

Etude géomécanique d'un matériau granulaire

M. Zaher

Laboratoire de Mécanique et Matériaux
Université Abdelmalek Essaadi - Faculté des Sciences et Techniques de Tanger - B.P. 416 Tanger, Maroc
e.mail : zaherweb@yahoo.fr

A. Hafidi Alaoui

Laboratoire de Mécanique et Matériaux
Université Abdelmalek Essaadi - Faculté des Sciences et Techniques de Tanger - B.P. 416 Tanger, Maroc

R. H. J. Maimmadi

Laboratoire de Mécanique et Matériaux
Université Abdelmalek Essaadi - Faculté des Sciences et Techniques de Tanger - B.P. 416 Tanger, Maroc

A. Laghcha

Laboratoire de Mécanique et Matériaux
Université Abdelmalek Essaadi - Faculté des Sciences et Techniques de Tanger - B.P. 416 Tanger, Maroc

Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude expérimentale d'un matériau granulaire se trouvant en très grande quantité sur des terrains constructibles de la ville de Tanger. Le matériau, déjà utilisé dans les travaux de pose de conduites et de couches d'assises de fondations, n'a jusqu'alors jamais été utilisé dans la réalisation de maçonneries.

Abstract

The objective of this work is the experimental study of a granular material being in very big quantity on lands of Tanger city. The granular material, already used in the pose of conducts and foundation's layers basis, doesn't have until then been used ever in the realization of masonries.

1. INTRODUCTION

La caractérisation des matériaux est une étape préalable utile et indispensable avant toute utilisation. Elle permet la connaissance de la composition chimique, minéralogique, des propriétés physico-chimiques, mécaniques et thermiques des matériaux.

Dans notre étude, on s'intéresse, dans un premier temps, à la détermination des caractéristiques physiques (essais d'identifications) du matériau. La connaissance de ces paramètres physiques, permet de prédire le comportement mécanique de la charge granulaire et influence le choix de son domaine d'utilisation. Par la suite, on procédera à la détermination des caractéristiques mécaniques de la charge granulaire.

2. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

La connaissance de ces propriétés permettra de déceler les différents granulats en présence, notamment les particules fines et leur sensibilité à l'eau.

2.1 Echantillonnage [1]

L'échantillonnage a été effectué suivant la norme NF P18-553 qui utilise la méthode de quartage. Cette méthode permet d'avoir des échantillons représentatifs de la carrière. Aucun traitement n'a été réalisé sur les échantillons prélevés. Les premières observations des matériaux prélevés ont relevées une forte ressemblance entre les échantillons prélevés: Matériaux fins de couleur foncée.

2.2 Analyse granulométrique [2]

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. L'essai a été réalisé selon la norme NF P94-056.

Granulats	Graviers	Gros sable	Sable moyen	Sable fin	Particules fines
Diamètre (mm)	2-20	0.5-2	0.2-0.5	0.2-0.08	< 0.08
Pourcentages	0%	0%	62%	30.36%	8%

Tableau 1. Résultats de l'analyse granulométrique

L'analyse granulométrique, montre que plus de 50% des éléments ont un diamètre > 0.08 mm et d'après la classification LCPC [3] on est en présence d'un sol grenu. D'autres part, plus de 50% des éléments de diamètre > 0.08 mm ont un diamètre < 2 mm et d'après la classification LCPC [3] on est en présence d'un sable.

L'analyse granulométrique, met également en évidence la présence de particules fines (8%). Il est donc indispensable de déterminer le degré de propreté de cette charge granulaire (voir tableau 1).

2.3 Equivalent de sable [1]

L'essai d'équivalent de sable (ES) permet de mettre en évidence la présence et la nocivité des particules fines dans le matériau. La présence de ces fines particules pourrait provoquer le phénomène de gonflement dans le matériau. L'essai est réalisé suivant la norme NF P18-598.

Les essais réalisés, sur quatre échantillons, donnent un équivalent de sable ES = 53 %. Ce résultat permet de classer ce sable comme faiblement argileux.

2.4 Mesure de la teneur en eau naturelle [1]

Avant de procéder à la mesure de la sensibilité à l'eau des particules fines, il est nécessaire de connaître la teneur en eau naturelle du matériau. La mesure de la teneur en eau a été réalisée suivant la méthode par étuvage suivant la norme NF P94-050. On applique cet essai immédiatement après le

prélèvement de l'échantillon du chantier. La valeur de la teneur en eau est donnée par la relation suivante :

$$w = \frac{m_h - m_s}{m_s} \times 100 = \frac{161.6 - 152.3}{152.3} \times 100 = 6.1\%$$

où: m_h est la masse de l'échantillon à l'état humide.
 m_s est la masse de l'échantillon à l'état sec (après passage à l'étuve $T = 150^\circ\text{C}$).

On note que le matériau étudié a une teneur en eau naturelle faible.

2.5 Plasticité : Détermination des limites d'Atterberg [4]

Les limites d'Atterberg (limité de liquidité w_l et limité de plasticité w_p) sont des teneurs en eau pondérales du sol. Les limites d'Atterberg permettent de prévoir le comportement des sols sous l'action des variations des teneurs en eau. L'essai est réalisé suivant la norme NF P94-051.

Les résultats obtenus sont dressés dans le tableau 2.

Paramètres	w_l (%)	w_p (%)	I_p (%) = $w_p - w_l$
Valeurs	39.4	23.3	16.1

Tableau 2. Résultats de l'essai de plasticité

Les essais de plasticité donnent un indice de plasticité $I_p \approx 16$; ce qui permet de classer ce sable comme étant plastique. Ce résultat concorde avec le résultat de l'essai d'équivalent de sable. Par ailleurs, on a $10 < I_p < 25$, ce sable serait ainsi doté d'un gonflement moyen [5].

2.6 Essai à la tâche [6]

L'essai à la tâche permet de quantifier la sensibilité à l'eau de la fraction argileuse présente dans le matériau. Pour ce faire, on fixe sur les grains d'argile, des molécules de bleu de méthylène. L'essai est effectué suivant la norme NF P94-068.

L'essai au bleu de méthylène donne une valeur au bleu $V_B = 2.54$. Ce résultat permet de classer ce sable comme étant sensible à l'eau.

2.7 Analyse des résultats

L'analyse granulométrique met en évidence qu'on est en présence d'un sable [3] dépourvu de squelette (absence de graviers et gros sables). Nous rappelons que les granulats constituent le squelette des matériaux à confectionner (béton, mortier, chaussée, etc..) et par conséquent améliorent considérablement la résistance mécanique de ces matériaux. Le choix d'un granulats est donc un facteur important, qui doit toujours être étudié en fonction des performances attendues spécialement sur le plan de la durabilité.

Par ailleurs, les résultats de l'essai d'équivalent de sable [7], de la limite d'Atterberg [5,7] et de l'essai à la tâche [1] permettent de répertorier ce sable comme étant sensible à l'eau et moyennement gonflant. Ce comportement limite l'utilisation de la charge granulaire, notamment comme matériau

composite (charge granulaire + liant). Le gonflement de l'un des composants du mélange engendre l'apparition de contraintes mécaniques, susceptibles d'entraîner la fissuration du matériau.

3. CARACTERISTIQUES MECANIQUES

Dans le domaine de génie civil, tout ouvrage (bâtiment, route, pont...) subit, lors de son exploitation, des sollicitations mécaniques qui peuvent être de type compression, traction, flexion, torsion ou des sollicitations combinées. Ces sollicitations poussées à des niveaux élevés engendrent des effets mécaniques préjudiciables tel que le cisaillement (glissement des particules constituant le matériau suivant des plans de cisaillement provoquant la rupture des liens).

Les paramètres mécaniques qui gouvernent le cisaillement maximal caractérisé par la contrainte maximale que peut supporter le matériau sont la cohésion [5] et l'angle de frottement interne [5]. Pour mesurer la cohésion, nous avons utilisé l'essai de cisaillement à la boîte de Casagrande.

Par ailleurs, le phénomène de gonflement peut apparaître dans le matériau, ainsi pour déterminer l'aptitude du matériau au gonflement on détermine le paramètre de compressibilité C_g [5] (l'indice de gonflement) à partir de l'essai de compressibilité à l'oedomètre.

En définitif, l'adéquation indispensable entre les caractéristiques mécaniques (et de compressibilité) et les propriétés requises pour utiliser le matériau dans la maçonnerie réside dans la détermination et l'analyse des paramètres donnant la cohésion et l'indice de gonflement.

Dans un premier temps, nous allons déterminer les caractéristiques du matériau à l'état lâche. Par la suite, nous nous intéresserons plus particulièrement à l'évolution de ces paramètres mécaniques entre l'état non compacté et l'état compacté afin d'analyser l'effet de la compression sur les propriétés mécaniques du matériau.

3.1 Procédure expérimentale

L'essai de cisaillement direct [8] a été réalisé suivant la norme NF P94-090. L'appareil utilisé est un appareil de cisaillement de Casagrande électronique automatique. L'essai permet de déterminer la contrainte maximale à la rupture. La cohésion sera déterminée à partir du cercle de Coulomb.

L'essai de compressibilité à l'oedomètre [9] a été réalisé suivant la norme NF P94-090-1. L'oedomètre utilisé est un oedomètre à chargement par l'avant. Cet essai permettra d'apprécier certaines caractéristiques du sable étudié, notamment le degré de compressibilité ainsi que l'aptitude du sable au gonflement.

3.2 Résultats et discussion

Les différents résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 3. Une analyse des résultats montre que le matériau, à l'état lâche, présente une très faible cohésion et un gonflement moyen ($C_g < 0.04$). Par ailleurs, l'étude met en évidence qu'une légère augmentation du poids volumique (par compactage) entraîne une amélioration très significative des caractéristiques mécaniques.

On note d'après ces résultats que le sable à l'état compacté présente des avantages sur le plan mécanique et de compressibilité, à savoir : une augmentation de 70% de la résistance à la rupture une

augmentation d'un facteur 5 de la cohésion et d'une diminution très significative de la compressibilité, estimée à 75%. Ce comportement est dû essentiellement au caractère plastique ($I_p = 16$) du matériau.

Contrainte normale appliquée (bar)	1	2	3	4
Contrainte maximale à la rupture (bar) : sable non compacté	0.4	0.52	0.67	0.8
Contrainte maximale à la rupture (bar) : sable compacté	1.5	1.8	2.2	2.42
Cohésion (bar) : sable non compacté ($\gamma = 1,6 \text{ KN/m}^3$)*	0.28			
Cohésion (bar) : sable compacté ($\gamma = 1,8 \text{ KN/m}^3$)*	1.30			
Indice de gonflement (Cg) : sable non compacté	0.01			
Indice de gonflement (Cg) : sable compacté	0.0025			

* γ : poids volumique apparent

Tableau 3. Résultats des essais mécaniques

4. CONCLUSION

L'étude expérimentale a mis en exergue des qualités et des insuffisances dans le matériau. En effet, ce matériau présente certains défauts, en particuliers la sensibilité à l'eau et l'absence de squelette (granulats de diamètres compris entre 0.5 mm et 20 mm) ce qui accentuerait son instabilité et sa dégradation.

Toutefois, ce matériau présente à l'état compacté des propriétés favorables sur les plans mécanique et de compressibilité, à savoir : Une augmentation d'un facteur trois de la limite de résistance à la rupture, une augmentation d'un facteur cinq de la valeur de la cohésion, une diminution significative de l'indice de gonflement (75%).

Avant toute utilisation dans la maçonnerie, ce matériau nécessite des traitements préalables:

1. Une correction granulaire en ajoutant la fraction de granulats de diamètre compris entre 0.5 mm et 20 mm, afin d'améliorer la résistance mécanique et la durabilité de la charge granulaire.
2. Utiliser le matériau à l'état compacté afin de diminuer les vides interstitiels et par conséquent augmenter sa cohésion, de diminuer son aptitude au gonflement et de limiter la pénétration de l'eau par montée capillaire.

Dans une phase ultérieure, nous nous intéresserons à limiter la sensibilité à l'eau du matériau. Nous proposons, de stabiliser ce matériau avec un liant ayant un pouvoir réducteur de l'activité de l'eau [10]. De cette manière, nous envisagerons de limiter la nocivité des particules fines (argiles) et par conséquent, améliorer le comportement mécanique du matériau composite (charge granulaire + liant). Ceci permettra d'élargir le champ d'utilisation de ce matériau (en béton ou mortier par exemple).

REFERENCES

1. Dupain R., Lanchon R., Saint-Arroman J.C., Granulats, sols, ciments et bétons, caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire, Collections Capliez A., Paris, pp. 5,6, 46, 49, 50 et 54, 1995.

2. Afnor, NF P94 056, Analyse granulométrique des sols, méthode par tamisage, mai 1992.
3. Schlosser F., Eléments de mécanique des sols, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, pp. 16 et 18.
4. Afnor, NF P94-051, Détermination des limites d'Atterberg, mars 1993.
5. Costet J., Sanglerat G., Cours pratique de mécanique des sols, Editions DUNOD, Tome 1, Paris, pp. 153, 154 et 186, 1991.
6. Afnor, NF P94-068, Mesure de la quantité et de l'activité de la fraction argileuse, essai à la tâche, novembre 1993.
7. Destrac J.M., Lefaivre D., Maldent Y., Vila S., Mémotech. Génie Civil, Editions CASTEILLA, Collection CAPLIEZ A., Paris, p. 449, 1996.
8. Afnor, NF P94-071-1, Essai de cisaillement à la boîte, février 1987.
9. Afnor, NF P94-090-1, Essai oedométrique, décembre 1997.
10. Amrani M., Nachir M., Mahyaoui M., Recherche sur les enduits intérieurs et extérieurs au plâtre, revue marocaine de génie civil, pp. 49-54, 1994.