

ETUDE DE L'ECRASEMENT DES GRAINS DU MATERIAU PEGMATITE A L'ESSAI PROCTOR

MELBOUCI B.* et ROTH J. C.**

* Laboratoire de géomatériaux, environnement et aménagement / Université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou
** Laboratoire de Physique et Mécanique des matériaux / Université de Metz (France)

RÉSUMÉ

Dans cet article, on tentera de clarifier que lors du compactage des couches de chaussées, les grains de pegmatite ne sont pas seulement réarrangés, mais sous des énergies importantes, un certain nombre de grains se cassent ou se fissurent que se soit à l'état sec ou en présence d'eau. Les essais proctor menés au laboratoire ont montré comment l'écrasement est influencé par la taille des grains, par l'état du matériau sec ou humide et par l'énergie de compactage.

Mots Clés

pegmatite - essai proctor - compactage - énergie de compactage - teneur en eau - quantification - écrasement des grains

1. Introduction

Lors de la construction des routes ou des voies de chemin de fer, de terrassement du sol, des assises de chaussées, des remblais et des barrages, il est important d'assurer un compactage mécanique pour obtenir une masse volumique élevée. Celle-ci est obtenue par :

- L'emploi de facteurs mécaniques suffisamment puissants pour vaincre les forces de frottement entre particules. Ces facteurs seront caractérisés par l'énergie qu'ils peuvent développer, dite "énergie de compactage";
- Le choix d'une granularité appropriée des emprunts ;
- L'addition d'eau pour lubrifier le sol et en faciliter la réorganisation.

L'effet de compactage engendré par un compacteur est produit soit par l'action de son poids statique, soit par action dynamique, soit la combinaison des deux. Lorsqu'un compacteur se déplace à la surface d'une couche de matériau, on enregistre des déplacements et des déformations dans celle-ci. Les déformations qui se produisent à chaque passage peuvent être considérées comme la somme des déformations volumiques et des déformations de cisaillement. On ne peut donc se contenter de viser que des niveaux élevés de densité mais il faut tenir compte aussi de certains paramètres liés au matériau tels que : le non écrasement des grains, la non fissuration du matériau, maintien des caractéristiques du matériau, homogénéité du compactage....

Lors du compactage d'un sol, on a essentiellement quatre objectifs à atteindre :

- Diminution des tassements;
- Amélioration des caractéristiques mécaniques;
- Diminution de l'attrition;
- Réduction de la perméabilité du sol.

C'est donc une opération qui consiste, à réduire le volume des interstices du matériau considéré, et par là avoir une meilleur résistance.

Pour simuler la procédure de compactage à adopter, des essais de laboratoire ont été développés depuis de nombreuses années. Ils diffèrent seulement par le niveau d'énergie appliqué à l'échantillon du sol. Au cours de cette étude expérimentale sur le matériau pegmatite, nous avons fait varier trois paramètres

- la présence d'eau à l'optimum proctor ;
- la granulométrie ou classes granulaires ;
- l'énergie de compactage ;

2. Le compactage à l'état sec

Le compactage à sec a une importance économique et même sociale considérable dans les pays où l'eau est une denrée très rare et qu'il vaut mieux utiliser l'eau à des usages humains ou même seulement agricoles.

D'autre part, nous attirons l'attention que la teneur en eau optimale dépend de l'énergie de compactage et qu'il peut être aux plans économique et technique préférable de choisir un compactage plus puissant que d'arroser le matériau et le compacter avec un matériel plus léger.

Pour des teneurs en eau basses, jusqu'à $W/W_{opt} = 0.2$, MOREL G. et FROUMENTIN M. montrent que les taux de compactage sont toujours plus faibles que ceux obtenus à $W = W_{opt}$. Cette décroissance des niveaux de taux de compactage pour une diminution de W est d'autant plus forte que le pourcentage de fines dans le matériau est élevée.

3. Identification du matériau pegmatite

Origine des échantillons : Les échantillons de pegmatite ont été prélevés sous forme de blocs au lieu dit « Taguemount -ne-Cherif » à 2 Km du chef lieu de la commune d'Ait-oumalou et à 30 Km au Nord-Est de la Wilaya de Tizi-ouzou.

Après avoir soumis les blocs de roche au concasseur giratoire, les fractions granulaires retenues se répartissent en trois classes granulométriques : 0/6 - 6/10 - 10/14. On obtient les échantillons d'essai par séparation de l'échantillon global de chaque classe granulaire par un diviseur à couloir.

Essai d'équivalent de sable : Lorsque les sols contiennent très peu de particules fines, les limites d'Atterberg ne sont pas mesurables. Pour déceler la présence en quantité plus ou moins importante de limon et d'argile, on réalise un essai de bleu de méthylène ou un essai d'équivalent de sable. Dans notre cas, une valeur moyenne a été obtenue sur une série de trois essais, égale à 68,33.

A 10% de fines, sa valeur moyenne est 74. Le matériau étudié est donc non plastique et il contient une faible fraction de fines (feldspath).

Caractéristiques physiques : Les valeurs de $\gamma_s, \gamma_d, \gamma_{sat}, w, e, n, S$, obtenues sont regroupées dans le tableau 1 ci-après:

Tableau 1 : Caractéristique physiques du matériau pegmatite

Caractéristiques physiques	W%	γ_s g/cm ³	γ_d g/cm ³	γ_{sat} g/cm ³	e%	n%	S _v %
	17.05	2.67	1.785	2.09	45.52	31.28	81.58

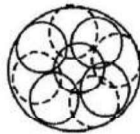
Essai Proctor : L'essai Proctor est normalisé et adapté aux impératifs du domaine routier. On distingue deux types d'essai : l'essai proctor normal et l'essai proctor modifié. Le tableau 2 rassemble les principales caractéristiques de ces deux essais:

Tableau 2 : Caractéristiques de l'essai proctor

Essais caractéristiques	Proctor normal	Proctor modifié
$\gamma_{d\text{opt}}$ [g/cm ³]	1.78	2
W _{opt} %	7.78	9.62

Les courbes proctor obtenues sont pratiquement aplaties, le matériau est donc peu sensible à l'eau.

Confection des éprouvettes pour l'étude d'écrasement des grains : Les éprouvettes sont confectionnées avec des granulométries identiques pour chaque classe granulaire (0/6, 6/10 et 10/14). La durée du tamisage est de 10 minutes avec une fréquence de 7,5 HZ. Pour que toute la surface supérieure soit bien compactée, les coups doivent couvrir la totalité de la surface comme le montre le schéma (figure 1).

**Figure 1:** essai dans le moule proctor.

Pour simuler l'influence des différents types d'engins de compactage, nous avons fait varier le nombre de coups de la dame comme suit:

N= 15, 25, 35, 55, 75, 100, 125, 150

Deux séries d'éprouvettes ont été confectionnées:

- La première avec le matériau à l'état sec;
- La deuxième avec une teneur en eau optimale de 7.78 %.

4. Définition des paramètres quantifiant l'écrasement des grains:

On utilisera deux paramètres pour quantifier l'écrasement des grains de notre matériau à l'essai proctor. Ces paramètres sont "Cu" et "B₁₀".

Cu : c'est le coefficient d'uniformité ou de Hazen.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

D₆₀ : c'est le diamètre à travers lequel on a 60% du tamisat cumulé.

D₁₀ : c'est le diamètre à travers lequel on a 10% du tamisat cumulé.

Si Cu > 5 la granulométrie est dite étalée (continue)

Si Cu < 2 la granulométrie est dite étroite (uniforme)

B₁₀ : est un paramètre qui caractérise le degré d'écrasement des grains. Il est défini par Lade et Yamamura en 1996 par la formule suivante:

$$B_{10} = 1 - \left(\frac{D_{10f}}{D_{10i}} \right)$$

D_{10i} : diamètre correspondant à 10% du tamisat cumulé avant l'essai.
D_{10f} : diamètre correspondant à 10% du tamisat cumulé après essai.
0 ≤ B₁₀ ≤ 1.

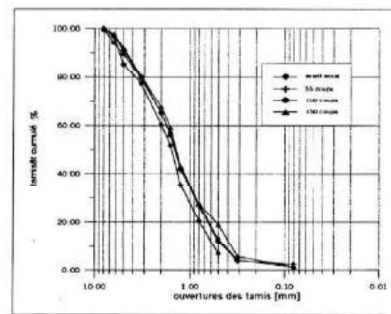
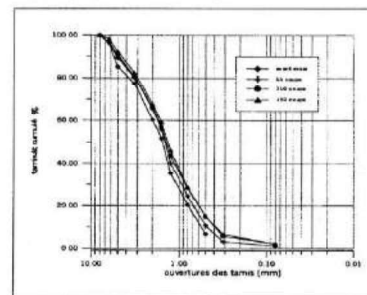
La valeur de ce paramètre est égale à 0 s'il n'y a pas de rupture des grains et égale à 1 si la taille des grains est très petite par rapport à la taille initiale (s'il se produit beaucoup de rupture des grains).

4.1. Etude de l'écrasement des grains

La méthode la plus simple qui permet de quantifier l'effet d'attrition des particules est la comparaison des courbes granulométriques avant et après les essais proctor. Ces derniers montrent qu'il y a un grand changement de la structure granulaire en fonction du nombre de coups, de l'énergie de compactage de la présence ou non d'eau et de la classe granulaire.

4.2. Influence du nombre de coups

L'augmentation du nombre de coups influe peu sur la classe granulaire 0/6 (figures 2 et 3). On a constaté qu'une légère production de fines qui reflète une bonne résistance à l'écrasement de cette granulométrie. En effet, les grains pour cette fraction sont petits et donc sains et plus résistants. En se référant sur les modes d'écrasement de Guyon et Troadec [2], on peut conclure qu'on est en présence d'une abrasion.

**Figure 2:** Etalement des courbes granulométriques en fonction du nombre de coups pour la classe granulaire 0/6 à l'état sec.**Figure 3:** Etalement des courbes granulométriques en fonction du nombre de coups pour la classe granulaire 0/6 à l'état humide.

Plus la taille des grains augmente (classe 6/10 et 10/14) et plus le nombre de coups augmente, plus les courbes granulométriques se décalent de la courbe initiale (figures 4, 5 et 6). Ceci peut s'expliquer par le fait que les grains initiaux diminuent de taille, ce qui augmente la production de fines. Ce qui nous amène à penser qu'on est en présence non seulement de l'abrasion mais aussi des autres modes de rupture : écaillage et fracture des grains.

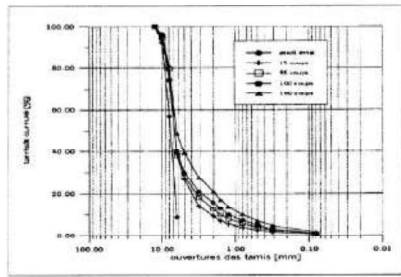


Figure 4 : évolution de la dégradation des grains en fonction du nombre de coups pour la granulométrie 6/10 à l'état sec.

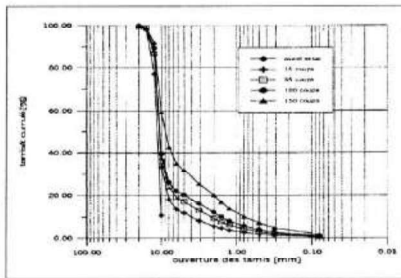


Figure 5 : évolution de la dégradation des grains en fonction du nombre de coups pour la granulométrie 10/14 à l'état sec.

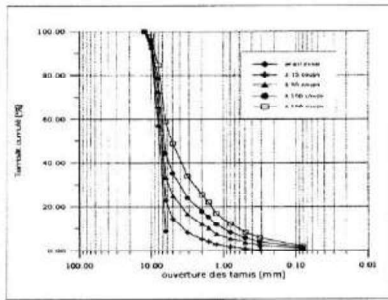


Figure 6 : évolution de la dégradation des grains en fonction du nombre de coups pour la granulométrie 6/10 à l'état humide

4.3. Influence de la présence d'eau

Dans le cas de la classe 0/6, les courbes obtenues pour les états sec et humide sont pratiquement confondues, même lorsque le nombre de coups ou l'énergie de compactage évolue de 55 à 150 coups. L'eau n'influe donc pas sur la dégradation des grains (figure 7).

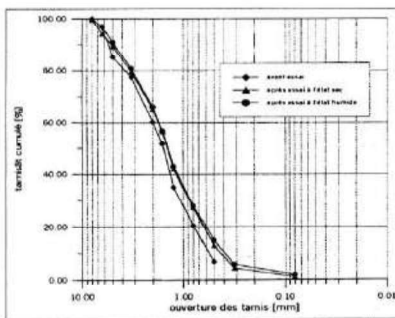


Figure 7 : courbes granulométriques de la classe granulaire 0/6 aux états sec lâche et humide pour 55 coups

Plus la classe granulaire augmente et plus l'énergie de compactage augmente, plus l'écart des courbes granulométriques, aux états sec ou humide, devient important (figure 8).

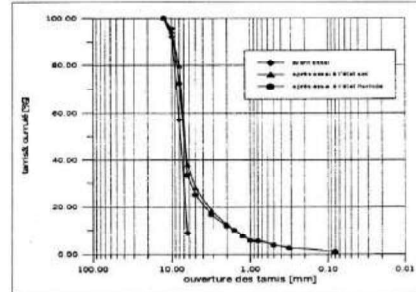


Figure 8 : courbes granulométriques de la classe granulaire 6/10 aux états sec lâche et humide pour 55 coups

C'est à partir d'une taille supérieure à 10 mm (cas de la classe 10/14) que l'eau commence à avoir une influence sur la rupture des grains (figure 9). En effet, on a obtenu des étalements plus importants des courbes granulométriques. L'eau en entourant les grains de cette classe pénètre dans les micro fissures et rend les zones les plus fragiles plus molles, ceci constitue donc des croûtes facilement dégradables. Ceci confirme les résultats de Mura et al [3] qui ont montré que la résistance individuelle en présence d'eau des grains devient plus faible.

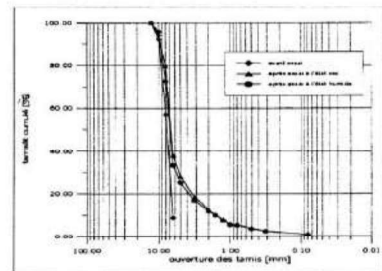


figure 9: courbes granulométriques de la classe granulaire 10/14 aux états sec et humide pour 150 coups

4.4. Influence de « Cu » sur l'état des grains en fonction de l'énergie de compactage

a) A l'état sec

Pour la granulométrie 0/6, Cu augmente jusqu'à 55 coups puis tend à se stabiliser à partir de 75 coups (Figure 10) ; ce qui peut se traduire qu'au delà de 75 coups le degré d'écrasement se stabilise. Pour les granulométries 6/10 et 10/14, Cu augmente avec l'augmentation de la taille des grains. Ceci justifie que le degré d'écrasement évolue avec l'augmentation de Cu (figure 11).

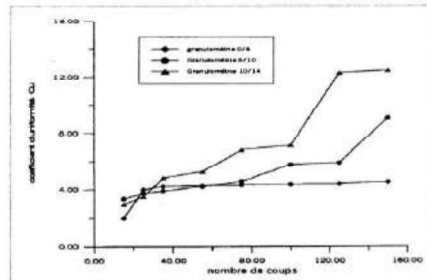


Figure 10 : influence du nombre de coups sur le coefficient d'uniformité à l'état sec

b) A l'état humide

Les mêmes constatations ont été observées que pour l'état sec. Il faut toutefois souligner que l'écart obtenu pour 150 coups entre les granulométries 0/6 et 6/10 pour l'état sec est plus important que celui de l'état humide ; alors que le contraire a été observé pour l'écart obtenu pour 150 coups entre les granulométries 6/10 et 10/14. Ceci montre que l'état humide accélère la dégradation des grains lorsqu'ils sont de dimensions plus importantes.

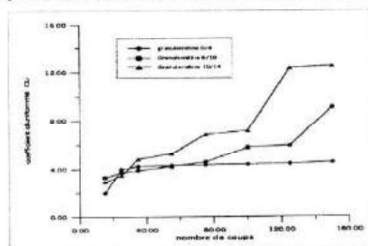


Figure 11 : influence du nombre de coups sur le coefficient d'uniformité à l'état humide

4.5- Influence de B_{10} sur l'état des grains en fonction de l'énergie de compactage

a) A l'état sec

Pour la granulométrie 0/6, on constate que l'énergie commence à se stabiliser à partir de 15 coups ; alors que pour les granulométries 6/10 et 10/14, B_{10} évolue beaucoup avec l'énergie de compactage. Cette évolution est d'autant plus importante pour la granulométrie 10/14. Plus le degré d'écrasement est élevé plus les valeurs de B_{10} sont élevées (figure 12).

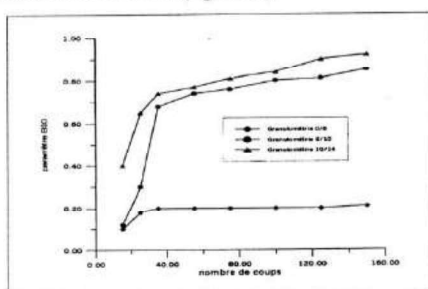


Figure 12 : influence du nombre de coups sur le degré d'écrasement des grains à l'état sec

b) A l'état humide

Les mêmes constatations ont été observées, de plus les écarts entre les granulométries 0/6 et 6/10 est moins importante pour cet état que pour l'état sec. On observe le contraire pour l'écart entre les granulométries 6/10 et 10/14.

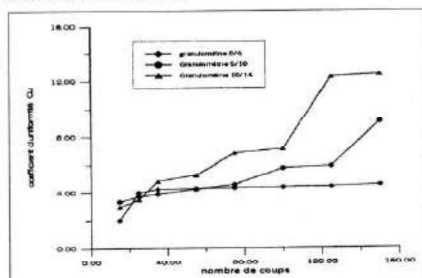


Figure 13 : influence du nombre de coups sur le degré d'écrasement des grains à l'état humide

Conclusion

Les essais proctor ont prouvé que l'écrasement des grains augmente considérablement avec l'augmentation du nombre de coups et de manière significative avec la taille des grains de pegmatite. Cet écrasement, particulièrement pour la classe 10/14, est d'autant plus important que le matériau est humide pour des énergies de compactage élevées (supérieures à 50 coups). Les paramètres C_u et B_{10} confirment que l'écrasement des grains de ce matériau pegmatite dépend essentiellement de ces trois facteurs :

- L'influence de la granulométrie;
- L'influence de l'énergie de compactage;
- La présence d'eau.

Compte tenu de la complexité des phénomènes caractérisant le comportement des matériaux au compactage, et de la multiplicité des types d'engins existants sur le marché, il est insuffisant de se limiter uniquement aux essais de laboratoire, mais il faut compléter ce travail par une étude du comportement au compactage de ce matériau sur chantier.

Bibliographie :

GUYONE., TROADEC J.P. : *Du sac de billes au tas de sables*, Editions Odile Jacob, Sciences, 1994.

LADE P. V., YAMAMURO J. A., et al : *significance of particle crushing in granular materials*, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 122, N° 4, 1996, pp. 309-316. MIURA et AL: *Particle-crushing of a decomposed granite soil under shear stresses*. Soils and Foundations, Vol 19, N° 3, 1979.

MELBOUCI B.: *Identification du matériau pegmatite de la région de Kabylie*. Revue Algérie Equipement N°36 Décembre 2002

MELBOUCI B., HANNACHI N. E.: *Etude de l'écrasement des grains de pegmatite à l'essai oedométrique*. Annales du Bâtiment et des Travaux Publics N° 4 septembre 2002.

MOREL G., FROUMENTIN M. : *le compactage à faible teneur en eau*. Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées N° spécial 12 Juin 1982.