

Projet de Recherche Doctoral - Appel à projets 2026 - Institut de l'Océan
« Facteurs de causalité des glissements sous-marins et leur impact tsunamigénique : de la modélisation géologique, l'analyse mécanique aux simulations numériques »

Equipe encadrante : Sara Lafuerza (HDR, Institut des Sciences de la Terre, ISTE_P) et Nina Aguilon (Laboratoire Jacques Louis Lions, LJLL)

Collaboration Alliance Sorbonne : Nadaya Cubas (ISTE_P) ; Jacques Sainte-Marie (LJLL)

Collaboration externe : Anne Mangeney (Institut de Physique du Globe de Paris)

1) Contexte scientifique, caractère innovant et valeur ajoutée

Dans les fonds marins, les glissements se produisent lorsque la couverture sédimentaire se déstabilise, subissant une rupture mécanique et se déplaçant sous l'effet de la gravité vers l'aval de la pente. Contrairement à leurs homologues terrestres, les glissements sous-marins sont moins faciles à détecter parce qu'ils sont immergés et souvent loin des zones peuplées, leur activité est donc rarement enregistrée. La plupart des exemples historiques correspondent à des glissements « détectables », c'est-à-dire, suffisamment volumineux pour entraîner la rupture de câbles et avoir un potentiel tsunamigénique dévastateur. Ce projet de thèse vise à **quantifier les facteurs de causalité des glissements sous-marins**, ainsi que leur impact tsunamigénique transfrontalier.

Le projet s'inscrit dans la continuité de trois projets complémentaires qui n'ont pas bénéficié de contrat doctoral : CNRS/IRD MITI ALARM et l'ANR ALBAMAR et l'ANR MEGA, consacrés à la compréhension des phénomènes à l'origine des glissements sous-marins observés sur le fond marin et les enregistrements sédimentaires quaternaires. Les résultats de ces projets ont permis de proposer des scénarios à l'initiation de ces phénomènes et d'identifier leur risque associé à l'échelle d'un bassin océanique comme Alboran (Basquin et al., 2023 ; Lafuerza et al., soumis). Néanmoins, aucune modélisation mécanique robuste quantitative qui explique leur initiation a été réalisée. Le projet doctoral bénéficie de données de terrain acquises lors des campagnes océanographiques Albacore (mer d'Alboran ; portée par l'ISTE_P, <https://doi.org/10.17600/18001351>) et Amarillys-Amagas (marge Guyane et Amazone ; <https://doi.org/10.17600/18003360>).

L'originalité du projet repose sur le couplage entre mesures (mécaniques) in situ, analyses sédimentaires détaillées et simulations numériques avancées ainsi que la volonté de passer d'une approche qualitative à une modélisation quantitative intégrée (rupture et post-rupture) de ces phénomènes. Ce travail s'inscrit pleinement dans l'étude des risques naturels marins en adéquation avec l'axe du baromètre starfish 4 « impactes sociétaux » (cf. troisième conférence de l'UNOC) et favorise des synergies fortes entre géologie, géomécanique, géophysique et modélisation mathématique. L'encadrement associe l'ISTE_P (géosciences) et le laboratoire Jacques-Louis Lions (modélisation mathématique) en collaboration avec l'IPGP (dynamique gravitaire), assurant une dimension interdisciplinaire structurante.

2) Problématique scientifique

Les glissements sous-marins peuvent être liés à la sismicité, l'activité volcanique, des variations eustatiques et climatiques, des apports sédimentaires importants et la présence de sédiments de résistance faible et de pressions interstitielles dépassant l'hydrostatique. Ces processus agissent via la réduction de la contrainte, et la présence de niveaux mécaniquement faibles favorisant la rupture et l'initiation de la rupture. Cependant, peu d'études ont réellement quantifié la contribution relative de ces facteurs à partir de la modélisation. Trois questions majeures émergent : (i) *Peut-on établir un modèle quantitatif intégrant l'ensemble des facteurs prédisposants et mécanismes déclenchants selon le contexte géodynamique ?* (ii) *Les facteurs de longue durée (climat, sédimentation, circulation de fluides et dynamique océanique) peuvent-ils expliquer le déclenchement de glissements sans déclencheur rapide comme un séisme ?* (iii) *Quelle est la vitesse d'un glissement sous-marin et quel est son impact tsunamigénique ?*

La thèse aborde ces questions via l'étude comparative de contextes géologiques contrastés : le bassin d'Alboran, la marge Guyanaise et éventail sous-marin de l'Amazone. Le bassin d'Alboran (Méditerranée occidentale) correspond à une marge active à sismicité modérée ($M_w < 6,4$) où les glissements sous-marins ne sont pas corrélés spatialement avec la sismicité. En revanche, ils se concentrent dans des zones caractérisées par des accumulations sédimentaires épaisses et rapides (jusqu'à 30 cm/mil ans) et la présence de fluides identifiées à partir des mesures in-situ et images bathymétriques acquises lors de la mission Albacore. Des datations préliminaires suggèrent que plusieurs glissements se sont déclenchés en peu de temps (quelques centaines d'années) à la fin de

la période humide Africaine (il y a 5 mil ans environ), période de changements climatiques (Lafuerza et al., soumis). Ces observations soulèvent l'hypothèse d'un contrôle climatique indirect qui est combiné à la sismicité, via les variations de circulation océanique, de sédimentation et de circulation de fluides, sur la stabilité des pentes. L'éventail sous-marin de l'Amazonie et son extension septentrional au large de la marge Guyanaise constitue l'une des plus grandes accumulations terrigènes actuelles. Les apports massifs en matière organique et leur enfouissement rapide favorisent la production de méthane en profondeur. La migration ascendante de fluides, fortement contrôlée par l'eustatisme et les variations de température de l'océan génère des conditions propices au déclenchement de glissements très volumineux comme ceux observés aujourd'hui sur le fond (> 1000 km³) (Ketzer et al., 2023). Le potentiel tsunamigénique des écoulements associés au déplacement de ces glissements sur le fond marin n'est pas encore connu. Néanmoins, il pourrait être très dévastateur à l'échelle de tout l'Atlantique central.

A partir des exemples de glissements sous-marins observés dans ces deux contextes, la modélisation numérique des écoulements à surface libre sera réalisée. Ces modélisations, en présence de rhéologies complexes (comme les argiles marines) tels qu'envisagés dans cette thèse, nécessitent des schémas satisfaisant des propriétés de stabilité et de précision (Allgeyer et al., 2019, Boittin et al. 2024). Mais de tels modèles, confrontés et validés grâce à des données de terrain peuvent permettre de tester de nombreuses hypothèses et construire des scénarios réalistes.

3) Objectifs scientifiques

Le projet s'articule autour de trois objectifs : **O1.** Quantifier les facteurs prédisposants et potentiels mécanismes déclencheurs de glissements dans les contextes choisis. **O2.** Élaborer un modèle quantitatif intégré de stabilité de pente applicable à différents contextes géodynamiques. **O3.** Évaluer le potentiel tsunamigénique des glissements investigués et évaluer leur différence selon les contextes.

4) Méthodologie, verrous et programme de travail

Les verrous scientifiques que le projet soulèvera incluent la rareté des données mécaniques in situ en milieu profond (cf. mission Albacore) et la difficulté de coupler données géologiques, géo-mécaniques avec la modélisation numérique et le développement de solutions numériques (cf. couplage des codes utilisés, voir plus bas). D'autre part, le projet s'intéresse à s'affranchir des incertitudes chronostratigraphiques que représentent étudier des événements de glissement passés. La méthodologie envisagée se repose sur trois axes de travail : **Axe 1 – Caractérisation et modélisation géomécanique** de séries sédimentaires intégrant des mesures in-situ (PENFELD, système de piezocone) et mesures en laboratoire (résistance, cohésion, friction, densité, viscosité... issues des mesures sur des carottes, avec des essais au rhéomètre et triaxiaux-déjà réalisés-). Ce premier axe permettra d'identifier les scénarios potentiels (facteurs prédisposants et mécanismes déclenchants) à étudier (Année 1). **Axe 2 – Simulations numériques de l'initiation de la rupture.** En se basant sur des codes existants (OPTUM GX-analyse limite, disponible au laboratoire d'accueil), le projet de thèse explorera les conditions limites qui expliquent l'initiation de la rupture pour les modèles géomécaniques issus de l'Axe 1 (Année 1 et 2). **Axe 3 – Modélisation de la dynamique des glissements et de l'impact tsunamigénique.** Le couplage du code Shaltop (Mangeney et al., 2007) pour simuler les glissements sédimentaires et du code Freshkiss pour modéliser le risque tsunamigénique a été réalisé par l'équipe encadrante dans le cadre du projet CNRS/MITI ALARM. Il sera adapté pour simuler les scénarios envisagés (Année 3).

5) Faisabilité et moyens mis en œuvre

Le projet se base sur des données existantes pour la réalisation de l'Axe 1, et des codes pour réaliser les Axes 2 et 3. De ce point de vue, le projet est à faible risque. La thèse s'intègre dans des projets en cours disposant de financements pour la première année de thèse. Les crédits internes à l'ISTeP permettront de couvrir les faibles dépenses liées à la participation de conférences et frais de publication non-couverts par la bourse de thèse.

6) Références

- Allgeyer et al. (2019). *Mathematical Modelling and Numerical Analysis*. <https://doi.org/10.1051/m2an/2019044>
- Basquin et al. (2023). *Natural Hazards Research*, 2023, (10.1016/j.nhres.2023.06.002)
- Boittin et al. (2024). *Communications in Mathematical Sciences*, 2023, ff10.4310/CMS.2023.v21.n1.a7ff. fffhal-02510711v3f
- Ketzer et al. (2023). *Sci Rep* 13, 4590 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31815-1>
- Lafuerza et al. *Soumis à Geology* (Février 2026)
- Mangeney et al. (2007). *Journal of Geophysical Research* 112 F02017