



Sédiments fins renforcés par une matrice ciment-fibre : recherche d'une formulation optimale

Yingjie LIANG^{1,2}, Daniel LEVACHER², Andry RAZAKAMANANTSOA¹,
Dimitri DENELEE^{1,3}

1. LUNAM, IFSTTAR, Institut Français des Sciences et des Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux, BP 4129, route de Bouaye, 44332 Bouguenais, France.
2. Université de Normandie, Unicaen, GRGCE, UMR M2C, UMR 6143 CNRS, Caen, 24 rue des Tilleuls, 14000 Caen, France.
3. Institut des Matériaux Jean Rouxel (IMN), Université de Nantes, CNRS, 2 rue de la Houssinière, BP 32229, 44322 Nantes Cedex 3, France.
yingjie.liang@ifsttar.fr ; daniel.levacher@unicaen.fr

Résumé :

Des sédiments fins portuaires du port de La Baule - Le Pouliguen sont stabilisés avec du ciment et des fibres (fibre polypropylène et fibre de lin). L'apport de différentes quantités de fibres et l'effet de la taille de ces dernières sur le comportement mécanique des sédiments stabilisés, fait l'objet de cette communication. Les indicateurs mécaniques de la résistance à la compression R_c à 7, 14, 28, 56, 90 jours et de la résistance à la traction indirecte R_{ti} à 28 jours sont mesurés.

Une formulation optimale de 0,4% de fibres de lin et de fibres polypropylène de longueur égale à la moitié du diamètre de l'éprouvette est obtenue avec 7% de ciment. Les échantillons contenant des fibres de lin présentent une meilleure performance mécanique comparativement aux échantillons à base de fibres en polypropylène. L'analyse des paramètres mécaniques, comme le module de déformation E_{50} en relation avec R_c , montre que l'intervalle des ratios E_{50}/R_c se situe en deçà des valeurs usuellement obtenues pour des sols fins traités aux liants hydrauliques seuls.

Mots-clés : Sédiments, Fibre polypropylène, Fibre du lin, Renforcement, Résistance à la compression, Résistance à la traction indirecte, Module E_{50} .

1 Introduction

Depuis les années 2000, l'entretien du port de plaisance de La Baule-Le Pouliguen consiste à l'épandage des sables de dragage en rechargement de plage tandis que les sédiments plus fins sont rejetés en mer par clapage. Selon la littérature relative à la valorisation des sédiments de dragage, les sédiments marins peuvent être solidifiés/stabilisés avec des liants hydrauliques puis valorisés dans le domaine du génie civil (COLIN, 2013 ; DUAN, 2008 ; SILITONGA, 2010 ; LIANG, 2012 ; WANG *et al.*, 2013). En effet, à dosage équivalent en liant, les performances mécaniques des

sédiments fins stabilisés sont relativement faibles comparées à celles de sols grossiers. La résistance mécanique semble être liée à la distribution granulaire des sédiments. On peut citer également, l'influence négative de la salinité des sédiments marins qui contribue à la faiblesse de ces performances (HORPIBULSUK *et al.*, 2012 ; KAMALI *et al.*, 2008). Différents types d'additions sont proposées en compléments au liants hydrauliques pour améliorer les propriétés mécaniques des sédiments stabilisés : correction granulaire (sables), ajout de liants (chaux, cendre volante et/ou fumée de silice) ou incorporation de fibres (naturelles et synthétiques) (ZENTAR *et al.*, 2008 ; KAMALI *et al.*, 2008 ; SILITONGA, 2010).

Quant aux ajouts de fibres artificielles ou naturelles, elles sont incorporées afin d'améliorer la résistance à la traction des sédiments (AKBULUT *et al.*, 2007 ; HORPIBULSUK *et al.*, 2012 ; HEJAZI *et al.*, 2012 ; LIANG, 2012 ; MOHAMED 2013). Cependant, le rôle des fibres dans la matrice granulaire reste peu exploré dans le cas du traitement des sédiments fins. Les fibres constituent un réseau poreux fibreux, elles contribuent également à la réduction des phénomènes de gonflement des sédiments stabilisés. Le gonflement des sols fins résulte en partie de la rétention de l'eau par les particules argileuses. La présence des fibres favorisent l'évacuation de l'eau de la matrice par drainage pendant la phase de durcissement (GHAVAMI *et al.*, 1999 ; VISWANADHAM *et al.*, 2009 ; AKBULUT *et al.*, 2007). Dans le cas des bétons, l'ajout de fibres polypropylène permet d'augmenter leur résistance à la traction nécessaire pour réduire le retrait et la fissuration lors du séchage. Mais la résistance à la traction est grandement influencée par la géométrie des fibres (longueur et diamètre) qui en détermine la rigidité ou la souplesse, par l'adhérence es fibres développée à l'interaction matrice/fibres et par le dosage en fibres. Ce phénomène d'adhérence dépend du type de fibre ajoutée (minéral, végétal, ...) et de l'état de surface de la fibre (rugueux, lisse, ...). Une fibre assez longue dispose de plus de points de contact avec les composants de la matrice cimentaire. Ainsi, la résistance à la traction augmente avec la longueur de la fibre. La finesse des fibres permet une meilleure distribution dans la matrice. Ces paramètres contribuent également à l'amélioration des performances notamment des bétons fibrés, (SONG *et al.*, 2005 ; BANTHIA & GUPTA, 2006).

La performance mécanique des bétons peut être associée à la qualité de la prise du ciment. A la différence des bétons et mortiers, les sédiments à stabiliser sont constitués de particules fines, la résistance mécanique du matériaux compacté est intimement liée à la qualité de la mise en œuvre (RAZAKAMANANTSOA *et al.*, 2012). Très peu d'informations sont disponibles dans la littérature sur le comportement mécanique et la durabilité des sédiments traités. Force est de constater que les influences de la nature, de l'état de surface de contact, de la géométrie et du dosage des fibres sur les performances mécanique des sédiments stabilisés restent méconnu à ce jour.

Dans le cadre de cette étude, nous nous fixerons comme objectifs d'étudier l'influence de l'ajout de fibres sur les propriétés mécaniques des sédiments traités au ciment. Ainsi,

des mélanges de ciment avec des fibres polypropylènes ou fibres de lin sont ajoutés aux sédiments afin d'étudier leur comportement. L'évolution de la résistance à la compression simple (NF EN 12390-3, 2003), et à la traction indirecte (NF EN 13286-42, 2003) est étudiée en fonction des différentes échéances.

2 Matériel

2.1 Sédiments

Les sédiments étudiés proviennent du port de La Baule-Le Pouliguen (LBLP). Les échantillons sont prélevés dans deux bassins distincts mais sont ensuite homogénéisés. Les caractéristiques physique et granulométrique des sédiments sont détaillées dans le tableau 1. Le sédiment LBLP est un sédiment composé d'éléments fins très peu argileux dont la proportion en matière organique est relativement importante.

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des sédiments LBLP

<i>Caractérisation</i>	<i>LBLP</i>
<i>Nature granulométrique</i>	
<i>Fraction sableuse (>63μm), (%)</i>	<i>12,5</i>
<i>Fraction silteuse (2 à 63μm), (%)</i>	<i>81,3</i>
<i>Fraction argileuse (<2μm), (%)</i>	<i>6,3</i>
<i>Coefficient d'uniformité Cu</i>	<i>5,9</i>
<i>Coefficient de courbure Cc</i>	<i>1,0</i>
<i>Limites d'Atterberg</i>	
<i>Limite de liquidité, W_L (%)</i>	<i>80,5</i>
<i>Limite de plasticité, W_P (%)</i>	<i>42,5</i>
<i>Indice de plasticité, I_P (%)</i>	<i>38</i>
<i>Teneur en matière organique, MO (%)</i>	<i>11,6</i>
<i>Teneur en carbonates, (%)</i>	<i>14,5</i>
<i>Teneur en eau initiale, W_i (%)</i>	<i>178</i>

2.2 Les fibres utilisées

Deux types de fibres ont été choisis pour cette étude : une fibre en polypropylène synthétique et une fibre de lin naturel. La fibre en polypropylène se classe parmi les fibres synthétiques les plus utilisés en génie civil. Le choix du lin est par contre régie par sa biodisponibilité dans la région du Nord/Pas-de-Calais, en Picardie, en Normandie, en Bretagne et en Anjou (France). Le tableau 2 récapitule les caractéristiques des fibres.

3. Préparation et mélange

Des 2 types de fibres sont ajoutés dans les sédiments LBLP stabilisés avec 7% de ciment. Les dosages en fibres sont de 0,2%, 0,4% et 0,8% exprimés par rapport à la matière sèche de sédiment. 4 longueurs de fibres ont été retenues pour chaque dosage en

Thème 8 – Gestion et valorisation des sédiments marins

fibres, la longueur des fibres a été choisie proportionnellement au diamètre des éprouvettes cylindriques. Elles sont respectivement de D/8 (4,25 mm), D/4 (8,5 mm), D/2 (17 mm) et D (34 mm). Des éprouvettes cylindriques de diamètre D (34 mm) et d'élanement 2 sont confectionnées en vue des études mécaniques. Les performances mécaniques sont déterminées à partir d'essais de résistance à la compression simple R_c à différentes échéances (7, 14, 28, 60 et 90 jours) et à la traction indirecte R_t (28 jours). Les principales caractéristiques des fibres polypropylène et fibres de lin sont présentées au tableau 2.

Tableau 2. Caractéristiques géométriques et mécaniques de la fibre synthétique PP (CHRYSO® Fibre S50) et la fibre de lin (LEVACHER et al., 2012).

Paramètres	Fibre polypropylène (PP)	Fibre de lin
Masse volumique	0,92g/cm ³	
Diamètre	1,0mm	15-30µm
Longueur	50mm	
Point de fusion	160°C	
Point d'ignition	590°C	
Résistance à la traction	600 MPa	400-1600MPa
Module de Young	5 GPa	30-90 GPa
Déformation à la rupture		1,5-3,5%
Cellulose		64-74%
Hémicellulose		11-17%
Lignine		2-3%

Ces sont des fibres synthétiques dont la résistance à la traction est voisine de 600 MPa, avec une valeur de module d'Young de 5GPa. La longueur moyenne d'une fibre est de 50 mm. Ce sont donc des fibres assez rigides, et relativement épaisses (1mm de diamètre). Selon les caractéristiques des fibres de lin montrées, elles ont de bonnes résistances en traction (400-1600 MPa) avec des valeurs de modules d'Young comprises entre 30-90 GPa. A la différence des fibres en polypropylène, les fibres de lin sont très fines. Leur diamètre moyen est compris entre 15 à 30 µm.

4. Résultats et discussion

Nous nous proposons d'analyser l'influence des 3 paramètres caractéristiques des fibres : la concentration et la longueur des fibres, la nature sur les propriétés mécaniques des sédiments traités.

4.1 Effet de dosage et longueur de fibres sur la résistance en compression R_c

Les Figures 1a, b, c et d présentent les évolutions de R_c en fonction de différents dosages et longueurs de fibres utilisés pour les sédiments LBLP stabilisés avec 7% de ciment à 28 jours. Dans l'ensemble, les valeurs de R_c obtenues sont plus élevées avec

les fibres de lin comparées à celles des fibres PP Les 0,4 et 0,8% de fibre de lin avec une longueur de 17 et de 34 mm sont favorables pour obtenir R_c plus élevées. Par contre, la valeur optimale de R_c est toujours obtenue avec un dosage de 0,4% de fibres de 17 mm (D/2) de longueur.

On constate que la résistance à la compression simple R_c des différents mélanges est supérieur ou proche à 1MPa quelle que soit la nature des fibres. Les résultats sont donc satisfaisants par rapport aux objectifs fixés. Cependant, la forte proportion en ciment dans le mélange contribue et améliore certainement la performance mécanique des mélanges. A ce stade, l'ajout de fibres contribue certainement à l'amélioration de la résistance à la compression des matériaux traités, par contre leur rôle ne pourra pas être évalué avec certitude. Une analyse plus fine de la microstructure permettra d'apporter des éléments de réponse à ce point.

Concernant la longueur des fibres, à 0,8% de fibres, la longueur des fibres PP semble contribuer négativement sur la résistance à la compression en comparaison avec les fibres de lin (voir les figures 1a et c). Quelle que soit la concentration et la nature des fibres, la résistance maximale est obtenue pour une longueur de fibre égale à la moitié de la section des éprouvettes. Les figures 1c et d montrent également que le R_c atteint son optimum à 0,4% de fibres quelle que soit sa nature. Ces constats sont assez intéressants mais leurs validités sont étroitement liées à l'homogénéité de la distribution des fibres dans la matrice de chaque éprouvette.

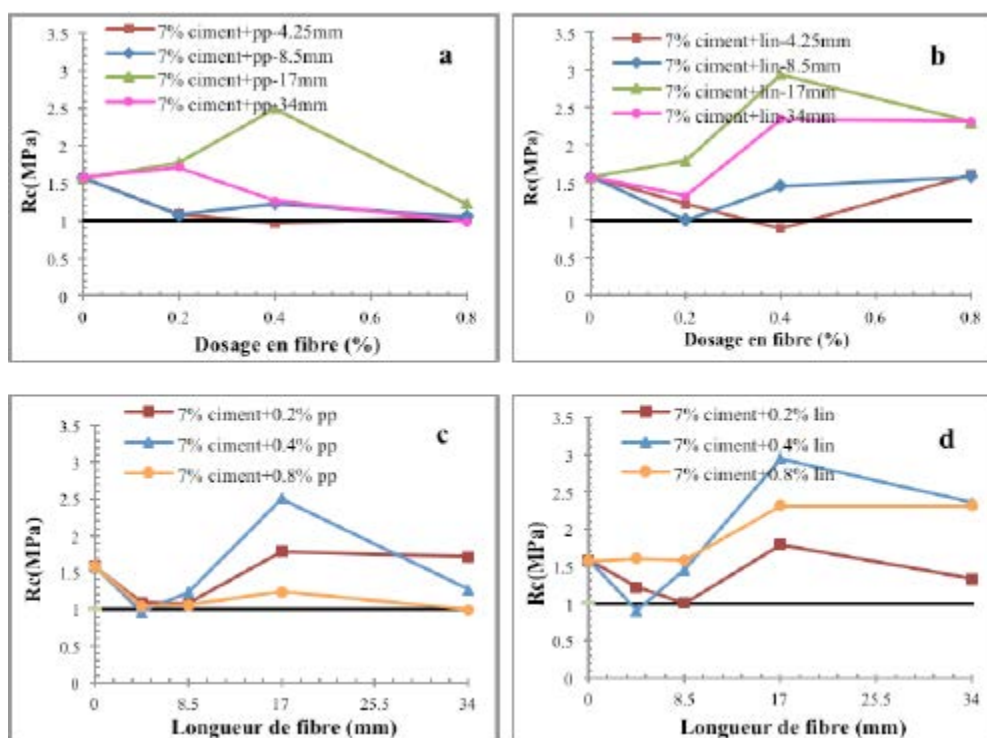


Figure 1. Effet des dosages et longueurs de fibres sur les valeurs de R_c à 28 jours.

Pour une concentration de fibres supérieure à 0,2%, le mélange contenant de la fibre de Lin semble être plus performant que le mélange contenant la fibre PP. Cette bonne performance du mélange contenant la fibre du lin peut être attribuée à la valeur élevée du module d'élasticité d'une fibre de lin et sa finesse comparé à celui d'une fibre PP. Nous avons constaté que la longueur des fibres agit de manière différente entre la fibre de lin et la fibre PP. Pour une longueur de 34 mm (D). Le mélange contenant la fibre PP devient fragile tandis que le mélange contenant la fibre du lin présente la même tendance tout en restant relativement résistant.

4.2 Effet de dosage et longueur de fibres sur la résistance à la traction indirecte R_{ti}

L'évolution des R_{ti} des sédiments LBLP avec 7% de ciment à 28 jours en fonction de différents dosages et longueurs de fibres PP et de fibres de lin est montrée par les figures 2a-d. Les valeurs de R_{ti} des sédiments LBLP avec les fibres de lin augmentent plus rapidement quand la quantité de fibres de lin augmente. En revanche, les valeurs de R_{ti} diminuent pour les sédiments avec 0,8% de fibre PP (voir les figures 2a et 2b).

Les valeurs de résistance à la traction indirectes sont inférieures à 1MPa. Les R_{ti} des mélanges contenant la fibre de lin à D/2 sont trois fois plus résistants que les mélanges contenant du PP à D/2. Pour une concentration supérieure à 0,4%, la concentration des fibres agit différemment sur les valeurs de R_{ti} des éprouvettes.

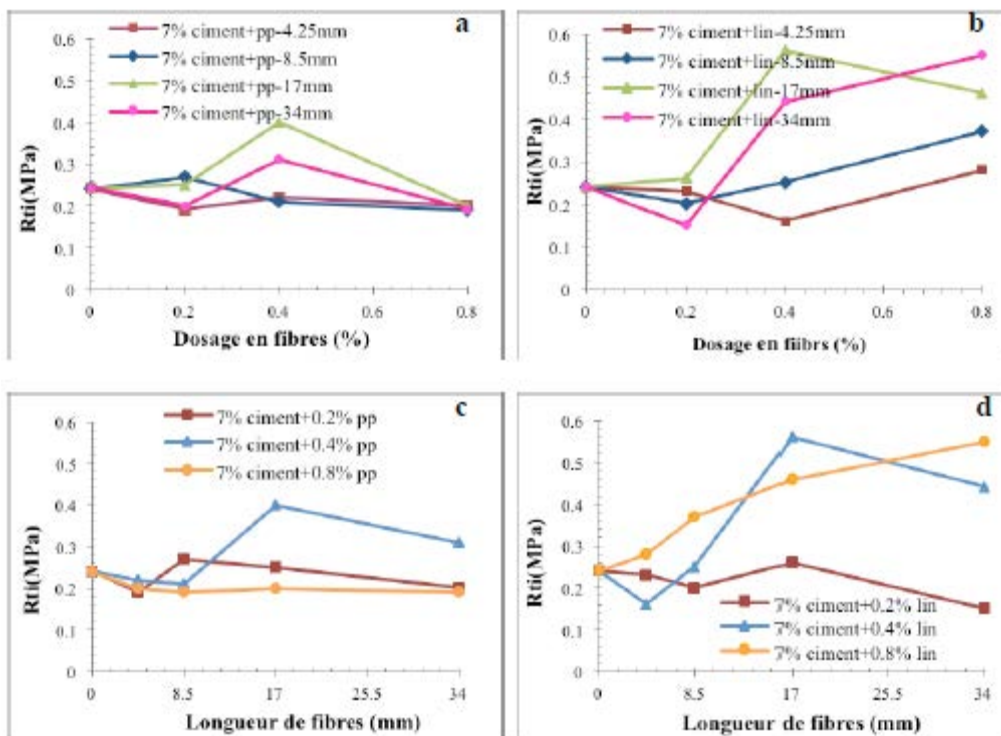


Figure 2. Effet des dosages et longueurs de fibres sur les valeurs de R_{ti} à 28 jours.

La valeur de R_{ti} du mélange contenant la fibre PP se stabilise autour de 0,2 MPa tandis que celle du mélange contenant la fibre de lin évolue positivement avec la longueur de la fibre (voir les figures 2c et 2d). Les valeurs de R_{ti} du mélange contenant la fibre PP sont peu sensibles à la longueur de la fibre dans le mélange par rapport aux mélanges contenant la fibre de lin.

Deux hypothèses peuvent probablement expliquer : l'adhérence des fibres avec le sédiment et l'homogénéité du mélange. Une meilleure adhérence entre le liant hydraulique/sédiment et la fibre de lin comparée à celui d'une fibre PP. Le contraste entre 0,4% et 0,8% de fibre de lin peut être expliqué par l'homogénéité du mélange.

Ces différentes hypothèses peuvent être confirmées ou infirmées par des observations poussées de la microstructure.

4.3 Corrélation entre le Module E_{50} et la R_c

L'évolution du module de déformation sécant E_{50} constitue un paramètre important pour la détermination des propriétés mécaniques des sédiments. Ce paramètre permet d'évaluer la ductilité du matériau stabilisé. Le module sécant E_{50} se définit comme la pente d'une droite passant par l'origine de la courbe de rupture jusqu'à 50% de pic de résistance en compression simple déduite de la courbe contrainte-déformation.

Les modules de déformation E_{50} des sédiments LBLP pour toutes les formulations en fonction de R_c sont représentés sur la figure 3. Les rapports E_{50}/R_c des sédiments LBLP sont compris entre 27 et 89 ces rapports restent relativement faibles, comparés à d'autres types de formulations déduites de la littérature (tableau 3). Nous constatons que la présence des fibres mène à la diminution de la valeur du module E_{50} par rapport aux autres sols fins traités aux liants hydrauliques.

Tableau 3. Bilan de relation de module E_{50} - R_c des sols aux liants hydrauliques et autres ajouts dans la littérature.

<i>Matériaux</i>	<i>Liants et autres ajouts</i>	<i>Relations</i>	<i>Références</i>
<i>Sols naturels aux sables et graviers</i>	<i>Ciment Portland</i>	$E_{50} = (60\sim 250)R_c$	<i>GRISOLIA et al. (2010)</i>
<i>Sables de Fontainebleau</i>	<i>Ciment Portland</i>	$E_{50} = (55\sim 160)R_c$	<i>GUMOND-BARRETT et al. (2011)</i>
<i>$E_{50} = (55\sim 250) R_c$ pour les sols grossiers</i>			
<i>Sols argileux</i>	<i>Cendres volantes et /ou ciment Portland</i>	$E_{50} = 55R_c$	<i>NONTANANANDH & BOONYONG (2004)</i>
<i>Sédiments</i>	<i>Ciment Portland</i>	$E_{50} = 167.3R_c$	<i>ZHU et al. (2005) in WANG et al., (2013)</i>
<i>Sols fins</i>	<i>Ciment</i>	$E_{50} = (35\sim 100)R_c$	<i>MARZANO & GRISOLIA (2009)</i>
<i>Sols argileux</i>	<i>Ciment Portland</i>	$E_{50} = 106.71R_c$	<i>YILMAZ & OZAYDIN (2013)</i>
<i>Sols argileux</i>	<i>Ciment Béliste</i>	$E_{50} = 78.656R_c$	<i>YILMAZ & OZAYDIN (2013)</i>
<i>Sédiment Dunkerque</i>	<i>Ciment Portland</i>	$E_{50} = 119.91R_c$	<i>WANG et al. (2013)</i>
<i>Sédiment Dunkerque</i>	<i>Ciment Portland, chaux, cendres volantes</i>	$E_{50} = (60\sim 170)R_c$	<i>WANG et al. (2013)</i>
<i>Sédiment LBLP</i>	<i>Ciment Portland + fibres</i>	$E_{50} = (27\sim 89)R_c$	<i>Notre étude</i>
<i>$E_{50} = (27\sim 170)R_c$ pour les sols fins</i>			

Selon la figure 3, les valeurs du module E_{50} et de R_c des sédiments mélangés avec des fibres PP sont plus faibles que celles obtenues avec la fibre de Lin. Les ratios du module E_{50} et R_c des sédiments et fibres PP sont aussi plus faibles quand les dosages en fibres PP augmentent de 0,2 à 0,8%.

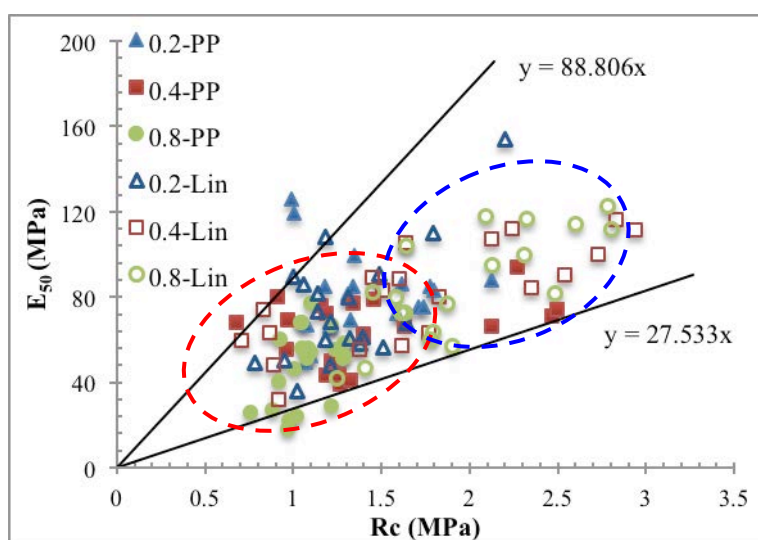


Figure 3. Module E_{50} des sédiments avec fibres de polypropylène et fibres de lin dans un mélange à base de 7% de ciment en fonction de R_c (toutes formulations et à différentes échéances).

5. Conclusion

L'étude des performances mécaniques des sédiments de LBLP traités au ciment réalisée en fonction de deux types de fibres à base du ciment s'est révélée concluante. Cela nous a permis d'observer une amélioration des performances mécaniques en compression simple et en traction indirecte lors de l'ajout de fibres et d'évaluer les effets de différents paramètres relatifs aux fibres sur les performances mécaniques des sédiments traités. Une formulation optimale a été mise en évidence : sédiments traités à 7% de ciment avec des fibres dosées à 0,4% et de longueur $D/2$. Les R_c et R_{ti} sont cependant plus élevées lors de l'ajout de fibres de lin. La relation entre E_{50} et R_c varie en fonction de la formulation du mélange.

6. Références

AKBULUT S., ARASAN S., KALKAN E. (2007). *Modification of clayey soils using scrap tire rubber and synthetic fibers*. Applied Clay Science, Vol. 38(1-2), pp 23–32.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2007.02.001>

BANTHIA N., GUPTA R. (2006). *Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete*. Cement and concrete research. Vol. 306, pp 1263-1267.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.01.010>

- COLIN D. (2013). *Valorisation de sédiments fins de dragage en technique routière*. Thèse de doctorat, Université de Caen, 180 p.
- DUAN Z. (2008). *Caractérisation, stabilisation et solidification de sédiments fins marins*. Thèse de doctorat, Université de Caen, 2008, 154 p.
- DUFOUR G. (2010). *Fibrage du béton dans le concept de récifs artificiels*. Mémoire de Master, Université de Caen, 47 p.
- GHAVAMI K., TOLEDO FILHO R.D., BARBOSA N.P. (1999). *Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres*. Cement and Concrete Composites, Vol. 21(1), pp 39–48. [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465\(98\)00033-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465(98)00033-X)
- GRISOLIA M., MARZANO I.P., DE LENTINIS D., LEDER E. (2010). *Performance of CSM stabilised soils in geotechnically complex formations*. Conference of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Moscow, Russia. 7-10 June 2010.
- GUIMOND-BARRETT A., PANTET A., REIFFSTECK P., SZYMKIEWICZ F., MOSSER J-F. (2011). *Influence des conditions de mélange et de cure sur les caractéristiques de sols traités au ciment par soil mixing*. 29^{ème} Rencontres de l'AUGC Tlemcen (29-31 Mai 2011).
- HEJAZI S.M., SHEIKHZADEH M., ABTAHI S.M., ZADHOUSH A. (2012). *A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers*. Construction and Building Materials, Vol. 30, pp 100–116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.045>
- HORPIBULSUK S., PHOJAN W., SUDDEEPPONG A., CHINKULKIJNIWAT A., LIU M.D. (2012). *Strength development in blended cement admixed saline clay*. Applied Clay Science, Vol. 55, pp 44–52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2011.10.003>
- KAMALI S., BERNARD F., ABRIAK N.E., DEGRUGILLIERS P. (2008). *Marine dredged sediments as new materials resource for road construction*. Waste management (New York, N.Y.), Vol. 28(5), pp 919–28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2007.03.027>
- LEVACHER D., BATAGIN B., LIANG Y., CHERIFI N. (2012). *Gestion durable des sédiments : co-valorisation sédiments-fibres*. XII^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Cherbourg, pp 1025-1036. <http://dx.doi.org/10.5150/jngcgc.2012.113-L>
- LIANG Y. (2012). *Co-valorisation de sédiments et de sols fins par apport de liants et de fibres*. Université de Caen, France. Thèse de doctorat, Université de Caen, 194 p.
- MARZANO I.P., OSMAN A. A.-M., GRISOLIA M., AL-TABBAA A. (2009). *Mechanical performance of different stabilised soils for application in stratified ground: Accomplissement mécanique des différents sols pour appliquer aux couches de terre*. Proc 17 ICSMGE, Alexandria, Egypt.
- MOHAMED A.E.M.K. (2013). *Improvement of swelling clay properties using hay fibers*. Construction and Building Materials, Vol. 38, pp 242–247. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.08.031>
- NF EN 12390-3 (2003) *Essai pour béton durci. Partie 3 : résistance à la compression des éprouvettes* (indice de classement : P18-455), Février 2003.

Thème 8 – Gestion et valorisation des sédiments marins

- NF EN 13286-42 (2003) *Méthode d'essai pour la détermination de la résistance à la traction indirecte des mélange traités aux liants hydrauliques* (indice de classement : P18-846-42), Septembre 2003.
- NONTANANANDH S., BOONYONG S. (2004). *Strength Development of Soft Marine Clay Stabilized with Cement and Fly Ash*. Kasetsart Journal: Natural Science, Vol. 038, Issue 4, Oct 04 - Dec 04, pp 539-552.
- RAZAKAMANANTSOA A., DAVID J.P., RAYSSAC E. (2012). *Influence des modalités de préparation de l'argile d'Héricourt traitées à la chaux et au ciment sur leur comportement mécanique*. JNGG 4-6 juillet, Bordeaux, pp 289-296
- SILITONGA E. (2010). *Valorisation des sédiments marins contaminés par solidification / stabilisation à base de liants hydrauliques et de fumée de silice*. Thèse de Doctorat, Université de Caen, 227 p.
- SONG P.S., HWANG S., SHEU B.C. (2005). *Strength properties of nylon an polypropylène fiber reinforced concretes*. Cement and Concrete Research, Vol. 35, pp 1546-1550. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.033>
- VISWANADHAM B.V.S., PHANIKUMAR B.R., MUKHERJEE R.V. (2009). *Swelling behaviour of a geofiber-reinforced expansive soil*. Geotextiles and Geomembranes, Vol. 27(1), pp 73–76. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotexmem.2008.06.002>
- WANG D., ABRIAK N.E., ZENTAR R. (2013). *Strength and deformation properties of Dunkirk marine sediments solidified with cement, lime and fly ash*. Engineering Geology, Vol. 166, pp 90–99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.09.007>
- YILMAZ Y., OZAYDIN V. (2013). *Compaction and shear strength characteristics of colemanite ore waste modified active belite cement stabilized high plasticity soils*. Engineering Geology, Vol. 155, pp 45–53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.01.003>
- ZENTAR R., DUBOIS V., ABRIAK N.E. (2008). *Mechanical behaviour and environmental impacts of a test road built with marine dredged sediments*. Resources. Conservation and Recycling, Vol. 52(6), pp 947–954. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.02.002>
- ZHU W., ZHANG C., GAO Y., FAN Z. (2005). *Fundamental mechanical properties of solidified dredged marine sediment*. J. Zhejiang Univ. (Eng. Sci.), Vol. 39(10), pp 1561–1565.