

Proposition de sujet de thèse 2026

(A remplir par les équipes d'accueil et à retourner à Isabelle HAMMAD : hammad@cerege.fr
*à renseigner obligatoirement pour la validation du sujet, (1) : A remplir lors de la campagne d'attribution des allocations, à l'issue de la session de juin des Masters

Sujet de doctorat proposé * : Apport des déformations distribuées par fibres optiques à l'analyse des relations entre topologie et évolution poro-plastique des zones de failles – Conséquences sur les couplages entre la nucléation de la rupture sismique et les fluides.

Encadrant(s), nom, prénom, adresse mail * : Guglielmi, Yves, yves.guglielmi@univ-amu.fr

Laboratoire * : CEREGE

Tableau récapitulatif du sujet

Candidat(e)⁽¹⁾	
Nom - Prénom :	
Date de naissance :	
Licence (origine, années, mention) :	
Mention et classement au Master 1 année (Xème sur Y)	
Mention et classement au S3 du Master 2 (Xème sur Y)	
Mention et classement au S4 du Master 2 (Xème sur Y)	
Mention et classement au M2 (année) (Xème sur Y)	
MASTER (nom, université)	
Sujet de doctorat proposé*	Apport des déformations distribuées par fibres optiques à l'analyse des relations entre topologie et évolution poro-plastique des zones de failles – Conséquences sur les couplages entre la nucléation de la rupture sismique et les fluides.
Encadrants (2 max, indiquer si HDR ou pas)*	Yves Guglielmi (HDR) Sophie Viseur (HDR) Co-encadrant aux USA - Stanislav Glubokovskikh (LBNL)
Laboratoire*	CEREGE
Programme finançant la recherche (indiqué si obtenu ou envisagé) (1)	FSB-MtTerri – financement obtenu San Andreas fault project – financement obtenu

Sujet de doctorat proposé*

Intitulé* : Apport des déformations distribuées par fibres optiques à l'analyse des relations entre topologie et évolution poro-plastique des zones de failles – Conséquences sur les couplages entre la nucléation de la rupture sismique et les fluides.

Descriptif*:

La stabilité des failles est essentielle pour comprendre les séismes naturels et anticiper la sismicité induite par les activités humaines, telles que le stockage souterrain et les opérations géothermiques. Au-delà des processus tectoniques ou de ceux induits par les activités humaines, les variations naturelles de pression des fluides dans le sous-sol peuvent également influencer la stabilité des failles et, dans un contexte de changement climatique, ces variations pourraient être exacerbées, en particulier dans les régions où les systèmes hydrologiques et tectoniques sont étroitement couplés. Malgré l'importance de ces processus, l'évolution d'une rupture de faille reste encore mal contrainte. Cette lacune s'explique en grande partie par la difficulté d'observer directement ces phénomènes, qui se développent très rapidement et présentent une forte hétérogénéité spatiale. Leur étude requiert des méthodes de mesure capables de fournir simultanément une résolution temporelle élevée et une résolution spatiale fine.

Dans ce contexte, les technologies de mesure distribuée par fibres optiques représentent aujourd'hui une avancée majeure pour l'observation des déformations dans le sous-sol. Les fibres optiques, installées le long de forages ou en surface, permettent de mesurer en continu des variations de déformation, de température ou encore des vibrations sismiques sur des distances pouvant atteindre plusieurs kilomètres, avec une résolution spatiale de l'ordre du mètre et une résolution temporelle quasi continue. Des techniques telles que le *Distributed Strain Sensing* (DSS) ou le *Distributed Acoustic Sensing* (DAS) offrent ainsi la possibilité de transformer une fibre optique en un réseau dense de capteurs, capable de suivre finement l'évolution des processus géomécaniques dans le sous-sol.

Une faille est une zone épaisse dotée d'une structure interne très complexe, dans laquelle coexistent en trois dimensions de fines zones où l'essentiel du mouvement est localisé (« cœur(s) de faille ») et des zones plus ou moins intensément fracturées (« zones endommagées »). Il n'est pas clair comment la rupture s'initie et se propage entre les différents cœurs et zones endommagées. Mieux comprendre ce lien entre structure interne, circulation des fluides et rupture dynamique des failles constitue un enjeu majeur en sismologie. Ce lien peut conditionner différents types de ruptures — lentes, accélérées, rapides ou spontanées — et entraîner des magnitudes variables de séismes, voire l'absence de séisme. Un moyen de modéliser la structure interne d'une faille est de corrélérer des structures observées, par exemple par forage ou sur des affleurements, en différents points de la zone de faille (approche explicite). Cette approche présuppose un certain nombre d'a priori sur la structure de la faille, comme par exemple le fait de connaître quelles sont les zones de cœur. Une autre approche, moins directive, est l'approche implicite. Les observations, comme c'est souvent le cas, ne permettent pas de déterminer a priori quel est le cœur, combien il y a de cœurs, ni si les cœurs observés en différents points discontinus le long de la faille sont tous des manifestations d'un même cœur. L'approche implicite repose sur une représentation tridimensionnelle scalaire des descripteurs observés et sur un ensemble de contraintes imposées au modèle, avec des poids variables (direction, pendage, épaisseur, connectivité, etc.). La faille est ainsi représentée comme une zone statistiquement probable dans laquelle une structure peut éventuellement être définie comme la plus probable et être ainsi appelée cœur.

Dans cette thèse, nous proposons de développer une nouvelle approche dans laquelle un modèle de zone de faille implicite est contraint par des mesures de déformation distribuées par DAS. Dans un même forage traversant une faille, le lien direct peut être établi entre les structures internes de la zone de faille qui sont activées et les déformations mesurées par DAS. De plus, le DAS permet d'observer les effets de structures actives qu'il recoupe, mais aussi de structures actives plus lointaines. Cela devrait permettre de définir un nouveau type de contrainte implémenté dans l'approche implicite. La finalité est de représenter, par cette approche, la partie active de la faille et d'en discuter les conséquences en termes de sismicité et de circulation des fluides.

La faisabilité de l'approche fait l'objet du stage de master de Emma Lannes (2026), intitulé : « 3D Modeling of Fluid Leakage in a Clay-Rich Fault Zone Using Geological Data, Borehole Imagery, Active Seismic Imaging, and DAS Fiber Optics: A Case Study from the Mont Terri Fault Activation Experiment ». Nous proposons de

généraliser ce travail en associant aux données DAS d'autres mesures directes du glissement et de l'ouverture de la faille, réalisées à l'aide de sondes dédiées appelées SIMFIP et DORSA.

Description du programme de recherche:

Dans cette optique, la doctorante sera impliquée dans les différentes expériences en cours, menées en collaboration avec le Lawrence Berkeley National Laboratory, avec lequel Yves Guglielmi travaille depuis dix ans, et dont elle utilisera la base de données géologiques — soit environ 20 à 30 forages en différents points des failles étudiées, tous équipés de fibres optiques DAS. Ces expériences sont en cours au Mont Terri Underground Rock Laboratory et à Bedretto, en Suisse, ainsi que sur la faille de San Andreas, aux États-Unis.

Cette intégration se fera en utilisant le géomodèleur Aspen Skua afin d'établir un premier lien entre l'architecture des zones de faille et les déformations mesurées. Les données utilisées pour modéliser la géométrie de la zone de faille étant issues de forages, elles restent éparpillées et ne permettent pas d'accéder à la continuité des plans de faille présents dans cette zone. Ainsi, il est envisagé d'utiliser une approche stochastique « implicite », contrainte par les données, pour générer différentes géométries plus ou moins complexes du réseau possible de plans de faille.

La méthode proposée par Fratani (2026), reposant sur une approche de *machine learning*, est envisagée pour générer ces différentes configurations et évaluer leur impact sur le comportement de la faille en réponse à la pression des fluides. Ces modèles pourront être alimentés par différents paramètres, tels que la densité de fractures (Viseur et al., 2021). L'intérêt sera également d'étudier la connectivité entre ces plans, en analysant les variations de topologie du réseau.

Différents travaux ont été appliqués aux réseaux karstiques (Collon et al., 2017 ; Jouvès et al., 2017), mais aussi, de manière plus générale, à l'étude de la connectivité du transport des fluides (Renard et Allard, 2013).

La doctorante développera ensuite différentes pistes pour imager les structures géologiques actives des failles :

- La première approche consiste à coupler les structures géométriques développées dans la suite logicielle Aspen Skua, ainsi que des modules de recherche issus du RING Consortium, à un modèle de dislocation mécanique implémenté sous MATLAB et/ou COMSOL Multiphysics. L'objectif de cette approche directe est de calculer les déformations aux emplacements des forages de surveillance instrumentés avec des systèmes DAS.
- La deuxième approche consiste à utiliser les mesures DAS comme contraintes dans l'approche stochastique implicite de génération du réseau possible de plans de faille. Dans cette approche « indirecte », les déformations DAS, distribuées sur plusieurs forages, sont inversées afin d'informer sur la cinématique de la rupture et son évolution spatio-temporelle. Les premiers essais (Glubokovskikh et al., 2026) montrent qu'il est ainsi possible de définir la localisation et l'orientation du plan de rupture, son évolution spatio-temporelle et le mode de rupture. L'objectif est donc d'utiliser ces informations comme contraintes dans le modèle géologique stochastique de la zone de faille.

Au-delà de l'aspect technique, il s'agit d'explorer l'influence respective des déformations plastiques diffuses et localisées sur la rupture dynamique et l'évolution de la perméabilité d'une zone de faille. L'approche proposée repose sur une méthode innovante, tant par la façon d'utiliser les données DAS que par l'idée du couplage avec une approche géologique stochastique. La richesse de cette approche est garantie par l'accès du doctorant à des jeux de données existants, fortement contraints, car il s'agit de trois des principales expériences d'activation de failles actuellement réalisées à l'échelle mondiale.

Pour le doctorant ou la doctorante, cela offre non seulement l'accès à des données uniques, mais aussi une intégration dans différents groupes de recherche internationaux en mécanique des failles.

Ce travail repose sur une collaboration entre des chercheurs du CEREGE (Yves Guglielmi et Sophie Viseur) et des chercheurs du Lawrence Berkeley National Laboratory (Stanislav Glubokovskikh), aux États-Unis. Sophie Viseur et Yves Guglielmi seront les co-directeurs de cette thèse. Yves Guglielmi apportera son expertise en géomécanique des failles. Sophie Viseur apportera ses compétences en modélisation géologique des objets

complexes, en particulier avec le logiciel Gocad. Stanislav Glubokovskikh est un géophysicien du LBNL, spécialiste des fibres optiques, notamment de l'utilisation du DAS pour explorer les propriétés physiques des roches profondes.

Les trois projets suivants sont tous acceptés et permettront de financer les déplacements, les séjours aux États-Unis ainsi que les divers frais de publication du doctorant. Au total, il s'agit d'environ 110 000 euros sur trois ans de thèse, déjà acquis.

• « **Mont-Terri Fault Slip Experiments** » (2015 – présent), PI : **Yves Guglielmi**. Le budget annuel, rediscuté chaque année avec les partenaires, est d'environ 400 000 euros par an. Ce projet assurera environ 20 000 euros par an pour la thèse, soit 60 000 euros sur trois ans.

• « **Fault Hydrogeological Response to Earthquakes – San Andreas Field Experiments** » (2026 – 2028), PI : **Yves Guglielmi**. Le budget est de 1 300 000 euros sur deux ans. Ce projet assurera environ 50 000 euros sur deux ans pour la thèse.

• **Projet « Fault Activation and Earthquake Rupture » à Bedretto (Suisse) (2024 – 2027), PI : ETH Zurich**. Dans ce cadre, il s'agit principalement d'utiliser des données déjà acquises ; il n'y a pas de financement direct dédié à la thèse.

Références bibliographiques :

Collon, P., Bernasconi, D., Vuilleumier, C., Renard, P. (2017). Statistical metrics for the characterization of karst network geometry and topology, *Geomorphology*, Volume 283, 122-142, ISSN 0169-555X, DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.01.034.

Fratani, A. (2026). Graph machine learning for geological structural interpretation of sparse observations. Thèse INPL, Nancy.

Glubokovskikh, S., Guglielmi, Y., Cook, P., Robertson, M., Hopp, C., Soom, F., Rodriguez Tribaldos, V., Rinaldi, A. (2026). Tracking Rupture Partitioning in a Caprock Analogue Fault Zone with a Downhole Full-Strain Analyzer and Optical Fibers. American Rock Mechanics Association, ARMA conference, 21-24 June 2026, Tucson, Arizona, Paper ARMA 25-0849.

Jouves, J., Viseur, S., Arfib, B., Baudement, C., Camus, A., et al. (2017) Speleogenesis, geometry, and topology of caves: A quantitative study of 3D karst conduits. *Geomorphology*, 298, pp.86-106. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.09.019.

Renard, P., Allard, D. (2013). Connectivity metrics for subsurface flow and transport, *Advances in Water Resources*, 51, 168-196, ISSN 0309-1708, DOI: 10.1016/j.advwatres.2011.12.001.

Directeur(s) de thèse proposé(s)*

(limiter au plus à deux personnes principales, dont au moins une titulaire de l'HDR)

Directeur HDR proposé*

Nom - Prénom : Guglielmi Yves

Corps : Professeur PR2

Laboratoire (i.e. formation contractualisée de rattachement, éventuellement équipe au sein de cette formation) : CEREGE

Adresse mail : guglielmi@cerege.fr

Choix de cinq publications récentes (souligner éventuellement les étudiants dirigés co-signataires) :

Cappa, F., Guglielmi, Y., Nussbaum, C., De Barros, L., Birkholzer, J. (2022). Decoupling between slip and opening drives high-pressure fluid migration in shale faults. *Nature Geoscience*.

De Barros, L. Guglielmi, Y., Cappa, F., Nussbaum, C., Birkholzer, J. (2023). Induced microseismicity and tremor signatures illuminate different slip behaviours in a natural shale fault reactivated by a fluid pressure stimulation (Mont Terri). *Geophysical Journal International*, 235-1, 531-541.

Guglielmi, Y., Cappa, F., Shadoan, T., Ajo-Franklin, J., Soom, F., Lanyon, B., et al. (2025). Control mechanisms for self-sealing in activated clay-rich faults through controlled hydraulic injection experiment. *Water Resources Research*, 61, e2024WR037595.

Shadoan, T. A. Ajo-Franklin, J. B., Guglielmi, Y., Wood, T., Robertson, M., Cook, P., Soom, F., Daley, T. M., Hopp, C., Rodriguez Tribaldos, V., Birkholzer, J., Marchesini, P., Nussbaum, C. (2023). Active-Source Seismic Imaging of Fault Re-Activation and Leakage: An Injection Experiment at the Mt Terri Rock Laboratory, Switzerland. *Geophysical Research Letters* 50 (23), e2023GL104080.

Tribaldos, V. R., Hopp, C., Rinaldi, A. P., Tuinstra, K. B., Lanza, F., Ajo-Franklin, J., Kneafsey, T., Robertson, M., Guglielmi, Y., Zappone, A. (2024). Use of Distributed Acoustic Sensing and Distributed Strain Sensing Technologies for Geomechanical Characterization of Rock Mass Response in Mesoscale Experiments in Underground laboratories. *Distributed Acoustic Sensing in Borehole Geophysics*, 549-578, John Wiley & Sons, Inc.

Thèses encadrées ou co-encadrées au cours des quatre dernières années*

Aucune thèse encadrée, Yves Guglielmi est de retour au CEREGE après 10 ans de disponibilité au Lawrence Berkeley National Laboratoire (Berkeley, CA, USA). Au Laboratoire de Berkeley, le statut ne permettait pas d'encadrer de thèses. Néanmoins, Yves Guglielmi supervisait environ 2 post-doctorants/an.

Autre directeur proposé (éventuellement)*

Nom - Prénom : Viseur Sophie

Corps : IR HC

Adresse mail : viseur@cerege.fr

Laboratoire (i.e. formation contractualisée de rattachement, éventuellement équipe au sein de cette formation) :

Choix de cinq publications récentes (souligner éventuellement les étudiants dirigés co-signataires) :

Namongo Soro, P. J., Lamarche, J., Viseur, S., Richard, P., Messaadi, F. (2024). FracAbut: A python toolbox for computing fracture stratigraphy using interface impedance. *Computers & Geosciences*, 2024, 190, pp.105656. DOI: 10.1016/j.cageo.2024.105656).

Frantz, Y., Collon, P., Renard, P., Viseur, S. (2021). Analysis and stochastic simulation of geometrical properties of conduits in karstic networks. *Geomorphology*, 377, pp.107480. DOI : 10.1016/j.geomorph.2020.107480.

Roemers-Oliveira, E., Fournier, F., Viseur, S., Pederneiras Raja Gabaglia, G., Fleury, J., et al. (2024). The anatomy and stacking pattern of palustrine-dominated carbonate sequences from the Cengle Plateau, Paleocene, SE France: A multi-scalar approach. *Sedimentary Geology*, 2024, 470, pp.106690. DOI : 10.1016/j.sedgeo.2024.106690.

Roemers-Oliveira, E., Viseur, S., Fournier, F., Gomes Gonçalves, I., Guadagnin, F. et al. (2026). Advanced digital techniques applied to outcrop models: Integrating Local Binary Pattern (LBP) and Convolutional Neural Network (CNN) to support stratigraphic and sedimentological interpretation of reservoir analogs in the Salta Basin, Argentina. *Marine and Petroleum Geology*, 2026, 183, pp.107623. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2025.107623).

Viseur, S., Lamarche, J., Akriche, C., Chatelée, S., Mouketo, M. M., et al. (2021). Accurate Computation of Fracture Density Variations: A New Approach Tested on Fracture Corridors. *Mathematical Geosciences*, 2021, 53 (6), pp.1339-1354. DOI: 10.1007/s11004-020-09903-z.

Thèses encadrées ou co-encadrées au cours des quatre dernières années*

Nom : Samantha Thiele

Intitulé : Recalage, segmentation et enrichissement collaboratif de données 3D - Application aux modèles géométriques de bâtiments

Type d'allocation : bourse CISAM+

Date de début de l'allocation de doctorat : 2025

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : -

Programme finançant la recherche : CISAM+, autres projets

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) :

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 50%

Nom : Eduardo Roemers de Oliveira

Intitulé : Détection et analyse quantitative de corps géologiques à partir de modèles numériques d'affleurements : applications à la modélisation d'analogues de gisements de pétrole et gaz.

Type d'allocation : bourse PETROBRAS

Date de début de l'allocation de doctorat : 2021

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 11 décembre 2025

Programme finançant la recherche : projet avec PETROBRAS

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : agent de PETROBRAS

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 50%