



INJECTION DES SABLES A L'AIDE D'UN NOUVEAU PRODUIT POLYMERE

A. BENNABI et D. LEVACHER

Laboratoire de Mécanique et de Géomécanique, Nantes

Abstract

Grouting is a more and more used construction procedure which increases strength of soils. Cement grouts injected under pressure are widely used. But the use of chemical solutions can be more fitted as their low viscosity enables them to penetrate through very small pores. In the research work presented here, the grout is a new polymer used for the stabilization of calcareous sands which presents weak mechanical characteristics. The treating consisting on grouting consolidation is studied under two aspects. The first aspect is relative to the strengthening of calcareous sands. The experimentation based on laboratory testing of soil mechanics is conducted with samples previously grouted. The strength increase is evaluated relatively to the main injection parameters. The second aspect concern the possibly use of this new chemical grout to improve the bearing capacity of piles driven into calcareous sands. Pull out tests of piles driven into Manche calcareous sand and grouted are carried out. The results showing a significant improve of the bearing capacity, are studied relatively to the properties of sand.

1. INTRODUCTION

Le frottement latéral des pieux battus dans les formations carbonatés est très faible devant les valeurs obtenues dans les sables siliceux. Une première étude expérimentale, utilisant un nouveau produit polymère a été réalisée [1]. Il s'agissait, d'une part, de définir les paramètres d'injection permettant la réalisation de la nécessaire condition d'adhérence entre le pieu métallique et le bulbe de sable injecté et, d'autre part, de vérifier le gain de frottement latéral des pieux battus en cuve, obtenu après injection. L'efficacité de l'injection de ce nouveau polymère étant démontrée en laboratoire, nous avons réalisé une nouvelle étude [2] en nous fixant deux objectifs :

- le premier objectif était la caractérisation mécanique de l'injection du sable carbonaté à l'aide de ce polymère. Cette caractérisation est obtenue grâce à l'essai de compression simple conduit sur des éprouvettes de sable injecté.

- le deuxième objectif était l'optimisation de la forme et de la position du bulbe de sable injecté pour l'obtention d'un meilleur gain de frottement latéral des pieux battus dans les sables carbonatés.

2. CARACTERISATION DE L'INJECTION

2.1. Méthodologie expérimentale

1) *Produit* : le produit utilisé - référence PA, fourni par G.T.I. [3] - est un polymère soluble dans l'eau, de viscosité dynamique et de densité faibles. Différentes teneurs en extrait sec ont été considérées.

Les valeurs de la densité sont de 1,051; 1,075 et 1,130 pour des teneurs en extrait sec de 15%, 25% et 30% respectivement.

2) *Matériaux* : Deux principaux matériaux ont été utilisés :

- le sable naturel de Manche, de 90% de teneur en CaCO_3 . Différentes classes granulométriques ont été utilisées.

- un sable artificiel obtenu par concassage d'une roche métamorphique d'origine pyrénéenne, de teneur en CaCO_3 avoisinant les 100%. Ce matériau était livré dans diverses classes granulométriques par la société OMYA.

3) *Préparation des éprouvettes de sable injecté* :

- *Première phase* : Fabrication des éprouvette de sable (fig.1)

Le sable est versé dans un tube cylindrique en PVC transparent de 56 mm de diamètre. Sa mise en place s'effectue par dépôt à hauteur de chute constante. La figure 2 illustre le procédé utilisé : le sable est déversé depuis un entonnoir d'un goulot de 4 mm de diamètre, et la hauteur de chute, de 20 cm, est contrôlée à l'aide d'une tige fixée sur l'entonnoir, grâce à la transparence du moule en PVC. L'extrémité inférieure de la tige se trouve à tout moment au niveau de la surface de dépôt du sable. L'opération de dépôt est accompagnée d'un déplacement manuel continu sur toute la section de l'échantillon, de sorte que la surface de dépôt reste plane pendant la mise en place du sable.

Le sable est ainsi mis en place entre deux filtres de graviers (de type 5/8) qui permettront au produit de s'écouler à travers l'échantillon sans problème de discontinuité aux extrémités de ce dernier.

- *Deuxième phase* : injection (fig. 2)

Une fois l'éprouvette de sable constituée, la phase de l'injection intervient. Un certain nombre d'éprouvettes ont été injectées à l'état sec, mais la plupart ont d'abord été humidifiées. L'humidification, par envoi d'eau sans application de pression, est réalisée du bas vers le haut de l'échantillon. Cette opération est arrêtée lorsque l'eau arrive au sommet du filtre supérieur. Le produit polymère est alors injecté sous pression. Il pénètre dans l'échantillon de sable, par le bas, en repoussant l'eau qui se trouve dans les interstices. L'injection est terminée lorsque le produit apparaît au niveau du filtre supérieur. Les échantillons de sable ainsi injectés sont maintenus dans leurs moules jusqu'à l'obtention d'une certaine tenue permettant de les retirer sans risquer de les abîmer.

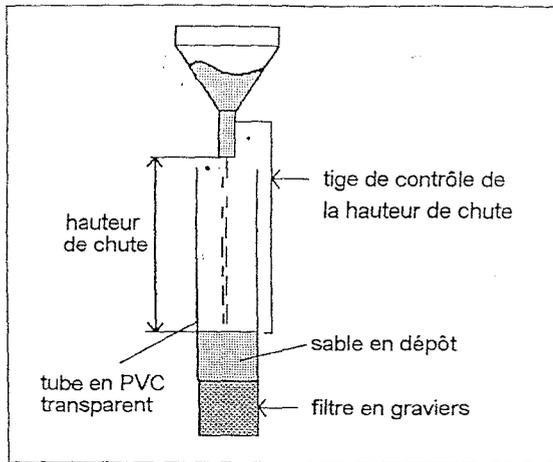


Fig. 1 : Préparation de l'éprouvette de sable

Après divers essais, le temps de maintien dans le moule a généralement été fixé à 1 heure.

Au démoulage, nous procédons à un certain nombre de mesures permettant de déterminer les quantités d'eau et de produit mises en jeu, ainsi que les principales caractéristiques physiques des échantillons de sable (poids volumique moyen, volume des vides, teneur en eau,...).

Les éprouvettes de sable injecté sont conservées dans des conditions (dans l'air ou dans l'eau) et pendant une durée (de quelques minutes à quelques jours) déterminées.

Une première partie des essais de compression simple (n° 1 à n° 17) a été réalisée avec des éprouvettes de 56 mm de diamètre. Avant l'essai, elles étaient taillées par sciage et leur hauteur était ramenée à 112 mm. La réalisation de ces essais se heurtait quelquefois à la difficulté d'obtenir des sections droites parfaitement planes et parallèles. Nous avons alors apporté une modification dans la procédure de préparation des éprouvettes qui a consisté à éliminer l'opération de sciage. Les éprouvettes étaient aux dimensions requises pour l'essai de compression simple dès le démoulage. A partir de cette modification, le diamètre était de 45 mm et la hauteur de 90 mm.

2.2. Description sommaire de la réaction chimique.

Le produit d'injection consiste en un polymère soluble dans l'eau qui comporte des radicaux actifs judicieusement placés le long de la chaîne macromoléculaire.

Lorsque ce produit est injecté dans un sol, dès qu'il rencontre un site carbonaté, les radicaux actifs réagissent sur les sites CO_3 et se fixent donc sur le minéral en dégageant du CO_2 et de l'eau.

La chaîne macromoléculaire étant suffisamment longue, elle réagit par différents sites répartis le long de la macromolécule sur plusieurs grains de carbonates et assure donc une liaison chimique entre ces derniers. Le résultat de cette injection est une cimentation artificielle des formations carbonatées.

Le développement des caractéristiques mécaniques au sein de ces "nouveaux matériaux" est fonction des

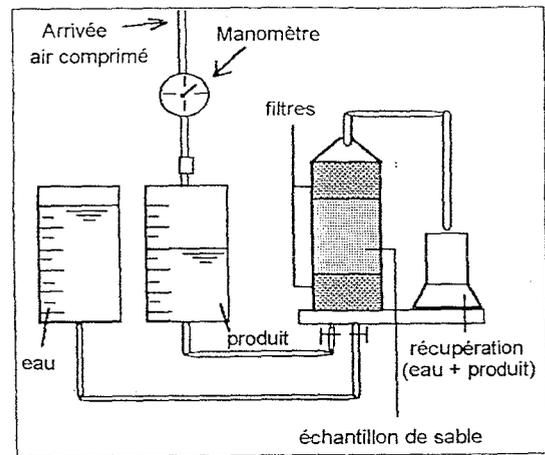


Fig. 2 : Procédure d'injection

nombreux paramètres qui régissent les phénomènes se produisant pendant la réaction chimique et pendant le durcissement : nature des matériaux (faiblement ou fortement carbonatés), dimensions des grains présentant une plus ou moins grande surface spécifique, teneur en extrait sec du produit, conditions de conservation des éprouvettes injectées.

2.3. Etude de la résistance à la compression simple.

Cette étude est réalisée sous la forme d'une exploration des propriétés mécaniques du sable injecté. Les paramètres retenus dans cette étude sont :

- La pression d'injection,
- La densité du sable,
- La durée de conservation des éprouvettes,
- La granulométrie.

1) Résistance en fonction de la pression d'injection et de l'état de compacité du sable

Le tableau 1 présente les conditions de l'expérimentation et les résultats de l'essai de compression simple. Le matériau utilisé était le sable de Manche tamisé à 2 mm. Les éprouvettes étaient démoulées 45 minutes après la fin de l'injection et stockées pendant 24 heures dans l'eau à 20 °C.

Une injection à faible pression permet au produit d'enrober correctement les grains de carbonates. Les radicaux actifs du produit réagissent avec un nombre élevé de sites CO_3 et forment autant de liaisons intergranulaires. Lorsque la pression d'injection diminue (fig.3), la résistance à la compression simple R_c augmente et la déformation à la rupture ϵ_r diminue traduisant une rigidification des éprouvettes.

La figure 4 regroupe les résultats de la résistance à la compression simple et du module de résistance (essais 4, 5 et 6). Les valeurs de ces deux paramètres augmentent avec la densité du sable, ce qui s'explique par le fait que de deux échantillons de sable de même volume, le plus dense compte un nombre de grains plus important et, s'ils sont injectés dans les mêmes conditions, développera un plus grand nombre de liaisons et une rigidité plus élevée.

Tableau 1

NUMERO DE L'ESSAI	1	2	3	4	5	6
Poids volumique moyen avant injection (kN/m ³)	12,6	12,4	12,3	12,4	13,5	13,8
Indice de densité	0,33	0,29	0,21	0,29	0,63	0,73
Indice des vides e	1,14	1,18	1,19	1,18	1,00	0,96
Porosité (%)	53,3	54,1	54,4	54,0	50,0	48,9
Extrait sec du produit ES (%)	15	15	15	15	15	15
Pression d'injection (kPa)	70	90	110	90	90	90
Volume injecté (cm ³)*	85 ± 3					
Durée de stockage (heures)	24	24	24	24	24	24
Vitesse cisaillement (mm/mn)	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Résistance à la compression simple (MPa)	2,03	1,84	1,58	1,85	2,44	2,96
Déformation à la rupture (%)	1,53	1,60	2,44	1,60	1,50	1,80

* : le volume injecté est déduit à partir du volume envoyé sous pression (ici 180 cm³) et du volume récupéré (eau et produit)

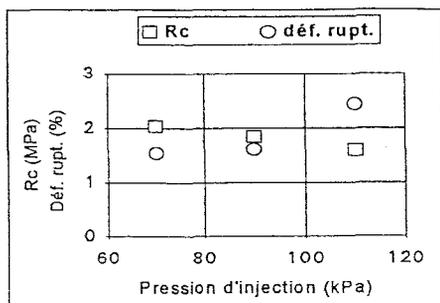


Fig. 3 : Résistance à la compression simple en fonction de la pression d'injection

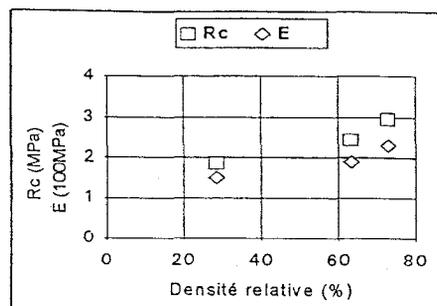


Fig. 4 : Résistance à la compression simple et module de résistance en fonction de l'état de compacité du sable

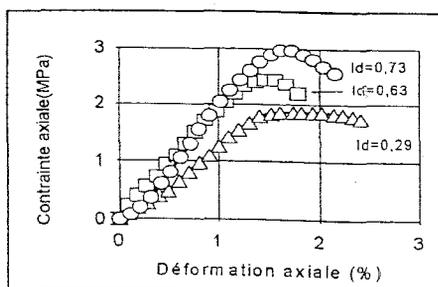


Fig. 5: Courbes contrainte-déformation (paramètre "densité du sable")

Tableau 2

NUMERO DE L'ESSAI	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Poids volumique moyen avant injection (kN/m ³)	12,9	12,5	13,0	12,9	12,7	12,3	12,7	12,7	12,9	12,9	12,7
Indice des vides e	1,09	1,17	1,08	1,10	1,13	1,20	1,13	1,13	1,10	1,10	1,13
Extrait sec du produit ES (%)	30										
Pression d'injection * (kPa)	150	150	180	165	170	180	150	150	160	160	160
Volume injecté (cm ³)	100 ± 3										
Temps de maintien dans le moule (mn)	60	55	30	33	25	22	35				
Durée de stockage (heures)	/	/	/	/	/	/	2,75	15	264	0,77	2,13
Vitesse cisaillement (mm/mn)	0,50										
Résistance à la compression simple (MPa)	1,96	1,30	0,79	0,84	0,71	0,51	2,00	4,48	3,57	2,59	2,98
Déformation à la rupture (%)	/	/	4,5	4,4	4,3	4,5	/	1,50	1,50	2,50	1,95

* Dans cette série d'essais la pression d'injection était difficile à maîtriser.

La figure 5 montre, l'allure générale des courbes contrainte - déformation obtenues pour ces mêmes échantillons. Pour les éprouvettes constituées de sable lâche, la forme étalée du maximum est révélatrice d'une rupture de type plastique. Le sommet nettement moins arrondi des courbes relatives aux éprouvettes denses traduit un comportement de type fragile à la rupture.

2) Résistance en fonction du temps.

Deux séries d'essais composent cette étude. La première série permet d'obtenir des informations sur le temps de prise. En effet, il n'existe pas de méthode standard pour la détermination du temps de prise des produits chimiques. Pour certains produits, plusieurs auteurs mesurent, dans une éprouvette inclinée, le temps nécessaire à l'arrêt de l'écoulement. Le produit utilisé dans ces travaux ne faisant prise qu'en présence de carbonates, ces méthodes sont inopérantes. Le temps de prise sera estimé à partir des résultats de l'essai de compression simple. En réalité, on mesure le temps nécessaire à l'obtention d'une résistance non négligeable. La deuxième série d'essais étudie l'évolution de la résistance des éprouvettes en fonction du temps de stockage dans l'eau. Le tableau 2 précise les

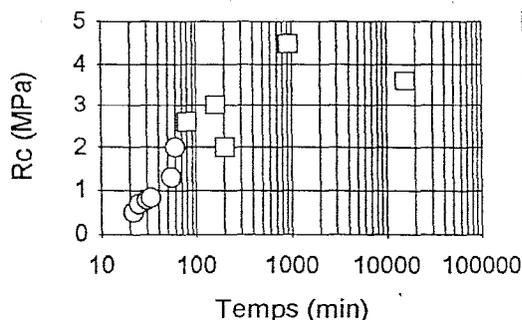


Fig.6 : Résistance à la compression simple (O : stockage à l'air - □ : stockage dans l'eau)

La comparaison des courbes de la figure 7 montre l'évolution du comportement des éprouvettes, testées à l'essai de compression simple, quelques dizaines de minutes à plusieurs jours après leur injection. Les courbes des jeunes échantillons sont caractérisées par un maximum étalé, révélateur d'un comportement plus ou moins plastique. La valeur moyenne de la déformation à la rupture est de 4,5%. Les valeurs du module initial sont de l'ordre de quelques dizaines de MPa (27 à 57 MPa). Les courbes obtenues pour des cures plus longues, avec des maxima nettement moins étalés, rendent compte d'un comportement à la rupture fragile. Les valeurs de la déformation à la rupture, nettement plus faibles que celles correspondant à la première série, ainsi que les valeurs du module initial (156 à 400 MPa) confirment ce comportement. La déformation à la rupture diminue avec la durée de conservation. Elle passe de 4,5% pour les très jeunes échantillons à 1,5%

conditions générales de cette étude, effectuée avec un produit à 30% d'extrait sec sur, d'une part, des éprouvettes de sable de Manche tamisé à 2 mm et écrasées tout de suite après le démoulage et, d'autre part, sur des éprouvettes de sable de Manche tamisé à 1,6 mm et conservées dans l'eau pendant des durées variant de quelques heures à quelques jours.

Dans cette série d'essais la pression d'injection était difficile à maîtriser.

La figure 6 montre les valeurs obtenues pour la résistance à la compression simple. La résistance augmente durant les premières heures puis semble se stabiliser assez rapidement autour d'une valeur de 3,5 MPa. Tant que la réaction chimique se poursuit, le nombre de liaisons intergranulaires et la résistance qui en résulte, augmentent. Les quelques écarts de la résistance à la compression simple peuvent être dus à la dispersion produite par la méthode de préparation des échantillons. Le versement du sable dans le moule PVC est une opération manuelle qui, même conduit avec soin, induit nécessairement des différences de structure au sein de l'échantillon. Les courbes contrainte - déformation typiques obtenues pour ces éprouvettes sont représentées sur la figure 7.

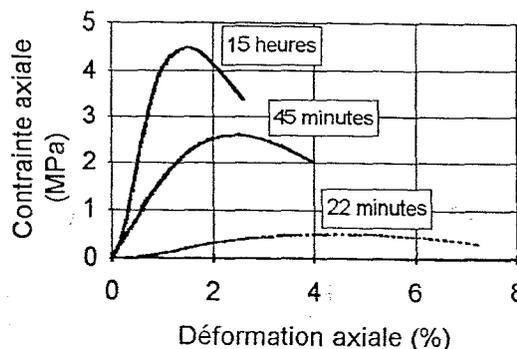


Fig. 7 : Courbes contrainte - déformation en fonction du temps typiques en fonction du temps de conservation.

à 15 heures.

3) Résistance en fonction de la granulométrie.

Pour la suite de l'expérimentation, les éprouvettes de sable injecté ont un diamètre de 45 mm et une hauteur de 90 mm.

Les matériaux utilisés dans l'étude de ce paramètre sont les carbonates naturels obtenus par concassage d'une roche métamorphique d'origine pyrénéenne. Les essais ont été réalisés pour des matériaux humides et pour des matériaux secs. Les granulométries considérées sont (en mm) :

- Pour les matériaux humides :

0,35 /	0,35 /	0,6 /	1 /	2 /
0,5	0,7	1,6	2,5	4

- Pour les matériaux secs :

0,35 /	0,6 /	1 /
0,7	1,6	1,25

La teneur en extrait sec du produit est de 30% pour les matériaux humides et de 15% pour les matériaux secs. Ces derniers présentent après leur injection des résistances plus importantes que les échantillons humides. Une faible teneur en extrait sec du produit maintient leur résistance dans des gammes courantes. La quantité de produit envoyée sous pression est constante. Mais la quantité effectivement retenue à l'intérieur des échantillons est fonction de la plus ou

moins grande résistance opposée à l'écoulement du produit. Pour tous les essais, la pression d'injection est la pression minimale possible, et dans ces conditions la quantité retenue dans l'échantillon augmente avec la finesse des particules constituant ce dernier. Il n'a pas été possible d'injecter la même quantité effective de produit pour tous les échantillons. Le tableau 3 indique les conditions et les résultats des essais entrepris.

Les échantillons, injectés à l'état humide, ont été stockés pendant 48 heures dans de l'eau à 20 °C. Pour l'échantillon n°22, la pression indiquée (70 KPa) a été appliquée à la fin de l'injection. Une pression de 10 KPa a suffi pour injecter près de 80% de la quantité totale. Mais cette faible pression a failli provoquer un bouchon dans l'échantillon.

Tableau 3

NUMERO DE L'ESSAI	18	19	20	21	22	23	24	25
Granulométrie (mm)	0,35/0,5	0,35/0,7	0,6/1,6	1/2,5	2/4	0,35/0,5	0,6/1,6	1/2,5
Poids volumique moyen avant injection (kN/m ³)	15,2	15,6	15,3	14,9	15,3	15,9	15,6	15,2
Extrait sec du produit ES (%)	30					15		
Pression d'injection (kPa)	250	170	50	45	70	110	80	40
Volume injecté (cm ³)	50	57	55	42	20	35	33	25
Temps de maintien dans le moule (mn)	60							
Durée de stockage (heures)	48					96		
Vitesse de cisaillement (mm/mn)	0,50							
Résistance à la compression simple (MPa)	4,16	3,84	1,37	0,71	0,25	1,80	1,34	0,68
Déformation à la rupture (%)	1,70	1,55	1,30	1,05	0,70	0,50	0,90	1,10

En effet, le choix de la pression d'injection doit tenir compte de deux inconvénients :

- Une pression trop faible permet d'amorcer la réaction chimique, mais est insuffisante pour que l'écoulement du produit puisse se poursuivre. Il se forme alors un bouchon qui s'oppose à la poursuite de l'injection.

- Une pression trop importante provoque des phénomènes de bouillonnement et modifie considérablement la structure de l'échantillon qui n'est alors plus homogène.

Les échantillons injectés à l'état sec ont été conservés à l'air, durant 4 jours, à température ambiante (20 ± 2 °C). Les courbes "contrainte-déformation" obtenues à l'essai de compression simple sont celles représentées sur les figures 8 et 9.

La forme de ces courbes traduit un comportement de type fragile pour les échantillons fins et un comportement quelque peu plastique pour les échantillons de granulométrie plus grossière. L'espace intergranulaire dans les échantillons fins est faible. Le nombre total de contacts intergranulaires dû, d'une part à la finesse des grains et d'autre part au nombre plus important des liaisons chimiques, en est responsable.

Lorsque les grains sont plus gros, l'espace intergranulaire est rempli de produit ne réagissant pas

chimiquement et donnant lieu à la formation, au sein de l'échantillon, d'une structure plastique.

La comparaison des courbes obtenues dans le cas des matériaux secs et dans celui des matériaux humides montre que, dans ce dernier cas, la déformation après le pic des contraintes est plus importante. L'interprétation de ce résultat peut être liée au comportement du produit d'injection : en présence d'eau, il se solidifie moins vite et se comporte, pendant l'essai de compression simple, comme une pâte très plastique retenant les grains qui se séparent alors lentement. Dans le cas d'une conservation à l'air, le produit devient plus rigide et les échantillons présentent, en conséquence, un comportement plus fragile.

En ce qui concerne la résistance à la compression simple et le module tangent, des tendances similaires sont observées pour les échantillons secs et pour les échantillons humides. En effet, les valeurs de ces paramètres augmentent avec la finesse des grains. Cela est dû au nombre plus important des liaisons intergranulaires créées par l'injection du produit polymère. Il en résulte une cohésion beaucoup plus grande dans les échantillons de granulométrie plus fine.

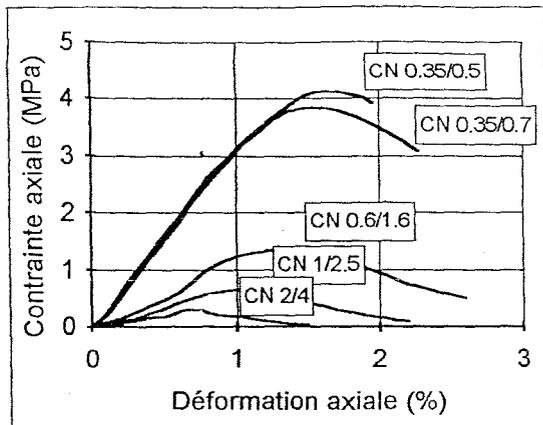


Fig. 8 : Courbes contrainte - déformation (échantillons de carbonates naturels (CN) humides - produit : ES = 30% - stockage : 48 heures dans l'eau)

Cependant, les tendances observées pour la déformation à la rupture sont contradictoires. Alors que pour les échantillons secs, la déformation à la rupture diminue avec la finesse des grains, traduisant ainsi un comportement de plus en plus fragile, elle augmente, au contraire, pour les échantillons humides. La présence d'eau permet une plus grande souplesse des liaisons intergranulaires qui, plus nombreuses pour les échantillons fins, peuvent retenir plus longtemps les grains. La valeur, plus élevée, de l'extrait sec, donne en même temps au produit plus de résistance et les liaisons rompent moins facilement.

2.4. Conclusions

Les principales conclusions concernant cette étude de caractérisation des matériaux injectés sont les suivantes :

1 - Les échantillons initialement denses sont plus résistants et plus rigides que les échantillons injectés à l'état lâche.

2 - Une injection réalisée sous faible pression permet un enrobage correct des grains. Il en résulte un enchevêtrement plus dense des macromolécules au sein de l'échantillon et donc une plus grande résistance.

3 - La résistance à la compression simple se développe rapidement. La valeur de 0,5 MPa est atteinte en une vingtaine de minutes pour le sable de Manche tamisé à 2 mm et présentant une structure lâche avant injection. Le développement de la résistance après injection semble s'arrêter au bout de quelques heures.

4 - Les plus grandes résistances sont obtenues pour des granulométries fines. Lorsque la dimension des grains diminue, la surface spécifique et le nombre de contacts intergranulaires augmentent, permettant à la réaction chimique de créer un plus grand nombre de liaisons intergranulaires et conduisent à une meilleure résistance.

3) ESSAIS D'ARRACHEMENT EN CUVE

Le but de cette série d'essais est d'optimiser le gain de frottement latéral des pieux battus et injectés dans le

sable carbonaté de Manche en fonction de la forme et de la position du bulbe de scellement.

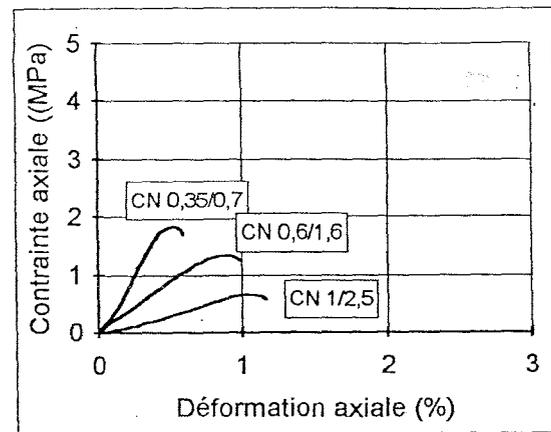


Fig. 9 : Courbes contrainte - déformation (échantillons secs - produit : ES = 15% - stockage : 4 jours à l'air)

3.1. Dispositif expérimental.

La station d'essais utilisée (fig. 10) comprend :

- Une cuve cylindrique de diamètre intérieur 900 mm et de hauteur 700 mm, remplie de 0,445 m³ de sable carbonaté de Manche.

- Un système de battage, fixé sur la cuve par l'intermédiaire de profilés métalliques. Le mouton, d'une masse de 1031 g, tombe en chute libre d'une hauteur constante égale à 0,45 m. Le battage est arrêté lorsque la fiche atteint 55 cm.

- Un dispositif d'arrachement conçu à partir de profilés de type U. Ce dispositif est relié à un système d'acquisition de données permettant la mesure de la force nécessaire à l'arrachement d'un pieu et la mesure du déplacement en tête de pieu pendant l'essai. L'ensemble est composé :

- * d'un système d'acquisition,
- * d'un vérin pneumatique de course 180 mm,
- * d'un capteur de force de 500 daN,
- * d'un capteur de déplacement de course 100 mm,
- * d'une alimentation en air comprimé pour le vérin.

La liaison entre la tête du pieu et le vérin est assurée par un câble, éliminant ainsi les risques d'efforts parasites pendant l'arrachement, le but étant d'obtenir une traction pure.

- Un détendeur et un manomètre permettent de choisir la pression pendant l'injection des pieux.

3.2. Conditions d'essais et résultats.

Les pieux testés sont ceux de la figure 10. Longs de 616 mm, avec un diamètre extérieur 32 mm et fermés à la base par une pointe conique d'angle au sommet 45°, ces pieux sont percés de trous de diamètre 4 mm, suivant 4 génératrices à 90°. Les zones de perçage apparaissent en pointillé sur la figure 10. Les pieux sont également percés de trois trous disposés à 120° sous la pointe.

Un essai sans injection de pression est réalisé au préalable dans chaque état du sable considéré (sable sec, lâche et dense -SSL et SSD- et sable saturé moyennement dense -SSaM-). Les pieux testés présentent deux types de configurations selon leur perçage :

- trous sur une zone de longueur moyenne (300 mm) plus ou moins éloignée de la pointe (pieu A).
- trous sur une petite longueur (120 mm) près de la pointe (pieu B),

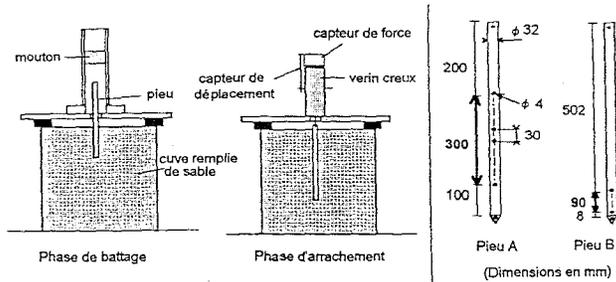


Fig. 10 : Station d'essais et pieux utilisés.

Le tableau 6 précise les conditions des essais d'injection et les résultats des essais d'arrachement. Le gain de frottement latéral est obtenu dans tous les états du sable considérés et pour les deux pieux injectés. Les meilleurs résultats sont cependant obtenus pour le pieu B. Les valeurs de la force d'arrachement sont respectivement de 289 daN, 122 daN et 78 daN. Le gain de frottement latéral est de l'ordre de 15 en sable sec et de 6 en sable saturé. Pour le pieu A le gain de frottement latéral est presque aussi important en sable sec dense, mais il est moindre en sable sec lâche et en sable saturé. Ces résultats montrent l'intérêt d'injecter en pointe de pieu, au travers de trous répartis sur une petite longueur.

A partir de ces résultats et compte tenu de la forme des bulbes, on peut distinguer deux comportements de pieux à l'arrachement :

- un comportement en frottement latéral (pieu A)
- un comportement combiné de frottement latéral et d'ancrage (pieu B)

3.3 Conclusions des essais d'arrachement.

L'efficacité de l'injection de ce nouveau polymère est démontrée grâce au gain de frottement latéral obtenu

Tableau 6

Pieux	1 (av. injection)	2	5
SSL			
ES=25%			
Pi=100 kPa			
Vi=0,65 l			
Fa (daN)	2,15	38,89	77,78
fs (kPa)	0,39	2,71	6,05
fs _{av} /fs _{av}		7,0	15,5
SSD			
ES=25%			
Pi=100 kPa			
Vi=0,65 l			
Fa (daN)	10,00	224,44	288,89
fs (kPa)	1,53	17,59	22,52
fs _{av} /fs _{av}		11,5	14,7
SSaM			
ES=25%			
Pi=15 kPa			
Vi=0,65 l			
Fa (daN)	12,12	91,11	122,22
fs (kPa)	1,92	5,21	12,00
fs _{av} /fs _{av}		2,7	6,3

dans tous les états du sable considérés pour le sable carbonaté de Manche. Les résultats montrent également l'intérêt d'injecter en pointe de pieu sur une longueur de perçage relativement courte.

Références

- [1] Levacher D. et Bennabi A. 1990. Injection des pieux battus dans les sables carbonatés. Annales de l'I.T.B.T.P.
- [2] Bennabi A. 1993. Application d'un produit polymère au traitement des sols et à l'injection des pieux battus dans les sables. Thèse de Doctorat soutenue le 9 décembre 1993.
- [3] Groupement Technique d'Ingénierie. 79 RN 10, Coignières.