



**Proposition d'un contrat doctoral attribué
par la Région Normandie (50 %) et par le BRGM (50 %)**

**Modélisation numérique et multi-échelles des falaises des Vaches Noires (Normandie)
Projet MOUGLI**

Directeur de thèse : Olivier Maquaire (LETG-Caen Géophen, UMR 6554 CNRS)

Co-directeur de thèse : Yannick Thiery (BRGM, Orléans)

1. Description du projet de thèse

Contexte

Les falaises des Vaches Noires constituent un secteur fortement actif en Normandie. Ces dernières constituent un paysage de badlands à l'aspect ruiniforme unique sur le littoral français. Sur une bande littorale de 4,5 kms, les falaises évoluent sous l'action de processus subaériens et marins. Des glissements de blocs calcaires/crayeux se produisent sur la partie amont des falaises. A l'aval, la morphologie chaotique est affectée par des coulées boueuses argileuses actives aux dynamiques et aux modalités d'extension diverses. L'escarpement basal est battu par les houles en période de vives eaux. Ce dernier connaît des phases d'accumulation de matériaux par apport amont des coulées boueuses et des phases d'érosion lors de grandes marées, enlevant les matériaux écoulés sur l'estran.

Les falaises des Vaches Noires sont suivies depuis septembre 2014 au droit d'un secteur de coulées boueuses argileuses actives à l'ouest de Villers-sur-Mer dans le cadre du service national d'observation DYNALIT¹ et dans le cadre de la thèse de doctorat de Thomas ROULLAND (soutenance prévue en novembre 2020). Dans le cadre de cette thèse, du projet RIN TELEDETAC (2018-2019) et de l'ANR RICOCHET (2017-2021), les reconnaissances géotechniques, géophysiques et hydrologiques et le suivi régulier par TLS et photogrammétrie de type SfM (Medjkane et al., 2018²) ainsi que le suivi des variations piézométriques et climatiques (Roulland et al., 2019³) permettent de mieux connaître les modalités d'évolution des falaises des Vaches Noires à différentes échelles spatio-temporelles sur (1) la succession des différents processus hydrogravitaires, de l'amont à l'aval du versant, (2) les volumes transitant dans les différents bassins-versants selon les conditions hydro-climatiques et les particularités locales (présence ou absence d'une source à l'amont), (3) le déclenchement et la propagation des coulées ainsi que des seuils de mise en mouvement ; (4) l'influence des actions marines dans le recul du pied de falaise.

¹ SNO DYNALIT (Service National d'Observation) : <http://www.dynalit.fr>

² Medjkane M., Maquaire O., Costa S., Roulland T., Letortu P., Fauchard C., Antoine R., Davidson R. (2018). High-resolution monitoring of complex coastal morphology changes: cross-efficiency of SfM and TLS-based survey (Vaches-Noires cliffs, Normandy, France). *Landslides*, 15(6):1097-1108.

³ Roulland T., Maquaire O., Costa S., Compain V., Davidson R., Medjkane M. (2019). Dynamique des falaises des Vaches Noires : analyse diachronique historique et récente à l'aide de documents multi-sources (Normandie, France). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 25(1):37-55

Objectifs et méthodologie

La thèse a pour objectif de mieux comprendre les **interactions fluide-solide et vice versa** dans la prise en compte de l'initiation et de la propagation des matériaux pour les glissement-coulées à contrôle hydro-gravitaire. Il s'agira de modéliser le comportement cinématique des glissements évoluant en coulées boueuses des vaches Noires en relation avec le régime hydrologique pour quantifier l'effet des pressions interstitielles (engendrant des phases d'accélération) et préciser l'influence de la rhéologie viscoplastique sur le comportement des coulées. Des approches complémentaires de modélisation seront développées dans ce travail pour prédire (i) l'évolution de glissements et de coulées argileuses pendant les phases d'accélération contrôlées principalement par les variations de pressions interstitielles et (ii) l'évolution à plus long terme en tenant compte du comportement visqueux du matériau.

Description du travail de thèse

Fondé sur des séries d'observation et de mesures de terrain acquises depuis six années, il s'agira de **développer et d'adapter d'une chaîne de modélisation numérique multi-échelles** (de l'échelle du grain à l'échelle du versant) tenant compte de ces changements d'état et de comportements des matériaux dans l'espace et le temps de l'amont à l'aval des falaises, de l'initiation à la propagation (transition solide, élasto-plastique, viscoélastique, visco-élastoplastique).

Plusieurs solutions seront testées allant de solutions commerciales éprouvées (ITASCA, Flac 2D, 3D) à des solutions expérimentales en cours de développement (modèles H, double SPH, SPRFM). Ces solutions demandent encore des phases de tests sur des événements bien identifiés bénéficiant d'une connaissance avancée sur les processus d'initiation et de propagation (ce qui est le cas des falaises des Vaches Noires).

Ainsi, dans un premier temps **l'initiation des déstabilisations** sera réalisée sous FLAC 2D (modèle utilisant la méthode des différences finies) qui permet par différentes lois de comportement de modéliser des grands déplacements, avec des comportements fortement non-linéaires. Les conditions d'initiation (i.e. forçages météorologiques, précipitations) seront analysées et l'influence de ces dernières (intensité, volume précipités) seront introduits dans un code spécifique afin de tenir compte de la saturation de matériaux selon des seuils identifiés. Une fois identifiés, le degré de saturation correspondant à ces seuils observés seront introduits dans FLAC afin de caler convenablement la phase d'initiation. Différentes lois de comportement seront testées afin de définir la plus adaptée à la problématique de la thèse. Les résultats seront comparés aux observations de terrain.

Une fois la (les) phase(s) de déstabilisation calculées et les volumes déstabilisés définis, seront engagés **les simulations des différentes propagations des matériaux mobilisés**. De manière générale, la simulation numérique des propagations de glissements sont réalisées par des approches considérant le milieu comme granulaire. Par exemple les modèles 'shallow water' tel que SHALTOP reproduisent de manière fidèle les enveloppes, les vitesses et l'épaisseur des matériaux déplacés. Toutefois, la propagation des glissements évoluant en coulées argileuses comportent une fraction liquide non négligeable qui rend l'utilisation de ce type de solution difficile voire impossible. Ainsi, il est nécessaire de développer de nouveaux codes tenant compte (i) de la nature hétérogène des matériaux qui est souvent non continue et (ii) de l'interaction avec l'eau qui modifie les comportements dans le temps et l'espace de ces derniers (augmentation des pressions interstitielles, diminution de la cohésion entre particules etc.). Actuellement de nouveaux codes de propagation comme les modèles H, double SPH et SPRFM développés dans le cadre du GDRI GEOMECH dont fait partie le BRGM tiennent compte de ces contraintes mais souffrent de ne pas être testés sur des processus naturels. Ainsi, ils seront utilisés et comparés pour modéliser la propagation des glissements évoluant en coulées argileuses des Vaches Noires. Si cela s'avère nécessaire des ajustements seront réalisés sur les codes afin de les améliorer. Comme pour la phase 1, les observations de terrain permettront de valider les simulations (comparaison des volumes déplacés, vitesse, épaisseur des matériaux, enveloppe spatiale).

Enfin, les phases 1 et 2 calées sur des évènements connus, permettront de se focaliser sur des scénarios tenant compte de changement à la fois des régimes pluviométriques et de l'influence du niveau de la mer incluant les effets de la houle sur les glissement-coulées des Vaches Noires. Cette approche tenant compte des derniers travaux menés (GIEC, 2019 ; IPCC, 2019) permettra d'améliorer la connaissance des aléas (intensité, occurrence spatiale et temporelle) et dans une perspective de prévention en aidant à mieux définir des secteurs à 'risques'.

Cette modélisation par étapes successives et chaîne de traitement par différents codes doit pouvoir s'appuyer sur une bonne connaissance des comportements des matériaux argilo-marneux. Cette thèse comportera donc également un **volet « expérimentation en laboratoire »** qui sera engagé en début de thèse sur une durée estimée au plus à 6 mois. Il s'agira d'analyser les résultats déjà obtenus grâce à de nombreux essais réalisés et au besoin réaliser quelques essais complémentaires par (1) essais d'affaissement (ou « slump test ») sur la fraction < à 400 µm ; (2) essais sur plan incliné sur la fraction < 20 mm ; (3) essais à l'aide d'un rhéomètre plan – plan et coaxial sur la fraction < 400 µm.

Perspectives et résultats attendus :

Le projet présenté ci-dessus s'insère pleinement dans ces nouveaux défis pour l'action publique territoriale, marqués par la volonté de « limiter les impacts du Changement climatique et d'en maximiser les effets bénéfiques » (ADEME, 2018) en permettant d'améliorer la connaissance des aléas et de leurs cartographies dans le cadre de la réalisation ou de la mise à jour de cartographie réglementaire des risques (PPR) en participant à la réduction des incertitudes dans le domaine du comportement des systèmes complexes (falaises littorales).

Les résultats attendus sont à la fois d'ordre méthodologique à travers le développement de nouveaux outils d'analyse des instabilités gravitaires à travers une chaîne de modélisation numérique multi-échelles et d'ordre thématique pour une meilleure compréhension du fonctionnement de ces milieux complexes, à savoir :

- (1) la détermination du poids respectif des différents facteurs de déclenchement (forçages),
- (2) la vérification de l'influence de différents scénarios de changement climatique (augmentation de l'action des houles en pied de versant liée à l'élévation du niveau marin, modification des évènements pluviométriques en terme de quantité et d'intensité).

Le projet de thèse bénéficie du soutien du GDRI GEOMECH.

2. Expérience et formation souhaitées du candidat

Le candidat pourra être titulaire d'un master Recherche en géosciences, en sciences de la terre ou d'un master en géographie physique, ou de tous diplômes équivalents. En dehors, de compétences générales sur le fonctionnement des milieux littoraux et des aléas hydro-gravitaires, il devra avoir une solide expérience dans le traitement de données sous logiciels dédiés ou sous MATLAB, Python ou R, dans la modélisation géomécanique et spatialisée sous SIG. Des connaissances des traitements statistiques seraient très fortement appréciées.

3. Modalités de candidature

Envoyer pour le **vendredi 17 juillet 2020 au plus tard** à Olivier MAQUAIRE (olivier.maquaire@unicaen.fr) et à Yannick THIERY (Y.Thiery@brgm.fr) un dossier composé d'un CV, d'une lettre de motivation, des photocopies des diplômes et des relevés de notes, accompagné de toute production individuelle (mémoire de recherche, rapport, article scientifique, etc.).

Les candidats présélectionnés (titulaires d'un master 2) seront auditionnés par l'école doctorale ED 556 HSRT durant la première quinzaine de septembre (la date exacte sera communiquée ultérieurement par email aux candidats présélectionnés).

Début du contrat : le 1^{er} octobre 2020.

Durée du contrat : 36 mois

Lieu de travail : Université de Caen-Normandie, LETG-Caen. Des séjours de courtes durées seront à prévoir au BRGM Orléans.

4. Contact

Directeur de thèse : MAQUAIRE Olivier

Courriel : olivier.maquaire@unicaen.fr

Tél. : 06 87 82 97 09

Co-directeur de thèse : THIERY Yannick

Courriel : Y.Thiery@brgm.fr

Tél. : 06 77 97 50 57