

# THÈSE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 596

Matière, Molécules, Matériaux et Géosciences

Spécialité : Sciences de la Terre et des Planètes

Par

**Marion ALLONCLE**

## Évaluation de l'énergie sismique libérée dans une région continentale stable : exemple du Massif armoricain, France

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 07 novembre 2024

Unité de recherche : Laboratoire de Planétologie et Géosciences, UMR CNRS 6112

### Rapporteurs avant soutenance :

Marie Calvet Physicienne CNAP, Université Toulouse III Paul Sabatier  
Bertrand Delouis Professeur des universités, Université Côte d'Azur

### Composition du Jury :

Président :	Prénom Nom	Fonction et établissement d'exercice (à préciser après la soutenance)
Examineurs :	Fabrice Hollender	Directeur de recherche, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA)
	Sophie Lambotte	Physicienne-adjointe CNAP, Université de Strasbourg
	Claudio Satriano	Physicien-adjoint CNAP, Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP)
	Oona Scotti	Chercheuse senior, Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN)
Dir. de thèse :	Antoine Mocquet	Professeur des universités, Nantes Université
Co-dir. de thèse :	Mickaël Bonnin	Physicien-adjoint CNAP, Nantes Université

### Invité(s)

Pierre Arroucau	Ingénieur de recherche, Électricité de France (EDF)
Françoise Courboux	Directrice de recherche CNRS, Université Côte d'Azur
Ludmila Provost	Ingénieure, Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN)

**Titre :** Évaluation de l'énergie sismique libérée dans une région continentale stable : exemple du Massif armoricain, France

**Mots clés :** Région continentale stable, Massif armoricain, sismicité intraplaque, chute de contrainte, énergie sismique

**Résumé :** Les régions continentales stables, telles que le Massif armoricain en France, sont caractérisées par des taux de déformation très faibles et une sismicité de magnitude faible à modérée. Les forçages tectoniques en champ lointain ne parviennent pas à expliquer de tels taux de sismicité, d'autres facteurs doivent donc être à l'origine de cette activité sismique. La récente densification du réseau de stations dans le Nord-Ouest de la France a permis, pour la première fois, l'évaluation de l'énergie sismique libérée au sein de cette région.

L'analyse des spectres de source a conduit à la détermination du moment sismique  $M_0$ , de la magnitude de moment  $M_W$  associée et de la fréquence coin  $f_c$ , pour un catalogue de référence, composé de 108 séismes de magnitude locale  $M_L$  comprise entre 2,0 et 5,3, ayant eu lieu entre 2015 et 2024. L'analyse temporelle des signaux a permis de déterminer un rapport  $V_p/V_s$  de  $1,70 \pm 0,01$  ( $3\sigma$ ) cohérent avec une région de socle composé de roches felsiques. Une relation linéaire  $M_L = 1,21 M_W - 0,17$ , où  $M_L$  est évaluée par le LDG-CEA a été établie. La relation  $M_0(f_c)$  met en évidence une diminution de  $M_0 \sim f_c^{-3}$  jusqu'à  $M_W \sim 1,7$ , avec une contrainte apparente  $\sigma_a \sim [1 - 2]$  MPa et un rapport entre l'énergie d'ondes sismiques  $E_s$  et  $M_0$ ,  $E_s/M_0 \sim [4 - 7] \times 10^{-5}$ . La chute de contrainte associée,  $\Delta\sigma \sim [16 - 28]$  MPa, pour une source circulaire cohésive, correspond à la gamme inférieure des valeurs observées pour les régions continentales stables. Ces résultats pourront aider à la compréhension de la sismicité des régions continentales stables et à l'estimation de l'aléa sismique dans l'Ouest de la France.

**Title :** Evaluation of the seismic energy released in stable continental regions: Application to the Armorican Massif, France

**Keywords :** Stable continental region, Armorican Massif, intraplate seismicity, stress drop, seismic energy

**Abstract :** Stable continental regions, such as the Armorican Massif in western France, are characterized by very low deformation rates and a low-to-moderate magnitude seismicity. Far-field tectonic loadings alone fail to explain the occurrence of such seismicity, which implies that other processes have to be involved in the occurrence of this seismic activity. The recent densification of the seismological network in northwestern France allowed for an assessment of the released seismic energy in this intracontinental region.

The analysis of source spectra of earthquakes lead to the determination of the seismic moment  $M_0$ , associated moment magnitude  $M_W$  and corner frequency  $f_c$ , for a reference catalog, which consists of 108 earthquakes of local magnitude  $M_L$  ranging from 2.0 to 5.3 that occurred between 2015 and 2024. The time domain analysis provided a  $V_p/V_s$  ratio of  $1,70 \pm 0,01$  ( $3\sigma$ ) consistent with a felsic continental crust. A linear relationship  $M_L = 1,21 M_W - 0,17$ , where  $M_L$  is assessed by the CEA-LDG, has been identified. The  $M_0(f_c)$  relationship shows a  $\sim f_c^{-3}$  decrease of  $M_0$  down to  $M_W \sim 1,7$ , with an apparent stress  $\sigma_a \sim [1 - 2]$  MPa and an energy moment ratio  $E_s/M_0 \sim [4 - 7] \times 10^{-5}$ . The associated stress drop  $\Delta\sigma \sim [16 - 28]$  MPa, considering a cohesive circular source, lies well within the lower range of values compiled for stable continental regions. These results will be useful to improve the understanding of stable continental regions seismicity and the assessment of the seismic hazard in western France.