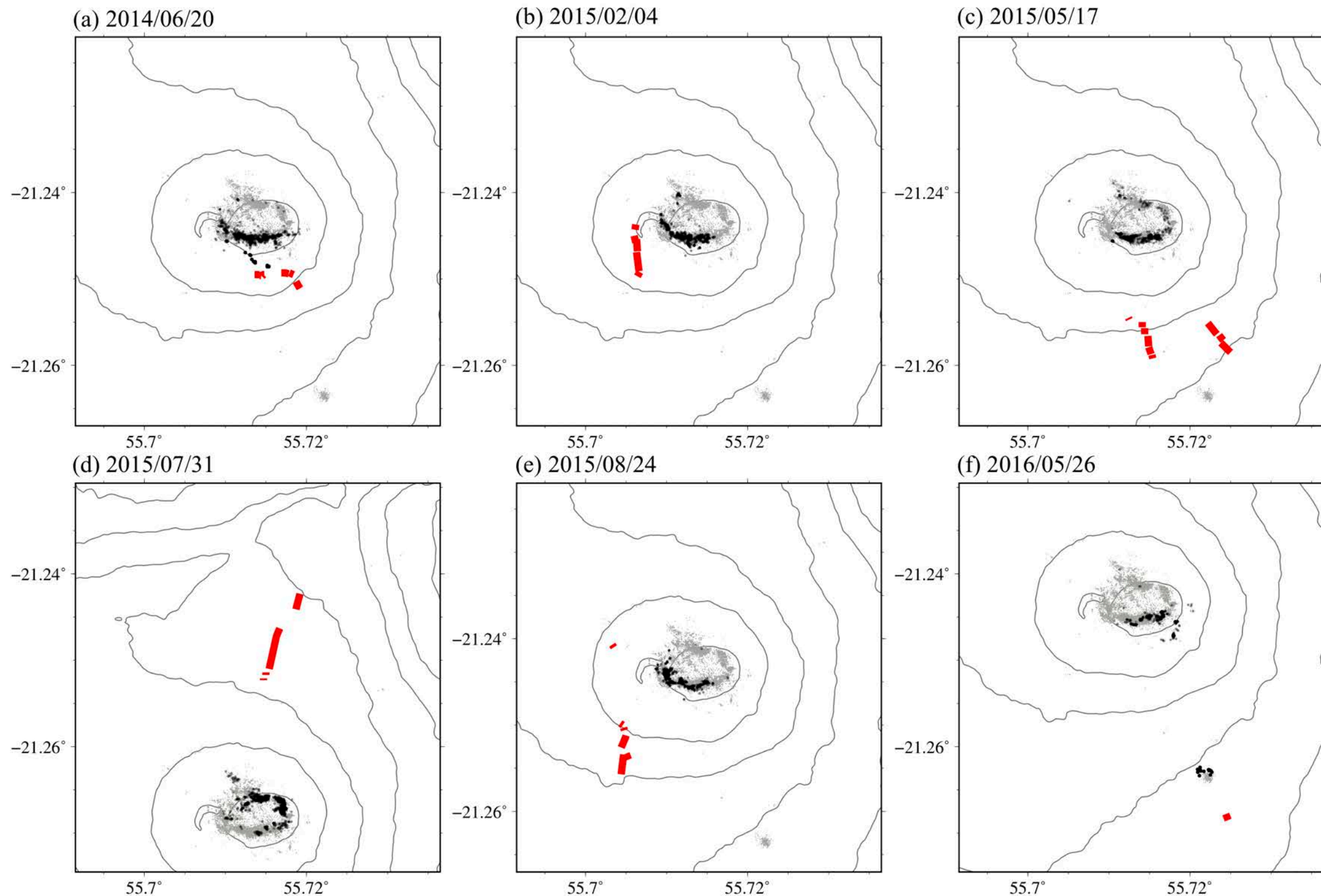
- Localisés sur une structure annulaire
- Faille annulaire abritant les effondrement de caldera
- Alignements secondaires suggérant des failles secondaires (cratère Bory/Dolomieu/Brûlant/Velain)
- Essaims marquant le début des intrusions magmatiques



Piton de la Fournaise : Exemple de sismogramme

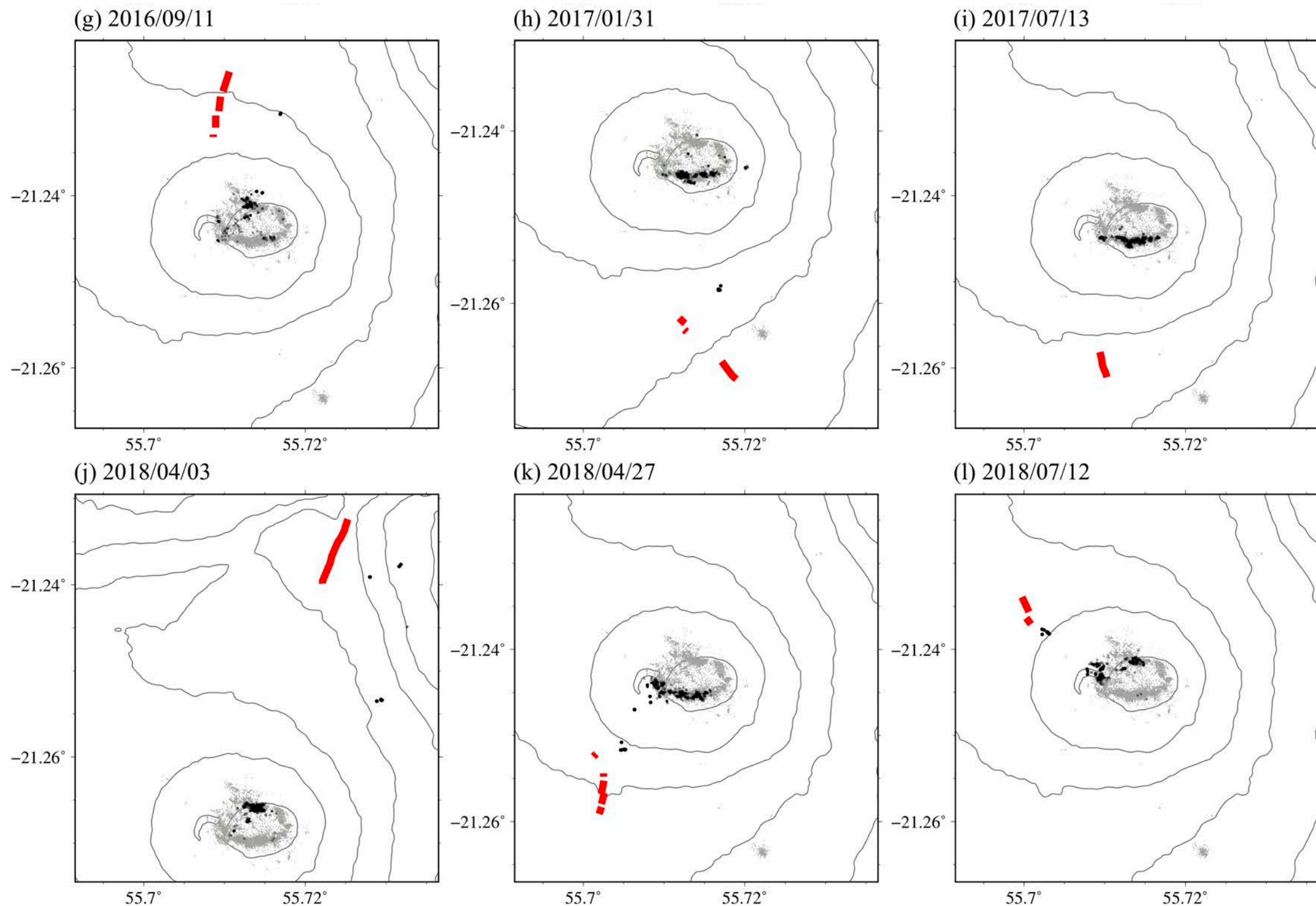


Sismicité pré-éruptive 2014-2018 (1/2)



Red = Fissures éruptives. Black = sismicité pré-éruptive. Gray = Catalogue 2014-2018.

Sismicité pré-éruptive 2014-2018 (2/2)

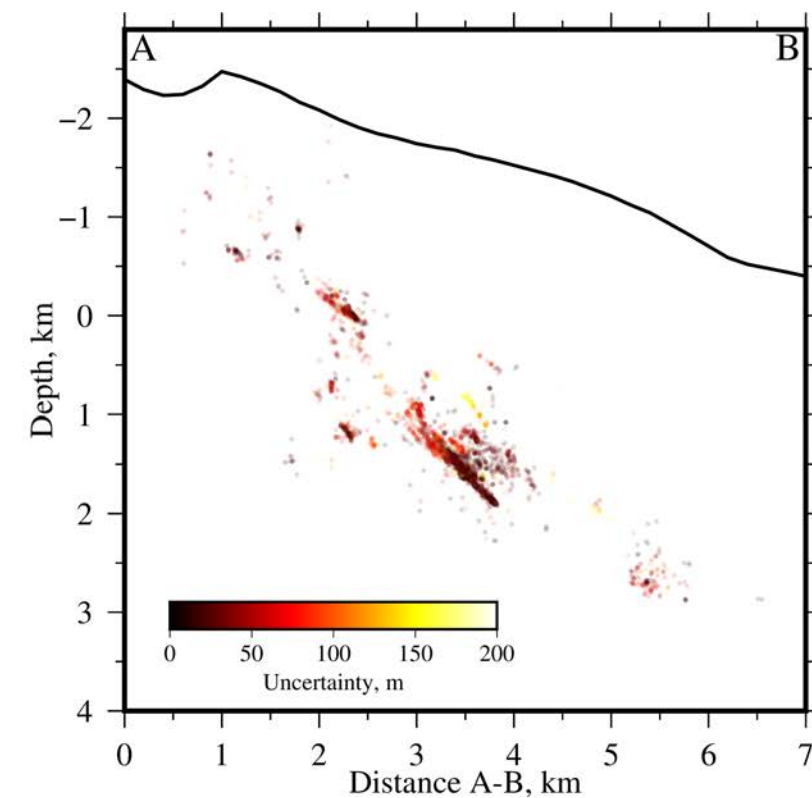
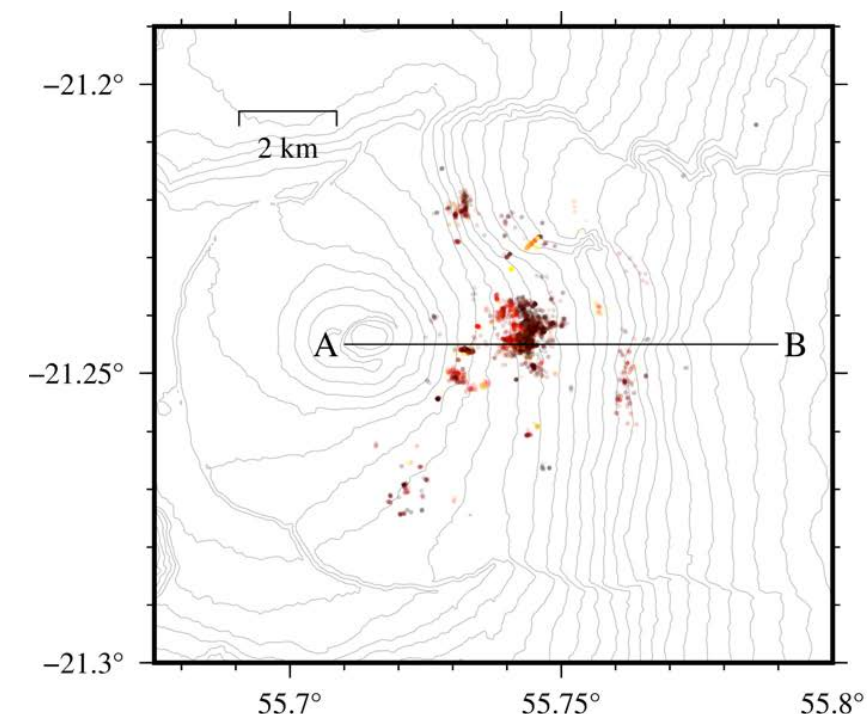
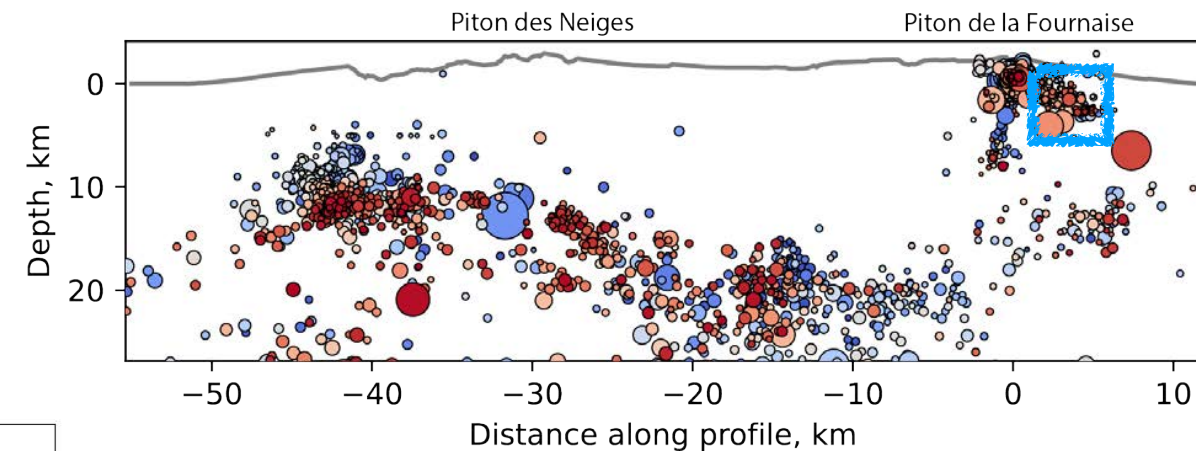
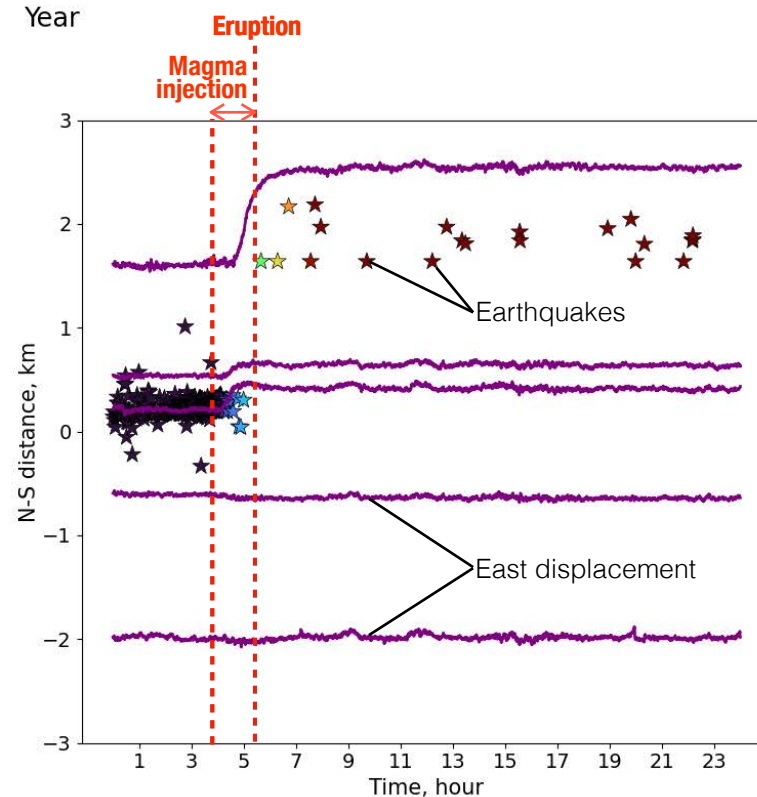
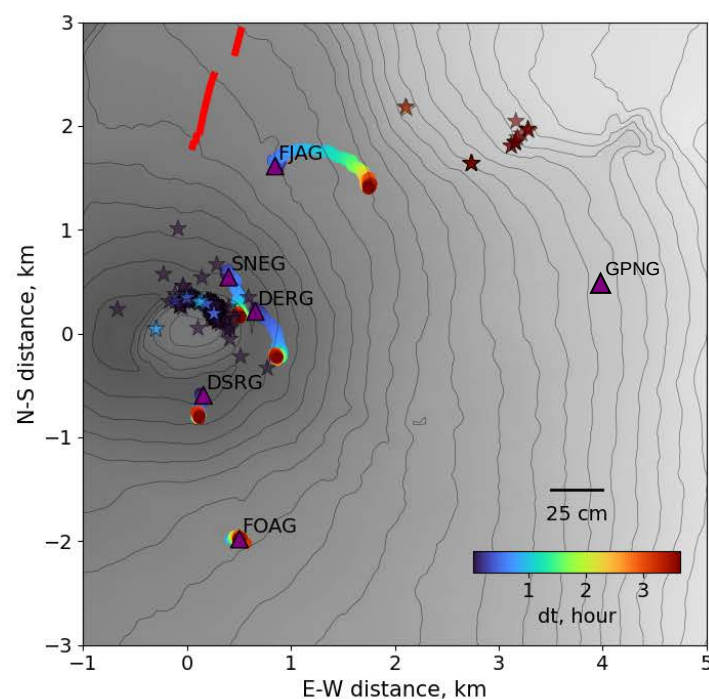
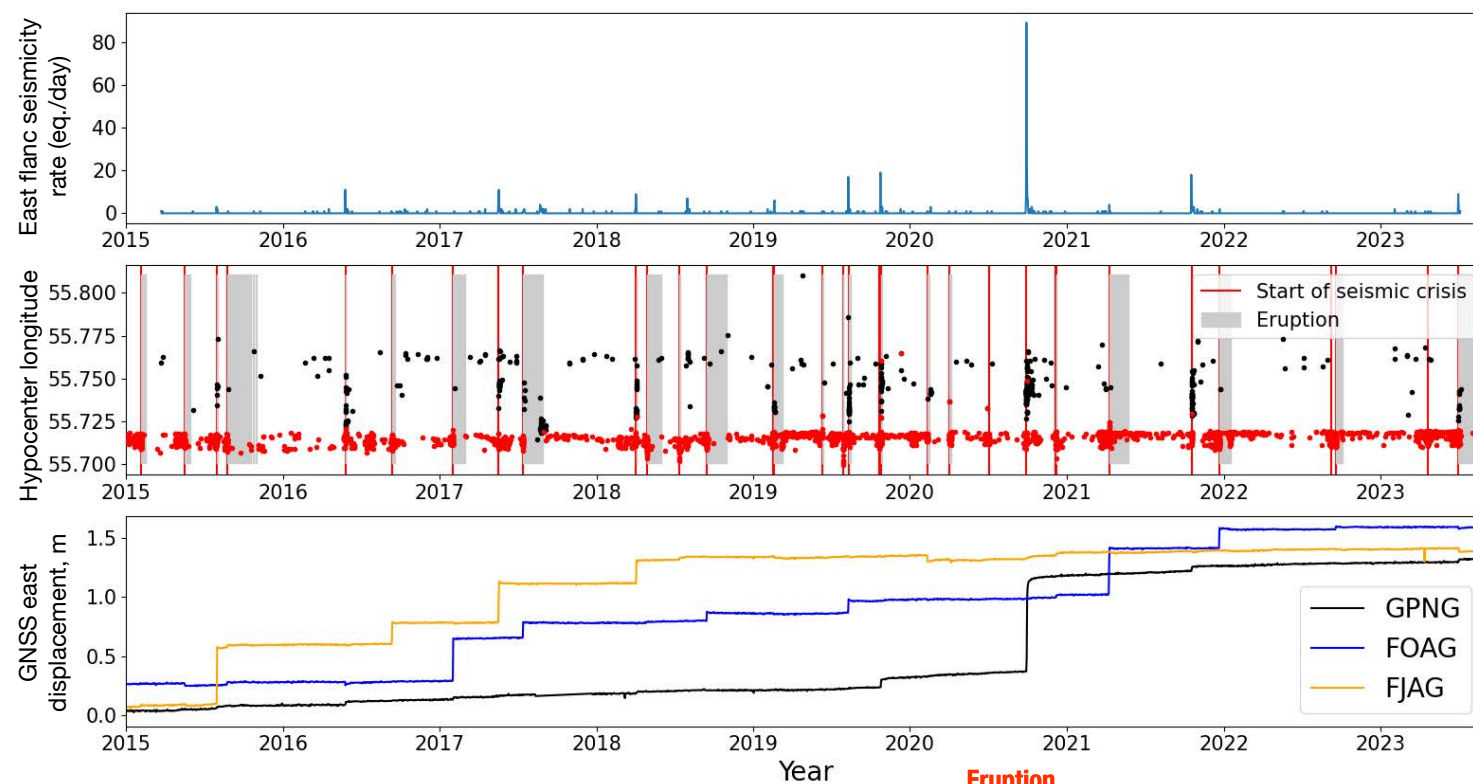


Red = Fissures éruptives. Black = sismicité pré-éruptive. Gray = Catalogue 2014-2018.

Activité sismique au Piton de la Fournaise

Activité sous le flanc est du volcan

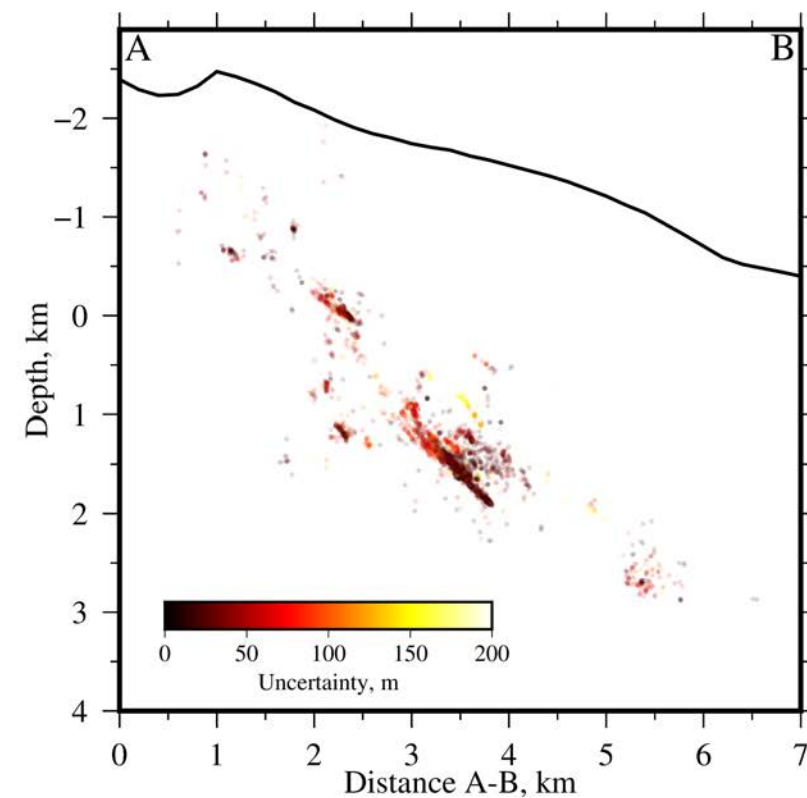
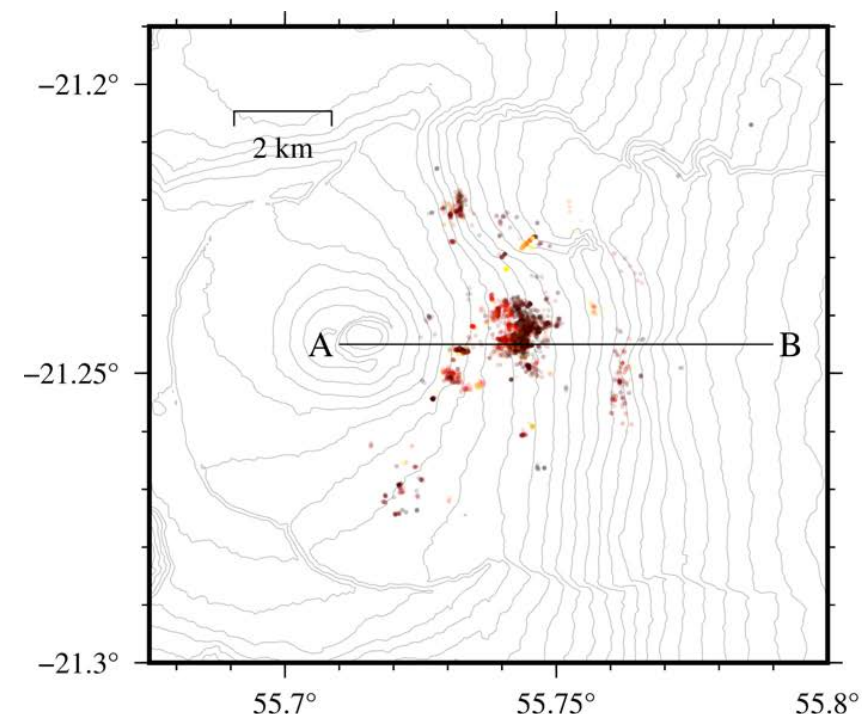
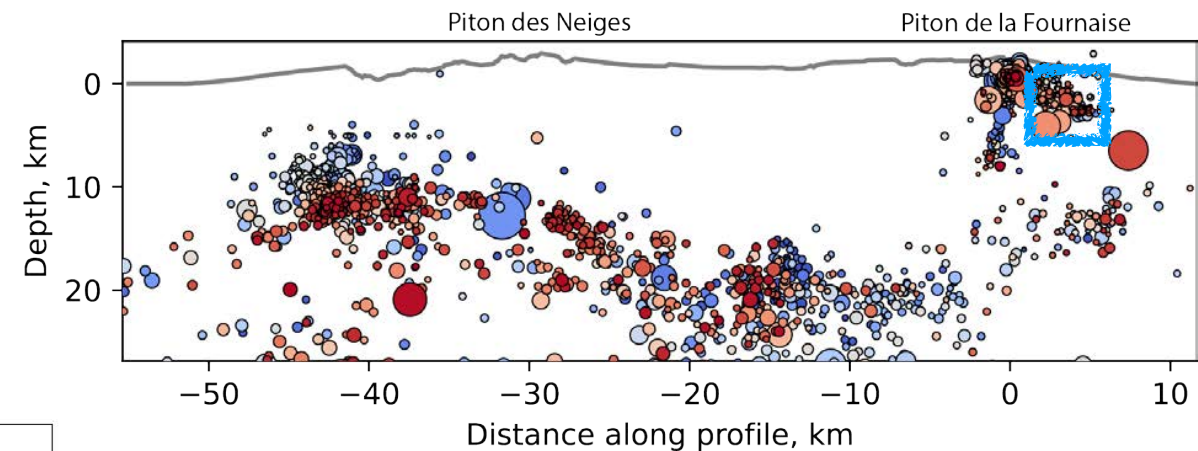
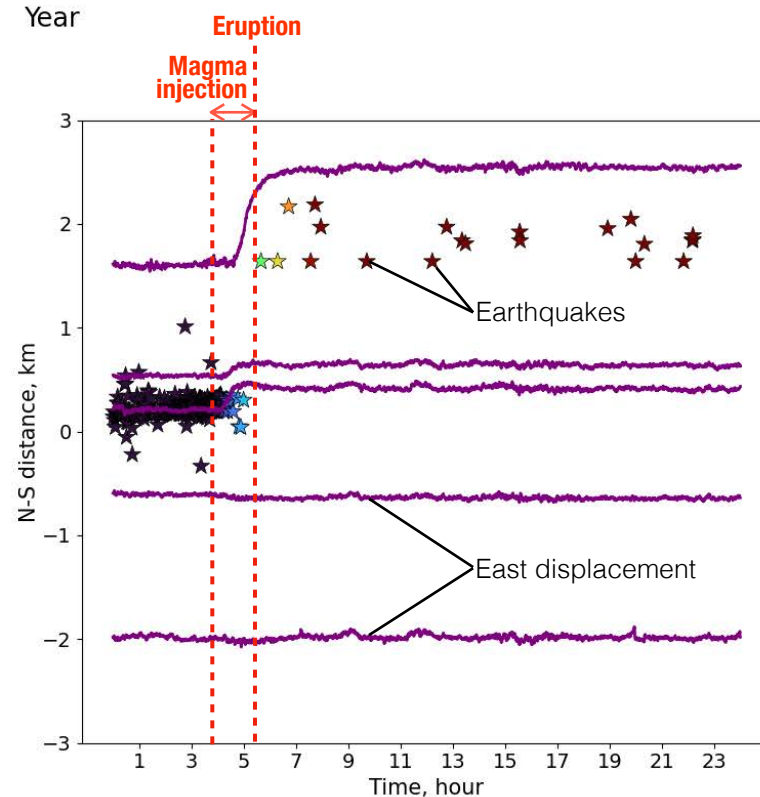
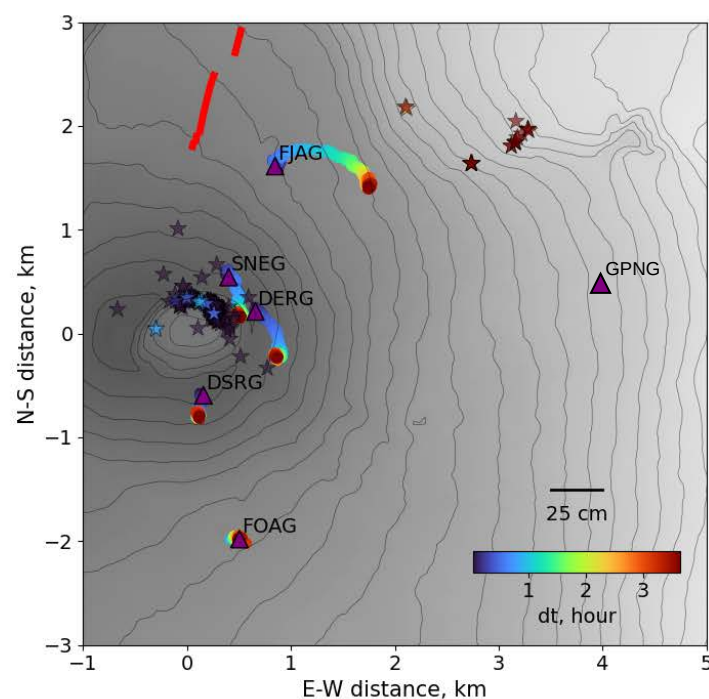
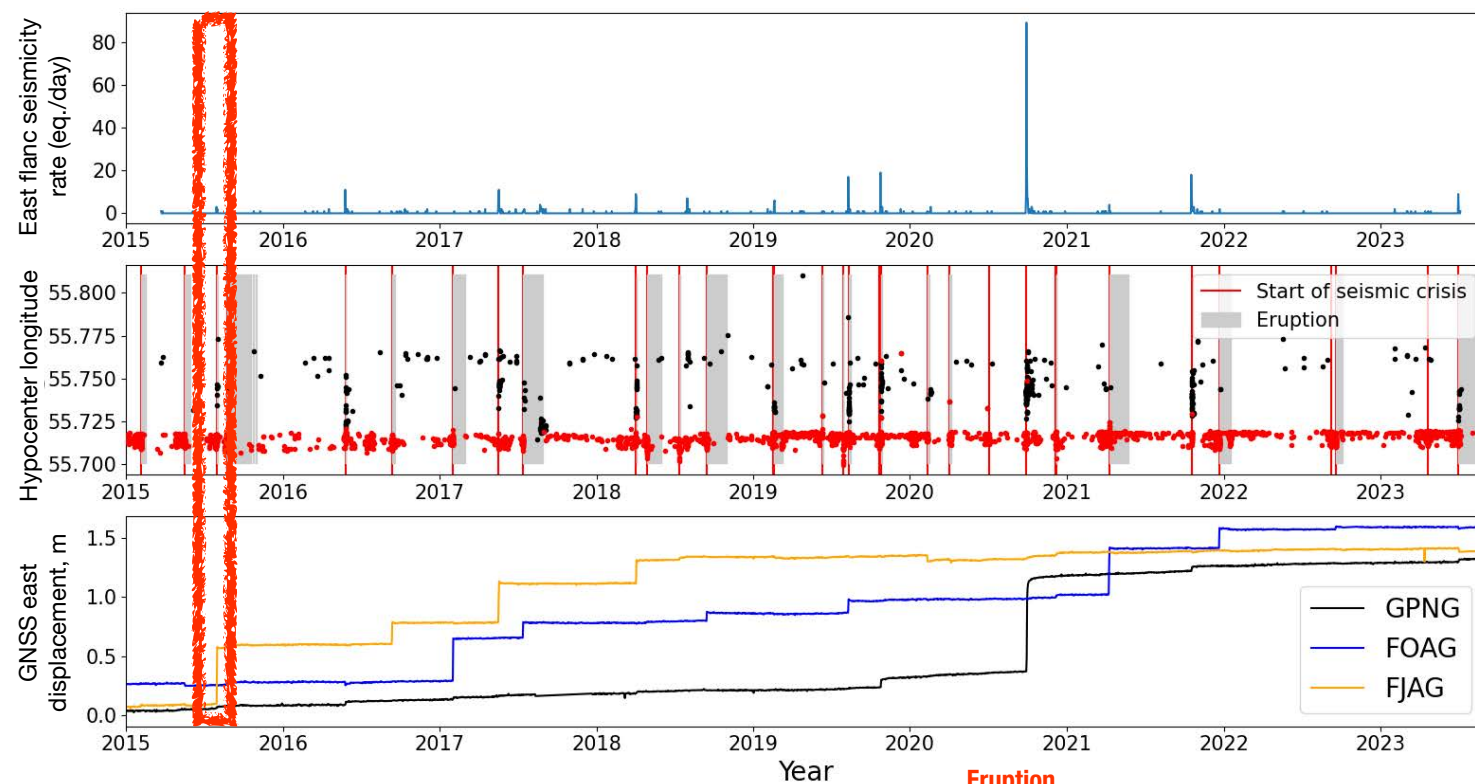
- Mouvement vers la mer du flanc, accéléré pendant les intrusions de magma
- Sismicité inter-éruptive continue pendant la recharge du réservoir de magma
- La sismicité du flanc augmente lors des intrusions dans les zones de rift



Activité sismique au Piton de la Fournaise

Activité sous le flanc est du volcan

- Mouvement vers la mer du flanc, accéléré pendant les intrusions de magma
- Sismicité inter-éruptive continue pendant la recharge du réservoir de magma
- La sismicité du flanc augmente lors des intrusions dans les zones de rift

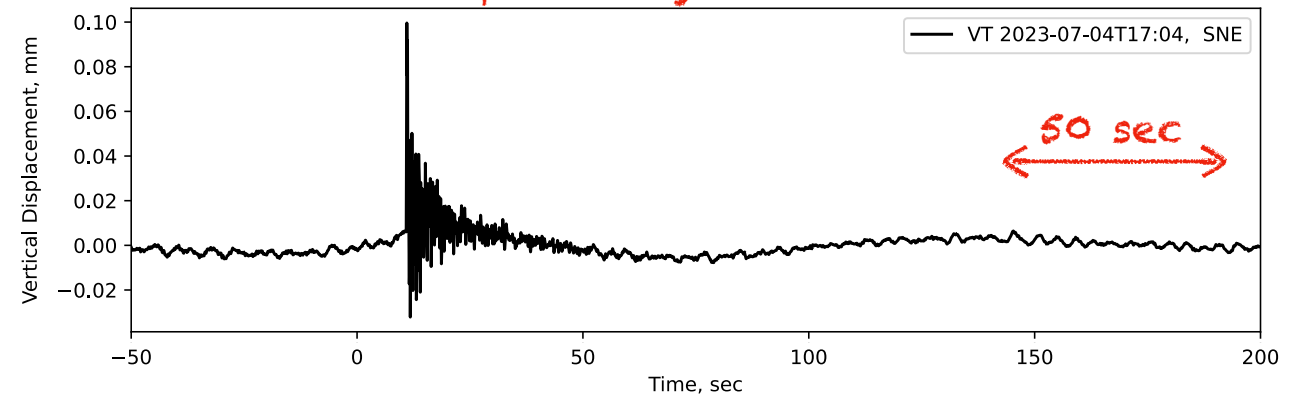


Activité sismique au Piton de la Fournaise

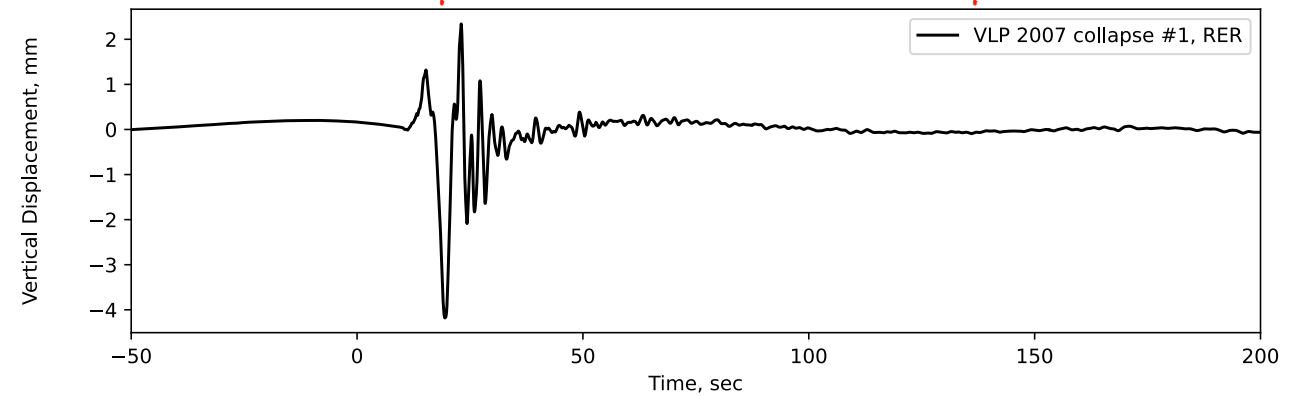
Signaux très longue période (VLP)

- Signaux dont la fréquence est beaucoup plus basse que les séismes classiques
- Observés au cours des différentes phases de l'activité volcanique au Piton de la Fournaise :
 - Effondrements de caldera
 - Pendant certaines éruptions
 - Pendant la migration de magma avant certaines éruptions
- Associés à des mécanismes à la source très différent des séismes classiques

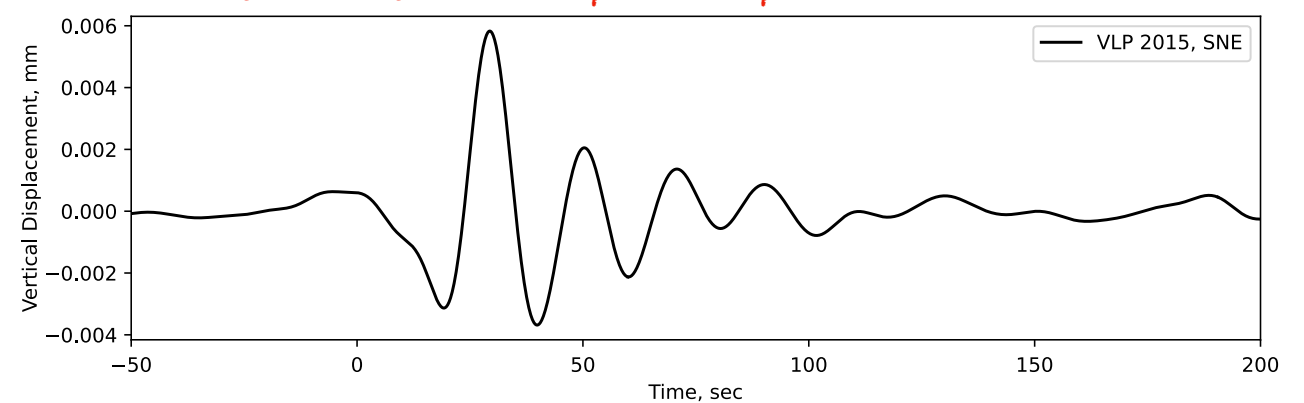
Volcano-tectonic earthquake (July 2023, $M=2.5$)



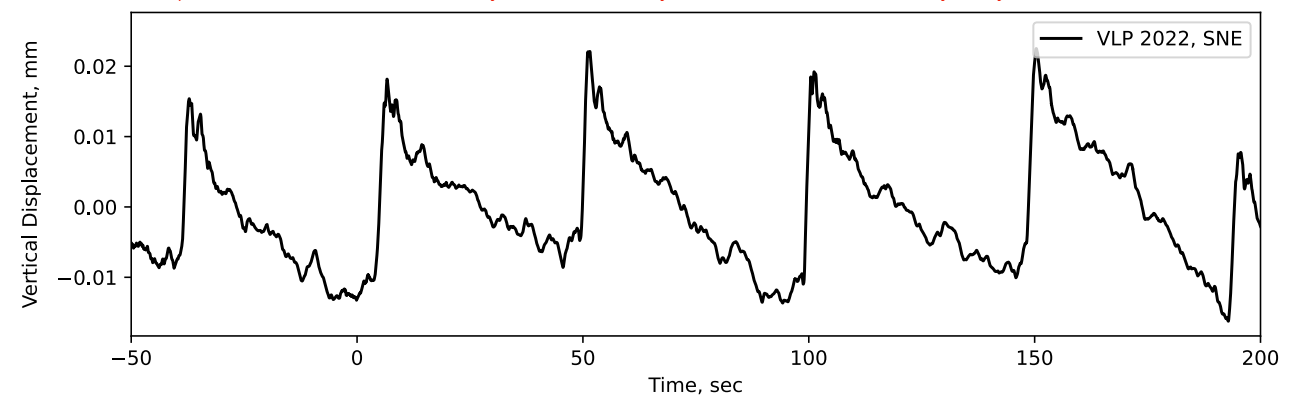
VLP event - 2007 collapse (Fontaine et al., 2019; Duputel et al., 2019)



VLP - during the Aug. 2015 eruption (Duputel et al., 2023)



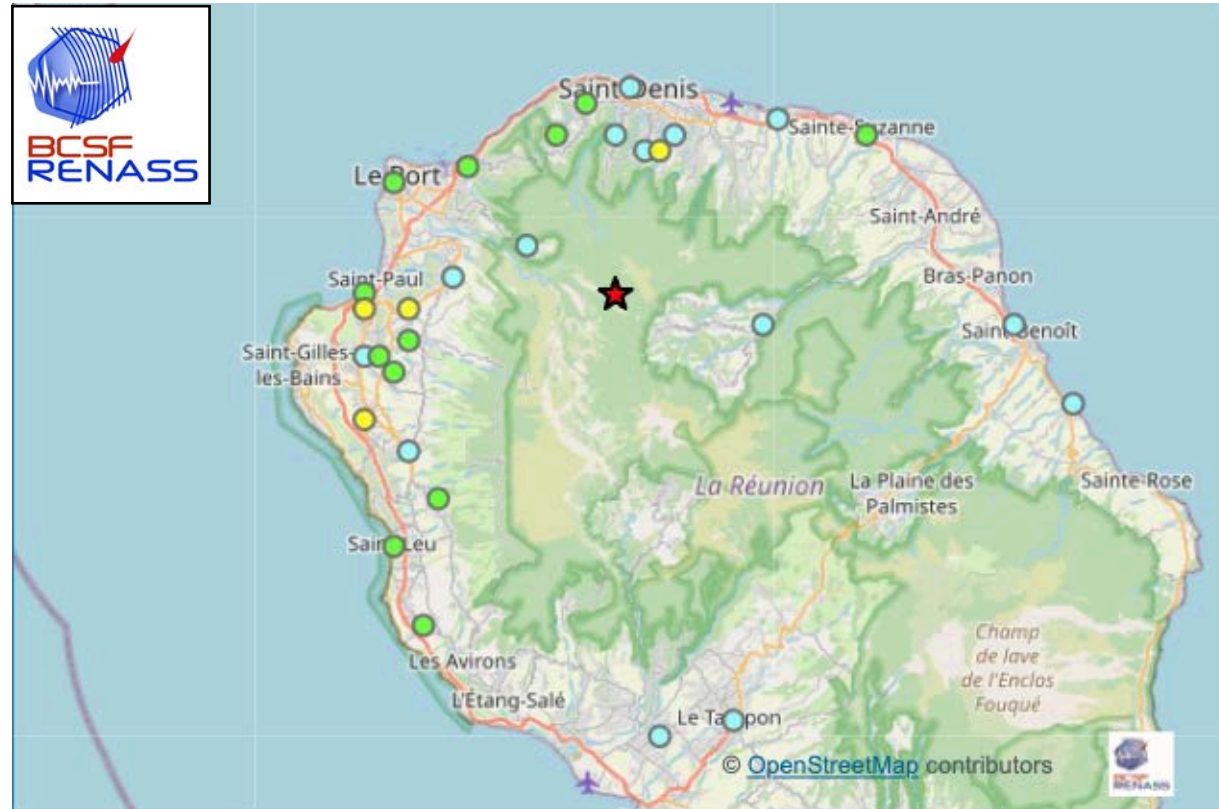
VLP - before the 2022 eruption (Duputel et al., in prep.)



Sismicité au Piton des Neiges

- Activité sismique modérée (~2 ev./jour)
- Plusieurs groupes de tremblements de terre
- Faille inverse sous l'édifice volcanique

Séisme du 6 septembre 2024



Carte d'intensités internet issue de 133 témoignages (Date de création : 02/11/2024 12:10 T.U.)

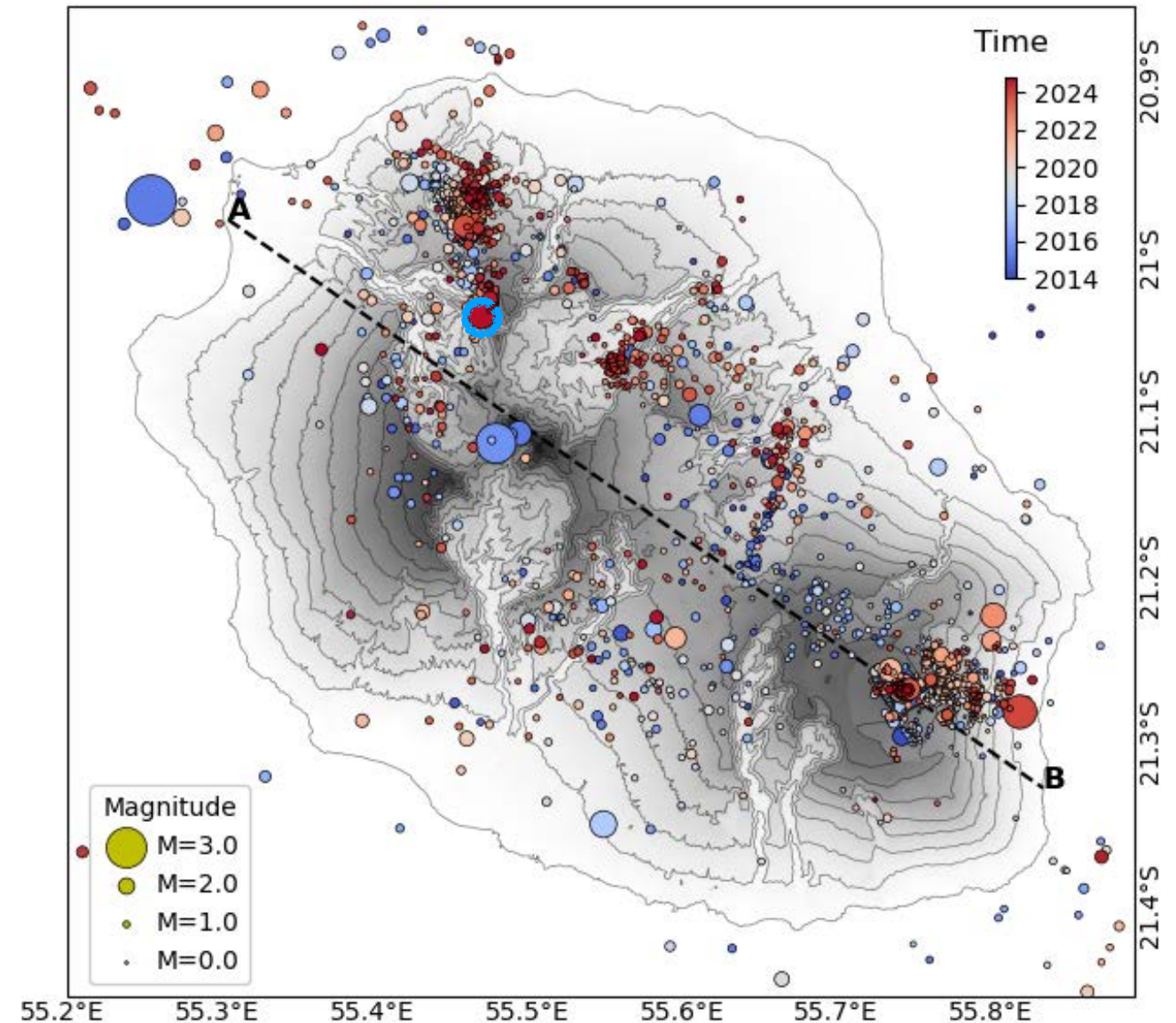
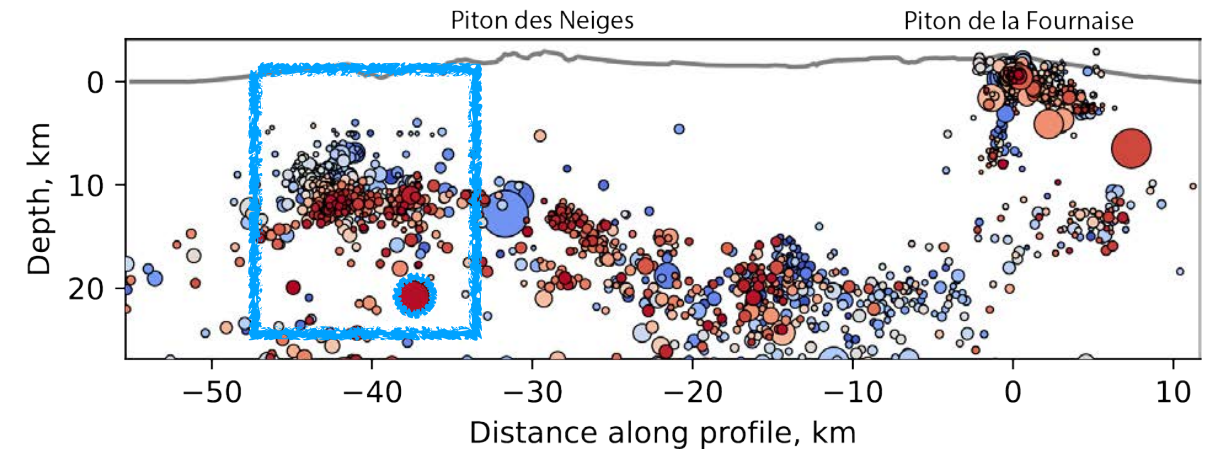
Intensités EMS98*		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X, XI, XII
dégâts potentiels	bâtiments vulnérables	aucun	aucun	aucun	aucun	très légers	modérés	quelques effondrements partiels	nombreux effondrements partiels	nombreux effondrements	effondrements généralisés
	bâtiments peu vulnérables	aucun	aucun	aucun	aucun	aucun	aucun	très légers	modérés	effondrements partiels	effondrements nombreux à généralisés
	perception humaine	non ressenti	très faible	faible	modérée	forte	brutale	très brutale	sévère	violente	extrême

★ Localisation du séisme

○ Intensité moyenne communale issue des témoignages internet (donnée préliminaire)

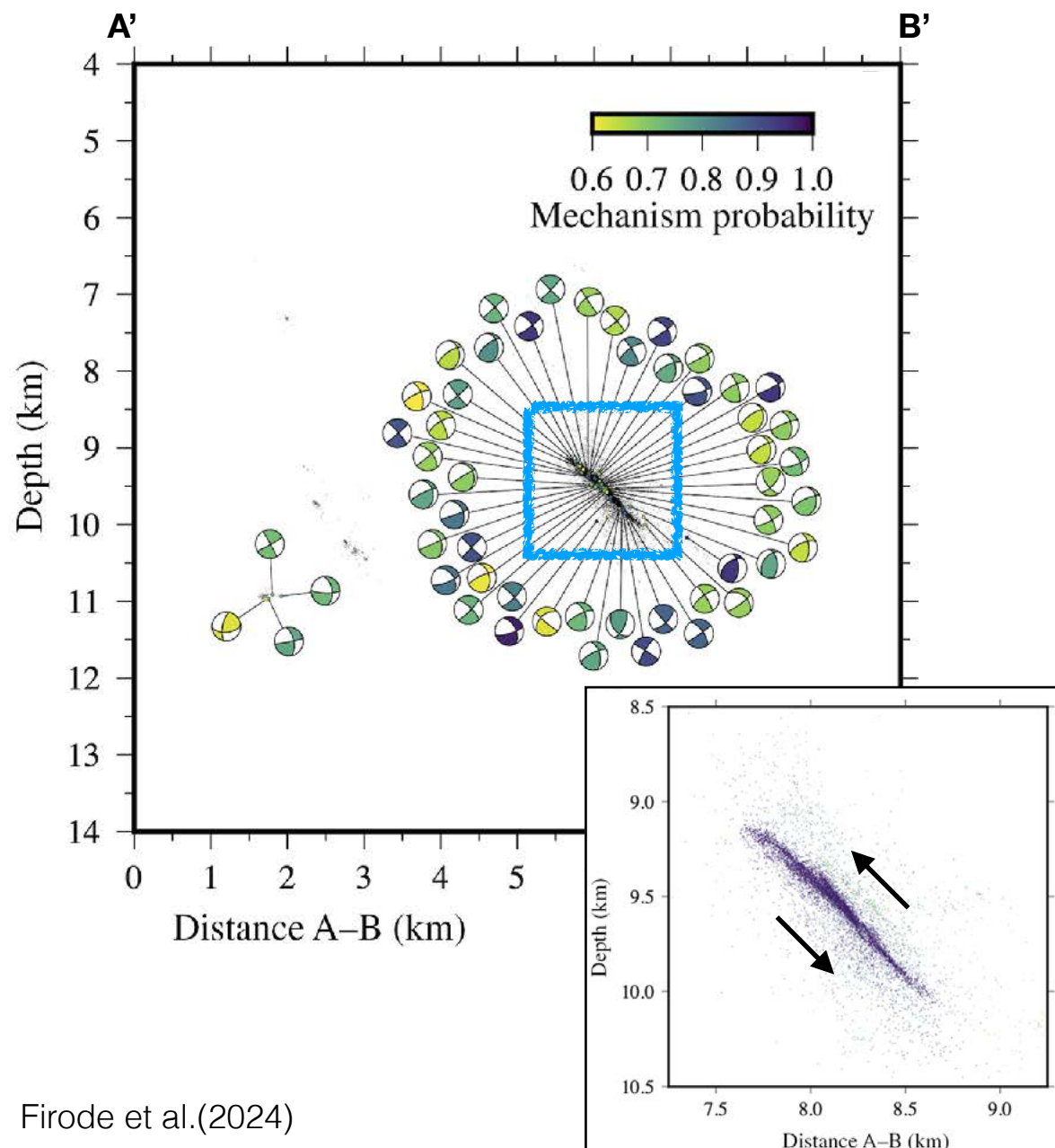
○ niveau d'intensité théorique attendu sur la zone

Données macrosismiques : BCSF-RENASS (EOST-UMS830 / CNRS-Université de Strasbourg)
 *EMS-98 : Grunthal, G., 1998. European Macroseismic Scale 1998. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Sismologie.

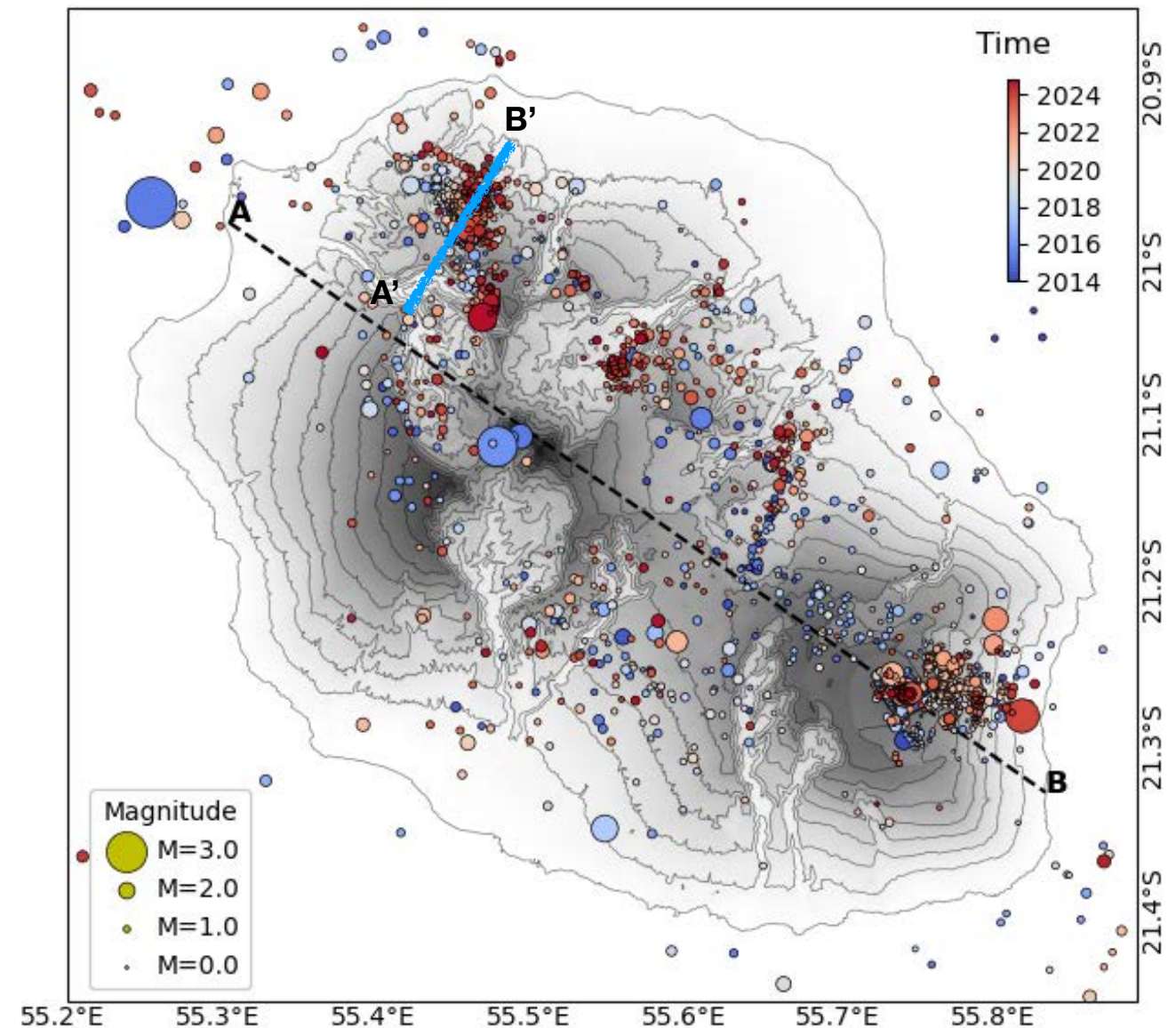
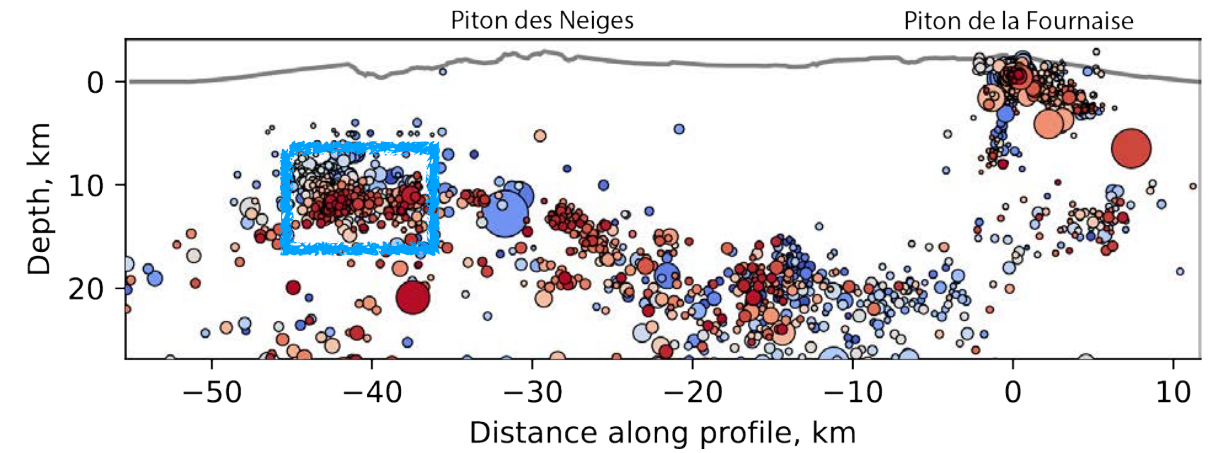


Sismicité au Piton des Neiges

- Activité sismique modérée (~2 ev./jour)
- Plusieurs groupes de tremblements de terre
- Faille inverse sous l'édifice volcanique



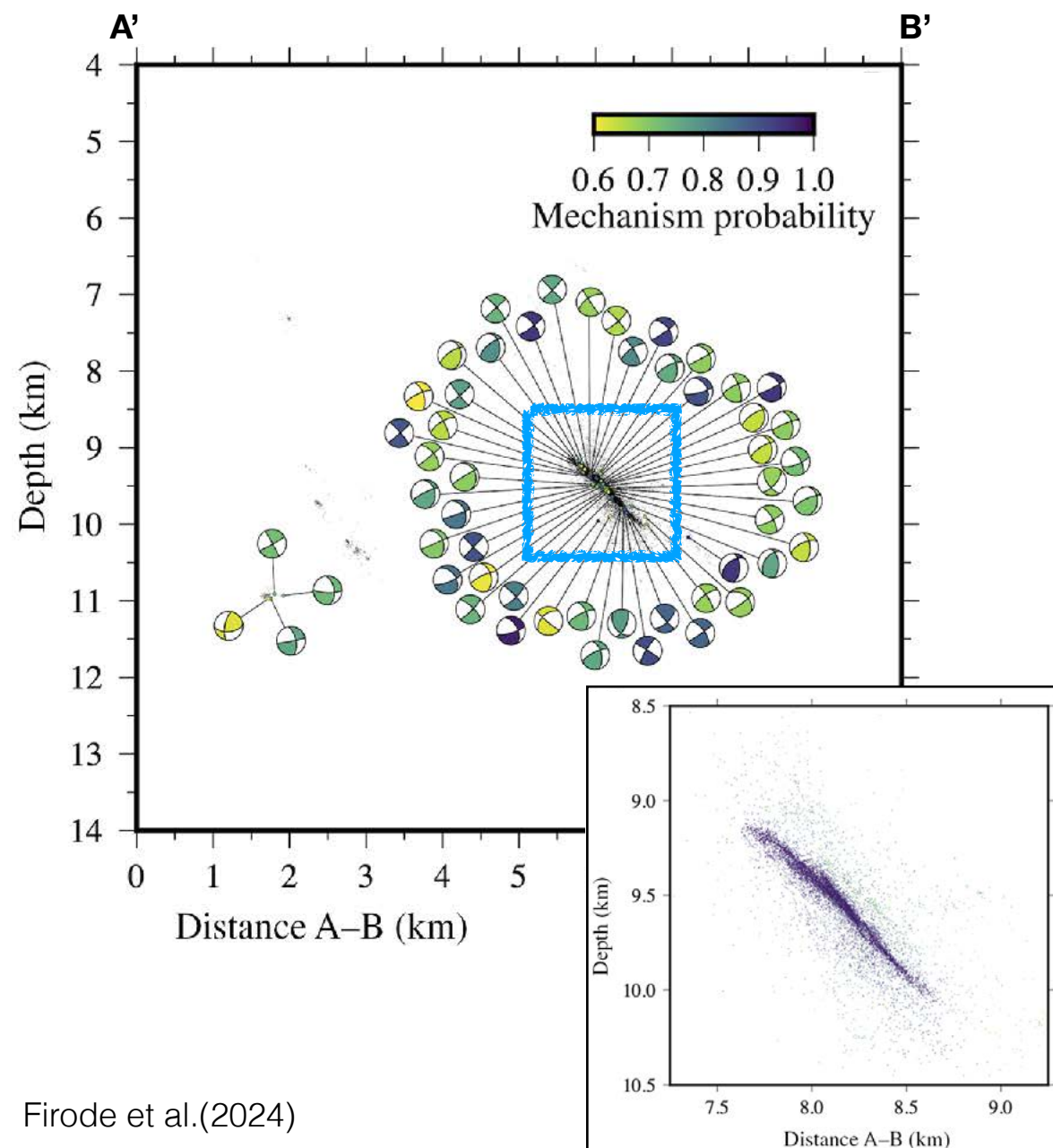
Firode et al.(2024)



Sismicité au Piton des Neiges

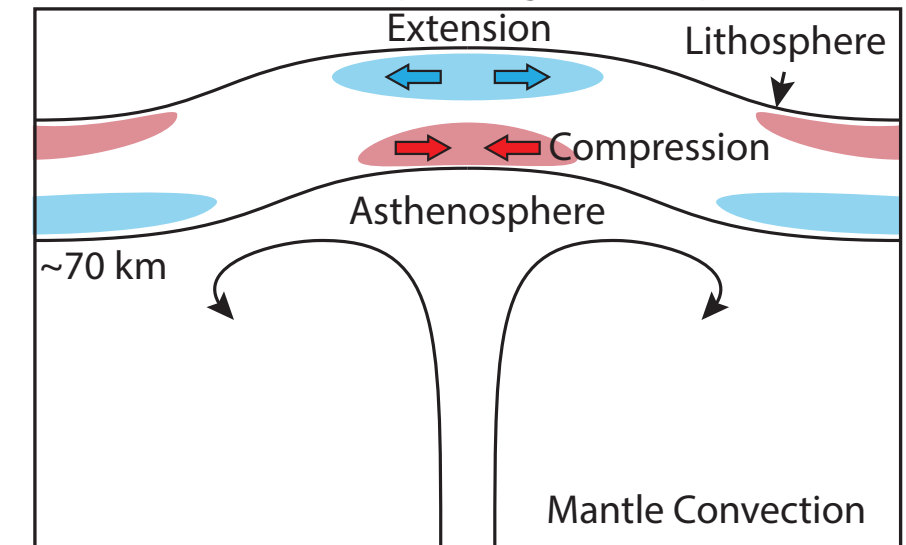
Origine ?

- Hypothèse A : Flexure locale due au poids de l'édifice
- Hypothèse B : Déflexion due à la diminution du flux dans le manteau ?

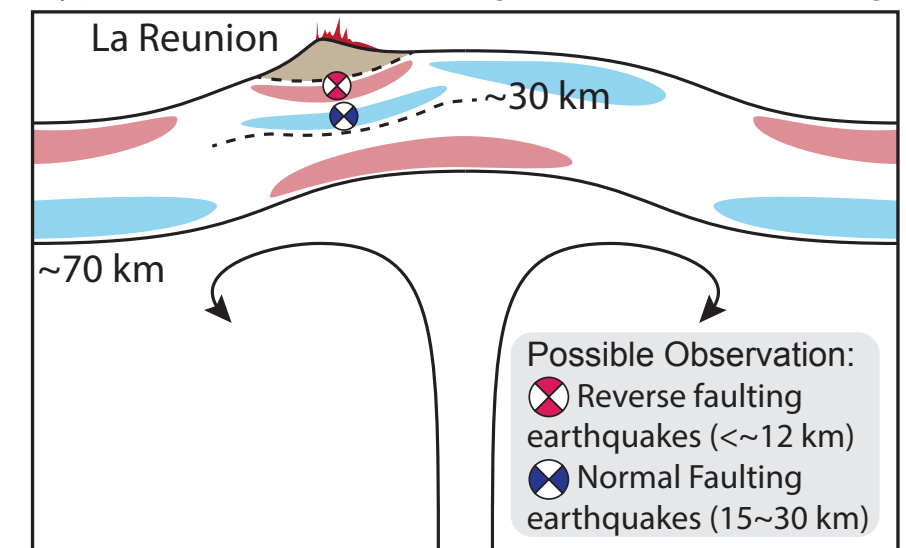


Firode et al.(2024)

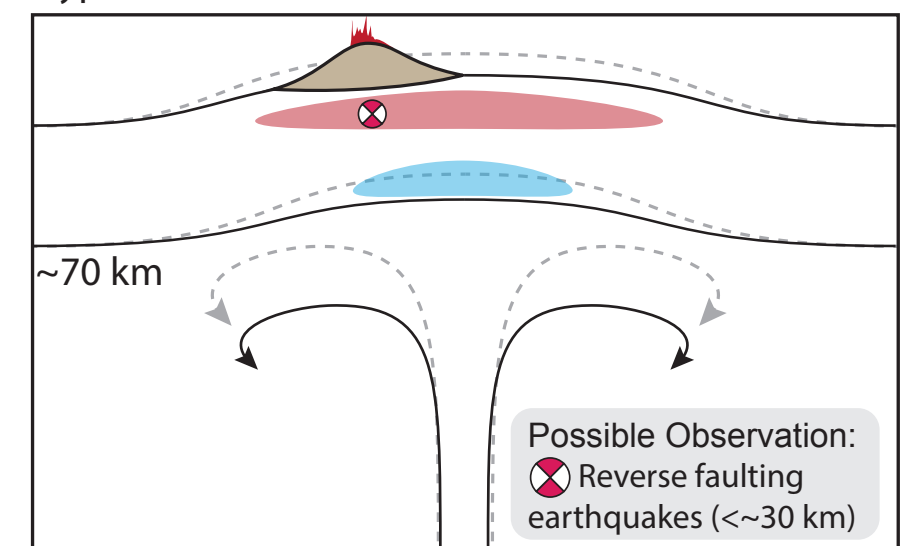
(a) Effects of mantle upwelling on lithosphere



Hypothesis A: Local bending due to edifice loading



Hypothesis B: Unbend due to decreased mantle flow



Conclusion

Sismicité VT à La Fournaise

- Séismes profonds liés à la réalimentation du réservoir superficiel
- Séismes superficiels sur une faille annulaire déclenchés par la pressurisation du réservoir et par les injection magmatiques
- Séismes associés au mouvement du flanc est

Sismicité très longue période (VLP)

- Effondrements de caldera
- Résonance de conduits
- injection intermittente de magma

Sismicité au nord de l'île

- Profonde (sous l'édifice volcanique)
- Failles inverses dans la croute océanique
- Pas de lien évident avec l'activité à la Fournaise

Catalogue OVPF - 2014 - 2024

