

Ecole doctorale Environnements-Santé
Dossier de projet de thèse « Contrat doctoral Etablissements »
ANNEE 2024

TITRE DU PROJET : Un nouvel éclairage sur la déformation actuelle du Jura et implications sur les réservoirs d'eau souterraine : Mesures sismologiques, géodésiques et valorisation des bases de données accumulées

1) Renseignements administratifs sur la direction de thèse¹ (1 page maximum) :

Directeur de thèse HDR :
Nom : Celle
Prénom : Hélène

Co-directeur de thèse éventuel :
Nom : Albaric
Prénom : Julie

2) Descriptif du projet de thèse (devra inclure les rubriques suivantes) :

NOM ET LABEL DE L'UNITE DE RECHERCHE : Thème GEODE, Chrono-environnement, Université de Franche-Comté, Besançon.

LOCALISATION : Laboratoire Chrono-environnement, 16 route de Gray, 25030 Besançon

NOM DU DIRECTEUR DE THESE ET DU CO-DIRECTEUR : Hélène Celle (HDR, Pr, Chrono-environnement), et Julie Albaric (MCF, Chrono-environnement).

Cette thèse bénéficiera de la collaboration d'Andrea Walpersdorf (Phys. CNAP, ISTerre, Grenoble) et Christian Sue (Pr., ISTerre, Grenoble).

ADRESSE COURRIEL DU CONTACT SCIENTIFIQUE : julie.albaric@univ-fcomte.fr

DESCRIPTION DU PROJET (2 PAGES MAXIMUM) :

Le Jura a fait l'objet de nombreuses études d'un point de vue structural, qui ont mis en évidence la complexité et la variabilité du style tectonique dans la région (Laubcher, 1992; Burkhard et Sommaruga, 1998). Du fait du manque de données instrumentales, sa déformation actuelle fait encore l'objet de nombreux débats scientifiques. Par exemple sur l'origine des forces géodynamiques mises en jeu, et la manière dont la déformation actuelle du massif s'inscrit dans le cadre régional incluant les Alpes et le Graben du Rhin. La localisation de la déformation en profondeur, à savoir si elle se limite à la couverture sédimentaire ou si elle implique le socle, est aussi une question en suspens (Rabin et al., 2018).

¹ ATTENTION : selon l'article 16 de l'arrêté du 25 mai 2016, le total d'encadrants ne peut pas dépasser 2, sauf si l'un des encadrants appartient au monde socio-économique, qui peut venir en sus, ou en cas de co-tutelle; Le décompte des co-encadrements se fera au prorata du nombre d'encadrants : 1 pour 1 encadrant, ½ pour deux encadrants.

Ce massif abrite de nombreux aquifères karstiques (Bichet et Campy, 2009). Ces derniers sont parfois affectés par la sismicité régionale, comme cela a été observé dans les Avants-Monts, à Fourbanne (Doubs), où des changements de la chimie des eaux de l'aquifère ont été attribués au séisme M_w 4.5 de Besançon/Roulans le 23 Février 2004 (Charmoille et al., 2005). Le rôle de la déformation sismique ou asismique dans des phénomènes hydrogéologiques tel que l'assèchement brutal de rivières (ex. en 2018, le Doubs entre Morteau et Pontarlier) est suspecté, de la même manière que dans les Pyrénées (Derode et al., 2023).

Cette thèse vise d'une part à redéfinir la déformation actuelle du massif Jura et d'autre part à explorer la relation entre la déformation crustale et ses réservoirs d'eau souterraine.

Le premier volet du travail de thèse consistera à analyser les données sismologiques et géodésiques accumulées depuis 2014 (géodésie) et 2018 (sismologie), périodes marquées par une densification des réseaux de stations à l'échelle nationale (EPOS-France). Ce travail bénéficiera également de l'apport de données locales long terme (réseau [JURAQUAKE](#), OSU THETA) et ponctuelles (projet JURAMOTION, INSU Tellus, 2024 ; PI Andrea Walpersdorf).

Les données sismologiques seront analysées pour obtenir la localisation fine de la sismicité et les mécanismes au foyer associés (ex : Phasenet, Zhu & Beroza, 2019 ; NonLinLoc, Lomax et al., 2000; REFOC, Cheng et al., 2023).

Les données GNSS seront analysées avec le logiciel GAMIT/GLOBK du MIT. Le champ de vitesses obtenu sera utilisé pour calculer un champ de déformation haute résolution et pour évaluer le taux de glissement actuel des structures tectoniques majeures du Jura. Ces résultats seront, dans un premier temps, interprétés du point de vue de la tectonique régionale.

Le deuxième volet de la thèse s'attachera au détail de certaines zones, et notamment à interpréter le nouveau catalogue de (micro)sismicité au regard des observations hydrogéologiques ([JURASSIC KARST](#), SNO KARST, ZAAJ), pour déterminer des couplages potentiels. Une attention particulière portera sur le bassin versant de Fourbanne, au cœur des observatoires JURAQUAKE et JURASSIC KARST, où une partie de la sismicité semble se produire sous forme d'essaims (Larroque et al., 2021 ; Figure 1). Il s'agira notamment d'étudier les mécanismes mis en jeu dans le déclenchement de la sismicité (diffusion de la pression de fluide, glissement asismique,...).

La thèse se déroulera au sein du laboratoire Chrono-environnement à Besançon, avec des séjours réguliers au Laboratoire ISTerre à Grenoble (collaboration Andrea Walpersdorf et Christian Sue). Bien que les données soient déjà disponibles, la personne recrutée sera formée au terrain, notamment lors des campagnes de maintenance instrumentale, en partenariat avec l'OSU THETA.

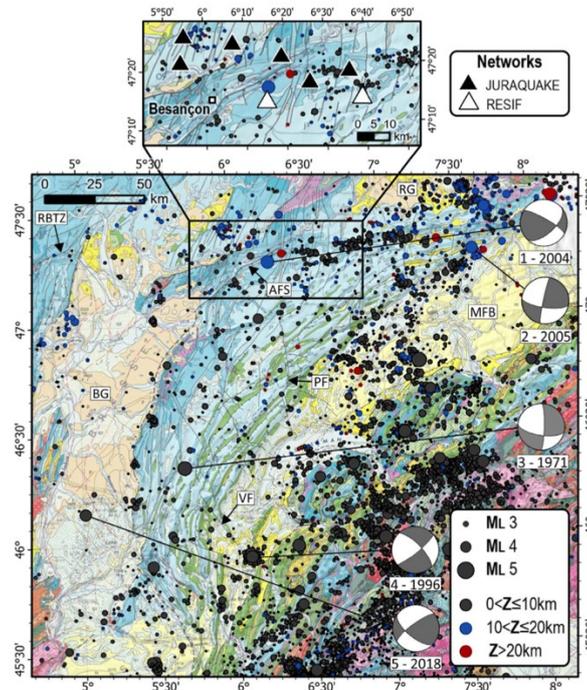


Figure 1 : Sismicité dans l'Est de la France d'après le catalogue du CEA 1996-2019 et mécanismes au foyer des séismes majeurs (Larroque et al., 2021)

Références bibliographiques :

- Bichet V. et Campy M. (2009), Montagnes du Jura, géologie et paysages, 2nd édition. Néo Editions. (hal-00483267).
- Cheng, Y., Allen, R. M., & Taira, T. (2023). A new focal mechanism calculation algorithm (REFOC) using inter-event relative radiation patterns: Application to the earthquakes in the Parkfield area. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 128, e2022JB025006. <https://doi.org/10.1029/2022JB025006>
- Benoit Derode, Alisson Gounon, Jean Letort, Matthieu Sylvander, Alexis Rigo, et al.. Fluid-driven seismic swarms in the Gripp valley (Haute-Pyrénées, France) (2023). *Geophysical Journal International*, 234 (3), 1903-1915. <https://doi.org/10.1093/gji/ggad175>
- Burkhard, M. and Sommaruga, A. (1998). Evolution of the western Swiss Molasse basin: structural relations with the Alps and the Jura belt. In: *Cenozoic Foreland Basins of Western Europe*, Geol. Soc. Spec. Publ. 134, 279–298.
- Larroque C., Baize S., Albaric J, Jomard H., Trévisan J, Godano M.; Cushing M., Deschamps A., Sue C., Delouis B., Potin B, Courboulex F., Régnier M., Rivet D., Brunel D., Chèze J., Martin X., Maron C., Peix F., (2021). Seismotectonics of southeast France: from the Jura mountains to Corsica. *Comptes Rendus. Géoscience*, Tome 353 no. S1, pp. 105-151. doi : 10.5802/crgeos.69.
- Laubscher, HP. (1992). Jura kinematics and the Molasse Basin, *Eclogae Geol. Helv.* 85, 287–303.
- Lomax A., Virieux, J., Volant, P. & BergeThierry, C. (2000). Probabilistic earthquake location in 3D and layered models, *Adv. Seismic Event Locat.*, 18, 101–134.
- Rabin, M., Sue, C., Walpersdorf, A., Sakic, P., Albaric, J., & Fores, B. (2018). Present-Day Deformations of the Jura Arc Inferred by GPS Surveying and Earthquake Focal Mechanisms. *Tectonics*, Vol. 37, Issue 10, pp. 3782-3804 DOI: 10.1029/2018TC005047.
- Zhu W. Beroza G. C. (2019) PhaseNet: a deep-neural-network-based seismic arrival-time picking method, *Geophysical Journal International*, Volume 216, Issue 1, 261–273, <https://doi.org/10.1093/gji/ggy423>

FINANCEMENT DU PROJET – PARTIE RECHERCHE (MONTANTS ACQUIS, TYPE DE CONTRAT)

- Projet JURAMOTION, INSU Tellus 2024, 11k€, PI A. Walpersdorf
- SNO Karst, 3k€, PI H. Celle
- Des demandes de financement sont prévues, via les appels d'offre suivants : Zone Atelier Arc Jurassien, SRO OSU THETA, Région BFC, ANR.

CONNAISSANCES ET COMPETENCES REQUISES : Le/la candidat(e) devra détenir un diplôme de Master 2 ou d'ingénieur dans l'un ou les domaines suivants : géophysique, physique, sciences de la Terre ou géosciences.

Résumé en français et anglais (limité chacun à 1800 caractères)

Le Jura a fait l'objet de nombreuses études mettant en évidence la complexité tectonique de la région. En l'absence de données instrumentales suffisantes, la déformation actuelle du massif est encore sujette à des débats scientifiques, notamment sur l'origine des forces géodynamiques et la localisation de la déformation en profondeur. Cette thèse vise à fournir un nouveau modèle de déformation du Jura et à explorer la relation entre la déformation crustale et les réservoirs d'eau souterraine en s'appuyant sur de nouveaux jeux de données disponibles. Un premier volet de la thèse consistera à analyser les données sismologiques et géodésiques disponibles. Les résultats permettront de déterminer le champ de déformation actuel et de caractériser finement la (micro)sismicité. Dans un second volet, ces résultats seront confrontés aux observations hydrogéologiques. Une attention particulière sera portée au bassin versant karstique de Fourbanne (Doubs), dans les Avants-Monts, qui fait l'objet d'un suivi hydro-géophysique long-terme depuis plusieurs années ([JURAQUAKE](#), [JURASSIC KARST](#), [SNO KARST](#), [ZAAJ](#)). Cette région a été affectée par un séisme relativement important à l'échelle de la métropole (M_w 4.5, Besançon/Roulans, 23 Février 2004) et semble présenter une sismicité en essaim. Il s'agira d'étudier les mécanismes déclencheurs de la sismicité observée, en particulier son interaction potentielle avec l'aquifère karstique.

La thèse, menée au laboratoire Chrono-environnement à Besançon avec des séjours à ISTERre à Grenoble, s'appuie sur des données nationales et locales déjà acquises et en cours d'acquisition.

Several research studies have highlighted the tectonic complexity of the Jura massif. Due to the lack of instrumental data, the current deformation of the massif remains a topic of scientific debate, particularly on the origin of geodynamic forces and the localization of deformation at depth. The aim of this thesis is to provide a new deformation model for the Jura and to explore the relationship between crustal deformation and underground water reservoirs, using newly available data sets. The first part of the thesis will consist in analyzing available seismological and geodetic data. The results will be used to determine the current deformation field and to characterize (micro)seismicity in detail. Secondly, these results will be compared with hydrogeological observations in particular in the karstic watershed of Fourbanne (Doubs), in the Avants-Monts. This area has been the subject of long-term hydro-geophysical monitoring for several years ([JURAQUAKE](#), [JURASSIC KARST](#), [SNO KARST](#), [ZAAJ](#)). In addition, the area was affected by a M_w 4.5 earthquake (Besançon/Roulans, February 23, 2004) and seems to present swarm-like seismicity distribution. The objective is to study the mechanisms triggering the observed seismicity, in particular its potential interaction with the karstic aquifer. This work is based on national and local data already acquired and in the process of being acquired. The thesis will be carried out at the Chrono-environnement laboratory in Besançon, with periods spent at ISTERre in Grenoble.

Préciser le domaine de compétence dans la liste ci-dessous (2 choix possibles maximum – ne pas modifier les intitulés : ils sont imposés par certains sites web) :

Sciences de l'ingénieur
Terre, univers, espace

Mots clés : sismologie, géodésie, hydrogéologie, tectonique, Jura.