

## Webinaire « Doctorants en géotechnique »

1<sup>er</sup> juillet 2021 de 10h30 à 12h30

### Programme

Le Comité Français de Mécanique des Sols et de Géotechnique (CFMS) a décidé d'initier, à partir de 2021, une série de webinaires pour permettre aux doctorants de présenter leurs travaux de recherche en cours. Ces webinaires doivent être un moment de partage privilégié, qui permette aux doctorants d'échanger avec la communauté du CFMS sur leur thématique de recherche. Ces webinaires doivent permettre de favoriser les relations entre les doctorants et les membres du CFMS.

Chaque présentation durera 15 minutes et sera suivie d'un échange de 5 minutes avec les auditeurs.

### Programme

Créneau horaire	Doctorant	Sujet de thèse
10h30 – 10h50	<b>Luc Simonin</b> Université d'Oxford	Hysand : un modèle constitutif pour les sables sous chargement cyclique formulé en Hyperplasticité
10h50 – 11h10	<b>Quoc-Hung Vu</b> Ecole des Ponts	Les effets de la teneur en fines sur les comportements hydro-thermique des sols sableux dans le contexte de la congélation artificielle du sol
11h10 – 11h30	<b>Nadine Ali Hassan</b> Université de Nantes	Étude expérimentale et numérique de l'effet de l'écrêtage sur le comportement mécanique des sols grossiers
11h30 – 11h50	<b>Maatouk Semaan</b> Université Gustave Eiffel	Modélisation en centrifugeuse de mode d'installations des monopieux d'éolienne offshore
11h50 – 12h10	<b>Lucie Guillen</b> Université de Pau et des Pays de l'Adour & BRGM	Recul des falaises rocheuses en pays basque par processus gravitaires et hydro-gravitaires. Identification, analyses et modélisation numérique
12h10 – 12h30	<b>Adnan Sahyouni</b> Ménard & Insa Lyon	Fondations d'éoliennes durables et REpowering

## Luc Simonin

Démarrage de la thèse : octobre 2018

Hysand : un modèle constitutif pour les sables sous chargement cyclique formulé en Hyperplasticité

Encadrants : Byron Byrne et Guy Houlsby (Université d'Oxford)

### Résumé

Le projet PISA a permis de mieux dimensionner les monopieux d'éolienne offshore au chargement monotone. Le chargement cyclique devient alors le chargement limitant du dimensionnement des fondations. Le projet PICASO adresse le chargement cyclique pour les argiles et les sables à la manière du projet PISA : des essais à échelle médiane (monopieux de diamètre de l'ordre du mètre), des modélisations tridimensionnelles aux éléments finis avec des modèles de sol adaptés et des essais en laboratoire. Le projet PICASO vise ainsi à proposer une méthode de dimensionnement adaptée à l'industrie. Au sein du projet PICASO, ce projet de thèse s'intéresse à la modélisation théorique du comportement des sables. Pour les sables, les modèles constitutifs existants ne sont pas satisfaisants pour des phénomènes cycliques (qualité de modélisation et/ou formulation). Un nouveau modèle, Hysand, est en développement en se basant sur les observations d'une large base de tests cycliques, drainés et non drainés, symétriques et asymétriques, avec ou sans pré-chargement. Le cadre théorique utilisé pour Hysand est l'Hyperplasticité, plasticité dérivée de la thermodynamique (semblable aux Matériaux Standards Généralisés), afin de garantir un respect de principes physiques de base, une structure simple et systématique, et une robustesse mathématique et numérique.

La présentation s'attachera à mettre en valeur des observations sur des tests triaxiaux, et l'adéquation du modèle Hysand pour les modéliser, ceci via une construction simple et progressive.

## Quoc-Hung Vu

Démarrage de la thèse : octobre 2019

Les effets de la teneur en fines sur les comportements hydro-thermique des sols sableux dans le contexte de la congélation artificielle du sol

Encadrants : Anh-Minh TANG et Jean-Michel Pereira (ENPC)

### Résumé

Dans le cadre des travaux pour la construction des ouvrages souterrains (creusement de fouilles, de puits ou de galeries), la congélation des terrains est un procédé qui vise à améliorer les propriétés mécaniques et hydrauliques du terrain d'une manière provisoirement. Le principe du procédé consiste à : (i) exécuter les sondages encaissant l'ouvrage à construire, (ii) mettre en place les tubes réfrigérants, (iii) mettre en circulation d'un liquide à basse température pour congeler les couches autour des sondes et obtenir une paroi de terrain gelé, dur et imperméable, (iv) maintenir cette paroi durant les travaux de génie civil. Dans la littérature, il n'y a pas encore de recherches concernant directement l'effet de la teneur en fines sur les comportements de sols gelés, surtout dans le contexte de la technique de congélation. Pourtant, par exemple, dans le cadre Projet du Grand Paris, des sables de Beauchamps contiennent des teneurs en fines (particules de taille inférieure à 70 micron) qui varient entre 10% à 40%. L'objectif de la thèse est d'étudier des effets de la teneur en fines sur des propriétés thermiques et hydrauliques de sols congelés.

La thèse est composée de deux parties principales : (i) l'étude expérimentale sur des propriétés thermiques et hydrauliques des sols congelés, (ii) la modélisation numérique des comportements thermo-hydrauliques des sols congelés.

Les premiers essais réalisés en laboratoire ont mis en évidence l'effet de la teneur en fines sur des propriétés thermiques (comportement du sol au gel/dégel, température de gel, température de nucléation, la conductivité thermique, etc). Ces travaux seront poursuivis par des modélisations physiques pour étudier l'effet de la teneur en fines sur l'échantéité d'une paroi de sols congelés.

Les effets de la teneur en fine sur des propriétés thermiques, observés en laboratoire, seront intégrés en suite dans un code calcul par la méthode des éléments finis avec des couplages thermo-hydrauliques. Ce code sera ensuite validé par des expérimentations en modélisation physique. Finalement, après la validation, ce code sera utilisé pour prédire le comportement du terrain soumis à la technique de congélation en vraie échelle. Les résultats permettront d'optimiser l'utilisation de cette technique dans la pratique.

**Nadine Ali Hassan**

Démarrage de la thèse : octobre 2018  
Étude expérimentale et numérique de l'effet de l'écrêtage sur le comportement mécanique des sols grossiers  
Encadrants : Didier MAROT, Ngoc Son NGUYEN, Fateh BENDAHDANE (Université de Nantes - IUT de Saint Nazaire)

### Résumé

Les sols grossiers sont des matériaux naturels souvent utilisés pour la construction de barrages, digues, talus et remblais. Ils sont caractérisés par la présence d'une large gamme de diamètres de grains, de quelques microns à plusieurs décimètres. La caractérisation mécanique de ces sols à l'aide des dispositifs classiques de laboratoire est difficile à réaliser, à cause de la présence des éléments de grande taille qui peut perturber voire empêcher la réalisation des essais. Aussi est-il nécessaire de retirer du sol toutes les particules grossières suivant l'une des deux méthodes couramment utilisées. La première méthode, l'écrêtage simple consiste à retirer du sol toutes les particules plus grosses que le diamètre admissible vis-à-vis du dispositif utilisé. La seconde méthode, la substitution consiste à retirer ces mêmes particules grossières puis de les remplacer par une masse égale de particules de taille plus petite. L'objectif de notre travail est de mieux comprendre les conséquences de ces deux techniques sur le comportement mécanique des sols et de définir une procédure expérimentale permettant de minimiser l'effet de l'écrêtage. Suivant cet objectif, plusieurs séries d'essais sont réalisées à l'aide de dispositifs triaxiaux de différents diamètres  $\Phi 50$  mm,  $\Phi 100$  mm,  $\Phi 200$  mm et  $\Phi 300$  mm disponibles au sein de l'équipe IEG de l'Institut GeM. Les sols testés sont non cohésifs et de distributions granulométriques lacunaires. La fraction fine est composée de sable ou de billes de verre et la fraction grossière est constituée de différents types de gravier. Les deux méthodes d'écrêtage susmentionnées sont utilisées pour ces sols. L'interprétation des essais réalisés met en exergue l'influence de plusieurs facteurs sur les propriétés mécaniques des sols écrêtés et substitués en comparaison avec celles des sols non écrêtés, notamment : le paramètre choisi pour contrôler la densité des échantillons, la teneur en fine et la résistance mécanique des particules fines et grossières. Les résultats obtenus montrent également que selon la teneur en fines du sol et le paramètre choisi pour le contrôle de densité, la méthode d'écrêtage simple induit une sous-estimation, ou une surestimation de la résistance au cisaillement. Enfin, les conséquences de la méthode de substitution dépendent largement du rapport entre le diamètre maximal des particules et le diamètre d'écrêtage, ainsi que du choix du matériau de substitution utilisé.

## Maatouk Semaan

Démarrage de la thèse : octobre 2019  
Modélisation en centrifugeuse de mode d'installations des monopieux d'éolienne offshore  
Encadrants : Matthieu Blanc, Luc Thorel (Université Gustave Eiffel)

### Résumé

Les parcs éoliens offshore sont en développement depuis les années 90 pour produire de l'électricité. Dans les eaux côtières peu profondes, les fondations de type "monopieu" sont à ce jour la solution de fondation privilégiée pour ces éoliennes posées. Ces monopieux sont des tubes ouverts en acier de diamètre pluri métrique, souvent installés par battage dans des sables denses. Au cours de l'exploitation des éoliennes, les monopieux sont soumis à des chargements horizontaux dus aux vents, aux courants et aux vagues. Cependant, à ce jour, il n'existe pas de norme prenant en compte les effets de l'installation sur la conception des monopieux chargés latéralement. C'est pourquoi un dispositif expérimental (Figure 1) embarqué en centrifugeuse a été conçu pour étudier la réponse horizontale d'un monopieu à l'échelle 1/100 (prototype de 5 m de diamètre) battu dans du sable dense saturé (Maatouk et al., 2020). Ce dispositif permet de combiner, en centrifugeuse à 100xg, l'installation d'un monopieu modèle instrumenté de 50 mm de diamètre jusqu'à une profondeur maximale de 250 mm, en utilisant un marteau électromécanique, puis de charger horizontalement.

Deux aspects seront particulièrement développés. La première thématique concerne l'impact de l'installation par battage sur le comportement horizontal du monopieu. Les réponses horizontales, globales et locales, sont étudiées pour deux méthodes d'installation : par battage à 100xg et par fonçage à 1xg jusqu'à 250 mm de profondeur. Le second point est l'étude de l'effet de l'encastrement sur la réponse horizontale d'un monopieu battu en centrifugeuse. Les réponses du monopieu sont présentées pour trois différents encastres de 3, 4, et 5 fois le diamètre. Par ailleurs, les résultats expérimentaux sont comparés à un modèle numérique aux éléments finis 1D qui modélise le monopieu comme une poutre de Timoshenko (Astley (1992)) et le sol comme une série de ressorts non-linéaires, en translation et en rotation. Les réactions de ces ressorts se baseront sur les courbes de réactions du sol exploitées dans le cadre du projet PISA (Burd et al., 2020).

## Lucie Guillen

Démarrage de la thèse : septembre 2019

Recul des falaises rocheuses en pays basque par processus gravitaires et hydro-gravitaires. Identification, analyses et modélisation numérique

Encadrants : Domenico Gallipoli (Université de Pau et des Pays de l'Adour), Yannick Thiery (BRGM)

## Résumé

Les falaises du littoral basque français sont soumises à des instabilités de typologies variées. Cette hétérogénéité est observée sur la falaise de Bidart, entre la baie d'Erretegia et des Embruns. L'érosion de ce versant sous forme d'instabilités gravitaires menace la sécurité des personnes et des habitations situées en arrière de la falaise. Ces phénomènes, jusqu'ici peu étudiés, nécessitent d'être caractérisés en matière de dynamiques temporelles et spatiales. Ces connaissances apporteront des éléments clés qui pourront être intégrés dans la politique de gestion du littoral.

Cette falaise de 900 m de long et de 72 m de haut, s'inscrit dans un contexte géologique de bassin d'avant-pays marqué par l'orogénèse pyrénéenne. Les 50 m inférieurs sont constitués de formations marno-calcaires du crétacé supérieur, basculées et fracturées. Cette lithologie présente une variation de compétence latérale et une frange d'altération plus ou moins épaisse sur sa partie supérieure. Des alluvions et des sables mio-plio-quadernaires d'une vingtaine de mètres d'épaisseur reposent en discordance sur ces marno-calcaires.

Afin de comprendre la dynamique des instabilités gravitaires qui régissent l'érosion de cette falaise littorale, il est nécessaire de : (i) qualifier les différentes typologies d'instabilités qui participent à l'érosion de cette falaise et (ii) qualifier et quantifier les facteurs de prédisposition.

Ainsi, nous proposons une analyse géomorphologique temporelle à partir de MNT, de photographies aériennes et d'observations de terrain afin de caractériser les typologies d'instabilités et de les spatialiser. La caractérisation des facteurs de prédisposition litho-structuraux est fondée sur des mesures de terrain des surfaces stratigraphiques, structurales et de critères de résistance mécanique de Hoek & Brown. Les géométries de ces objets sont contrôlées en 3D sur des données photogrammétriques. La dynamique temporelle et spatiale des déstabilisations de cette falaise est synthétisée dans des schémas conceptuels, incluant leurs contraintes litho-structurales. Ils intègrent les instabilités dans un cycle d'érosion du versant en qualifiant leurs facteurs de prédisposition.

Ces travaux permettant de mieux appréhender la dynamique des instabilités gravitaires de la falaise de Bidart, s'inscrivent dans le cadre du projet FEDER Ezponda. Celui-ci prévoit l'élaboration de modèles géologiques 3D interprétatifs, aux échelles locales et régionale : ils permettront de consolider la connaissance des géométries litho-structurales et des schémas conceptuels de déstabilisation. Sur le site de Bidart, les couches lithologiques issues du modèle 3D et des schémas conceptuels seront intégrées dans une modélisation numérique de déstabilisation du glissement-coulée.

## Adnan Sahyouni

Démarrage de la thèse : janvier 2019  
Fondations d'éoliennes durables et REpowering

Encadrants : Pierre Burtin, Jérôme Racinais, Benoit Quandalle (Menard)  
Laurent Briançon, Stéphane Grange, Florent Prunier (INSA Lyon)

### Résumé

Le projet FEDRE (Fondations d'Eoliennes Durables et REpowering) est un projet qui réunit le laboratoire GEOMAS de l'INSA de Lyon, la société Menard et d'autres partenaires industriels. L'objectif principal de ce projet est de trouver des solutions pour réutiliser les fondations existantes d'éolienne lors des phases de repowering ou dans le cas du remplacement de la machine.

La durée de vie estimée d'une éolienne terrestre est d'au moins 20 ans. De plus en plus d'équipements arrivent à cette limite. Le remplacement par une machine généralement plus puissante nécessite dans la majeure partie des cas la déconstruction de la fondation gravitaire et une nouvelle installation à proximité, ce qui est peu économique et peu écologique.

Pour mener à bien notre projet, une étude détaillée d'une fondation renforcée par des inclusions semi-rigides a été menée à travers l'instrumentation d'une éolienne à échelle réelle située dans le nord de la France. Elle consiste à mesurer des paramètres comme notamment les sollicitations, les déformations et le transfert de charge de l'éolienne vers le sol amélioré avec une distinction sol / inclusions. Les mesures ont commencé pendant la phase de construction puis lors de la mise en service et dureront pendant deux premières années d'exploitation. En parallèle, un essai de chargement a été réalisé sur une inclusion isolée à proximité de l'éolienne instrumentée.

Trois axes principaux de recherche ont été identifiés pour ce projet : 1) Une vaste étude expérimentale répartie entre l'instrumentation à l'échelle réelle et les essais des sols en laboratoire. 2) Une étude numérique sur les lois de comportement des sols et des modèles numériques complexes sera développée pour simuler le comportement des fondations d'éoliennes et permettra d'aboutir à une amélioration des codes de dimensionnement. 3) La comparaison des résultats obtenus dans les deux premiers axes avec les lois analytiques recommandées en France par le projet national "ASIRI" et les recommandations du CFMS « Fondations d'éoliennes ». La synthèse des trois axes identifiés nous permettra d'aboutir à :

- identifier le comportement d'un renforcement de sol sous sollicitations cyclique,
- valider un modèle numérique robuste et complexe avec des paramètres calibrés sur une base expérimentale,
- simplifier la modélisation à l'aide du macro-élément permettant de faire des calculs rapides,
- proposer des études paramétriques très utiles dans les dimensionnements à partir des lois de comportement calés et du macro-élément,
- proposer une démarche de SHM (Structural Health Monitoring) permettant d'optimiser la maintenance des éoliennes et d'augmenter leur durée de vie.

Le but de cette présentation est de discuter des résultats analysés de l'instrumentation et d'illustrer le comportement global du sol renforcé par des inclusions semi-rigides dans le cas d'éoliennes terrestres.