

## UN MODELE THEORIQUE DE COURBE DE RETENTION POUR LES SOLS NON SATURES A GRANULOMETRIE ETENDUE

Jacques MONNET<sup>(1)</sup>, Dino MAHMUTOVIC<sup>(2,3)</sup>, Luc BOUTONNIER<sup>(3)</sup>, Saïd TAIBI<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> *Gaiatech, 22 rue Antoine Chollier, 38170, Seyssinet, France ;*

<sup>(2)</sup> *L3S-R, Université Joseph Fourier, Grenoble, BP53, 38041, Grenoble, France ;*

<sup>(3)</sup> *EGIS-Géotechnique, 3, rue Docteur Schweitzer, 38180, Seyssins, France*

<sup>(4)</sup> *LOMC, CNRS UMR 6294, Université du Havre, BP 540, 75058 Le Havre, France*

### Résumé

Le développement des outils numériques et la montée en puissance des micro-ordinateurs permettent de déterminer le comportement des grands ouvrages de terrassement comme les barrages, les digues, les excavations et remblais routiers ou ferroviaires. Tous ces ouvrages sont compactés dans un état proche de l'optimum Proctor avec un degré de saturation entre 90 à 98% et un sol non saturé. Pour obtenir une estimation précise de l'état final de densité du sol, il est nécessaire de modéliser le compactage du sol le long d'un trajet de mouillage. De plus, lorsque l'ouvrage de terrassement est achevée, il supporte des cycles de séchage et mouillage liés à l'action du soleil et de la pluie. Ces contraintes hydro-mécaniques nécessitent le développement d'un modèle théorique capable de simuler les chemins de séchage et d'humidification du sol dans la relation degré de saturation, indice des vides, succion.

Il existe plusieurs façons de modéliser les courbes de rétention. La première approche consiste à utiliser des corrélations expérimentales. Cette approche a eu beaucoup de succès avec les modèles de Brooks et Corey (1964) Van Genuchten (1980) ou Gallipoli et al. (2003).

La seconde approche consiste à simuler les courbes de rétention par un modèle élasto-plastique incrémental (Arairo W., 2013). Cette méthode nécessite la connaissance de la courbe expérimentale de saturation et d'imbibition pour prédire le comportement d'une autre courbe de rétention. Elle utilise ( $\alpha$ ,  $n$ ,  $m$ ,  $S_{rsat}$ ,  $S_{rres}$ ) les paramètres de Van Genuchten (1980) et deux courbes limites de rétention.

La troisième approche est de considérer la modélisation physique des sols non saturés. Avec cette méthode, il n'y a pas besoin de choisir à priori des formes particulières des courbes de rétention, qui sont considérée alors comme une conséquence des hypothèses physiques. C'est l'approche utilisée dans le présent document. La présente étude se focalise sur un modèle théorique basé sur des particules sphériques en agencement élastique, qui peut être considéré comme un procédé simplifié de DEM. Dans un premier temps un modèle uniforme est présenté avec un seul diamètre de particules du sol. Une deuxième étape étend l'utilisation du modèle aux sols à granulométrie étendue. Le modèle utilise seulement 5 paramètres physiques.

Le résultat du modèle est comparé à la courbe de rétention expérimentale de deux échantillons différents de particules uniformes de verre (de 80 $\mu$ m, 300 $\mu$ m) et deux sols à granulométrie étendue, un échantillon de verre graduée (4-140 $\mu$ m) et le limon de Livet-Gavet (2 $\mu$ m-50mm). Il montre sa capacité à prédire les courbes expérimentales de rétention et il permet une meilleure corrélation avec l'expérience que la théorie de Brooks et Corey (1964).

### References :

Brooks R.T., Corey A.T. (1964) Hydraulic properties of porous media. Hydrology paper n°3, Civil Eng; Depart, Colorado State Univ. Fort Collins, Colorado

Brooks R.T., Corey A.T. (1966) properties of porous media affecting fluid flows, J. Irrig. Drain. Div., ASCE, 92 (IR2), p.6188-

- Gallipoli, D.; Wheeler, S.; Karstunen (2003) Modelling the variation of degree of saturation in a deformable unsaturated soil., *Geotechnique*, Vol. 53, No. 1, 2003, p. 105-112
- Boutonnier, L., Virollet, M. (2003), Tassements et gonflements instantanés dans les sols fins proches de la saturation, *Revue Française de Géotechnique* 104, p.3-19.
- Boutonnier, L. . (2007) Comportement hydromécanique des sols fins proches de la saturation : cas des ouvrages en terre : coefficient B, déformations instantanées et différées, retrait /gonflement, *Thèse de doctorat INP*, Grenoble, France ; <http://geotec-luc.blogspot.com/>
- Boutonnier L. (2010). Mechanics of unsaturated geomaterials, Chap.14 : *Coefficient B, Consolidation and swelling in Fine Soils near saturation in Engineering Practice*. Ed.L.Laloui, J.Wiley.
- Boutonnier L., Monnet J., Fleureau J.M., Fry J.J., Loret B., Magnan J.P., Plé O., Wong K. (2011) TerreDurable – Terrassements économiques, écologiques et durables, *Agence Nationale de la Recherche – Programme Bâtiments et Villes durables*, France.
- D’Onza F., Gallipoli D., Wheeler S., Casini F., Vaunat J., Khalili N., Laloui L., Mancuso C., Masin D, Nuth M., Pereira J.M., Vassalo R., Benchmark of constitutive models for unsaturated soils (2011) *Géotechnique* 61, N°4, 283-302
- Loret B., Khalili N.(2002) An effective stress elastic-plastic model for unsaturated porous media, *Mechanics of Materials*, 34, 97-116
- Monnet J. , Boutonnier L. (2012) Calibration of an unsaturated Air-Water-Soil model, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 12, 493-499.
- Rogoska D. (2009). Modelling of the unsaturated soil behaviour, Air-Water-Soil coupling, *Msc Thesis, University Joseph Fourier, Grenoble, France*.
- Van Genuchten (1980), -A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Scienc.Soc. Am. J.*, Vol.44, p.892-898

### **Mots clefs**

Sol non saturé, modèle constitutif, courbe de rétention, paramètre physique