

## Parois semi-flexibles mises en place par *deep mixing* : comportement hydromécanique et durabilité

### Contexte :

Les problématiques actuelles, pour la plupart liées à l'environnement, au coût de la construction et à la valorisation des matériaux, incitent de plus en plus les industriels à investir sur la méthode du Deep Mixing. Cette méthode consiste à malaxer en place le sol avec un liant (chaux, ciment, liant hydraulique, etc.) pour améliorer les caractéristiques hydromécaniques du sol en place. Un avantage important est que cette méthode ne génère que très peu de déblais, le sol étant intégré dans le mélange. Le Deep Mixing s'avère donc être une méthode écologique, économique et efficace pour la mise en place des barrières ou l'amélioration des sols.

Il existe une grande diversité des domaines d'applications de la technique du Deep Mixing tant pour les travaux temporaires que pour les travaux permanents, qu'ils soient réalisés à terre ou en condition marine. Les principales applications ont pour objets la réduction des tassements, l'amélioration de la stabilité et le confinement grâce à l'augmentation de rigidité et résistance associée au mélange sol-liant. Sa mise en œuvre est en grande partie dictée par les conditions géologiques et la nature des sols, ainsi que le type d'application envisagée. Les procédés d'exécution spécifiques sont apparus pour la stabilisation des routes (États-Unis), pour les ouvrages offshore et les argiles traitées au ciment (Japon), et pour les sols meubles souvent stabilisés à la chaux dans les pays nordiques et les sols organiques pour lesquels le ciment donne de meilleurs résultats (Suède). Malgré ça, actuellement, très souvent, certains sols comme les sols meubles ou contenant de fortes proportions de matière organique sont écartés dans de tels projets (Topolnicki 2015).

La maîtrise des caractéristiques finales du matériau, mélange de sol et de liant, est indispensable, notamment pour l'utilisation de cette méthode pour la réalisation d'ouvrages définitifs, comme les écrans de soutènement. Les nouvelles exigences concernant le matériau doivent, selon la résistance mécanique et la perméabilité escomptée, prendre en considération les caractéristiques du liant, du sol, des conditions de cure et de malaxage (Terashi et al. 2015). De plus, la réalisation d'ouvrages définitifs requiert une bonne connaissance de la durabilité du matériau pendant la durée de vie de l'ouvrage. Les risques de dégradations liés aux cycles humidification/séchage et gel/dégel, à la carbonatation, à la lixiviation, et aux contaminants du sol ont été identifiés dans la littérature (Denies et al. 2015).

En Belgique et en France, l'utilisation du *Deep Soil Mixing* dans les sables montre cependant qu'il est possible d'obtenir des résistances mécaniques qui se rapprochent de celle des bétons ordinaires, ce qui permet d'envisager la réalisation d'ouvrages à la fois structurels et permanents.

### Verrous :

Différentes études bibliographiques ont pu mettre en évidence une série de questions qui restent posées quant au comportement hydromécanique du béton de sol (Helson 2017, Hessouh 2021,...). Cette thèse sera prioritairement axée sur les sols du type : argiles (A1 et A2), limons, sables, graviers. Les points qui seront étudiés sont :

- 1) La définition de la combinaison type et du dosage du liant en fonction de la nature du sol, de sa distribution granulaire et de ses propriétés physiques (teneur en eau, densité, ...)
- 2) La définition d'un seuil d'argile garantissant les propriétés mécaniques requises et la durabilité en fonction des propriétés du sol à traiter
- 3) La prise en compte pendant l'étape de dimensionnement des mécanismes de dégradation : carbonatation, attaques chimiques, humidification/séchage, et lixiviation, car leur influence est non négligeable sur les propriétés à court et à long-termes du sol traité. Actuellement, le classement de la durabilité des bétons de sol se fait à partir de la densité, de la vitesse de propagation des ondes, et de la porosité accessible à l'eau ( $\eta$ ) cependant les classes proposées méritent d'être confirmées à partir d'essais de vieillissement accéléré.

- 4) Le fluage (augmentation progressive de la déformation avec le temps pour une contrainte appliquée constante) par des essais de compression simple, triaxiaux, ou œdométriques pour certaines applications de *soil-mixing* telles que les fondations et les murs de soutènement
- 5) L'effet de l'intensité de chargement mécanique sur l'évolution de la conductivité hydraulique (en lien avec la lixiviation)
- 6) L'étude microstructurale à partir d'observations au MEB et d'analyses DRX à différents temps de maturation, pour évaluer la vitesse de l'hydratation du ciment en fonction des paramètres de formulation et de la nature du sol
- 7) L'extrapolation des propriétés du sol traité définies en laboratoire vers le sol traité in situ
- 8) La proposition d'un modèle de comportement et des modélisations numériques et des calculs théoriques des ouvrages du type parois flexibles ; pieux, ...

Basés sur ces considérations la thèse contiendra les 4 grandes parties :

1. Étude bibliographique
2. Modélisation physique (comportement hydromécanique en laboratoire)
3. Comportement in situ (mur instrumenté sur chantier)
4. Modélisation numérique et calcul d'ouvrages
5. Recommandations pour travaux

Le travail de la thèse comprendra une partie expérimentale et une partie modélisation. Des expérimentations in situ sont aussi prévues dans le cadre de cette thèse. Les travaux seront réalisés en collaboration avec l'entreprise Franki Fondation (groupe Fayat).

### Conditions

Début : à partir de juin, et au plus tard en octobre 2023 pour une durée totale de 36 mois

Salaires brut mensuel : 2044 €

Organisme d'accueil : LEMTA ([http://lemta.univ-lorraine.fr/comp\\_thmc\\_sols.html](http://lemta.univ-lorraine.fr/comp_thmc_sols.html))

Université de Lorraine ([www.univ-lorraine.fr](http://www.univ-lorraine.fr))

### Comment candidater ?

Envoyer avant le 24 février 2023 un CV (2 pages max), une copie du travail de master, les publications éventuelles, les relevés de notes ainsi que le nom d'au moins un référent aux deux directeurs de thèse :

Prof. Olivier Cuisinier

[Olivier.Cuisinier@univ-lorraine.fr](mailto:Olivier.Cuisinier@univ-lorraine.fr)

Tel: (+33) (0)3 72 74 43 45

Prof. Farimah Masrouri

[Farimah.Masrouri@univ-lorraine.fr](mailto:Farimah.Masrouri@univ-lorraine.fr)

Tel: (+33) (0)3 72 74 43 41

## References

- Denies, N., Huybrechts, N., De Cock, F., Lameire, B., Maertens, J., Vervoort, A., & Guimond-Barrett, A. (2015). Thoughts on the durability of the soil mix material. In Proceedings of the XVI ECSMGE Geotechnical engineering for infrastructure and development (Vol. 1, pp. 1404–1408). Edinburgh.
- Terashi, M., & Kitazume, M. (2015). Deep Mixing – Four Decades of Experience, Research and Development. In Deep Mixing Conference (pp. 781–800). San Francisco.
- Topolnicki, M. (2015). Geotechnical design and performance of road and railway viaducts supported on DSM columns - A summary of practice. In Conference Deep Mixing (pp. 131–150). San Francisco: Deep Foundations Institute (DFI).
- Helson O. (2017). Comportement thermo-hydro-mécanique et durabilité des bétons de sol : influence des paramètres de formulation et conditions d'exposition (2017). Thèse Univ. de Cergy Pontoise. 230 pages.
- Hessouh J.J. (2021) Caractérisations physique et mécanique, et durabilité des bétons de sol : matériaux de laboratoire et matériaux de chantiers. Thèse Univ. de Cergy Pontoise. 298 pages.