

Les Tufs Gypseux et Calcaires en Zones Arides
Essais et Critères de Sélection
HAFSI Abdellatif, LTPS Ouargla

Résumé :

Nous présentons dans ce travail les principaux matériaux locaux utilisés en corps de chaussées en zones sahariennes, notamment, les matériaux gypseux, calcaires, et gypso-calcaires. Aussi, sont présentés les essais permettant de les identifier, ainsi que les critères généralement adoptés à leurs sélections en vue d'une meilleure stabilité à long terme de la route.

Mots clés : Tuf, Essais, Gypse, Calcaire, Gypso-calcaires, Sélection.

1) Introduction

La route constitue l'infrastructure de transport la plus utilisée, par conséquent, elle est soumise en permanence à un trafic sans cesse croissant, ceci, lui impose d'être toujours en bonne état structurelle et de fonctionnement. Etant constituée principalement de deux structures, à savoir, une couche en surface "noire", ou de roulement constituée d'enrobé sous ses différentes formes, et des sous couches, en nombre de deux en général, qui sont la couche de fondation et la couche de base. Seule une bonne conception suivie d'une bonne réalisation de ces trois couches, peuvent garantir la durabilité de la route et sont bon fonctionnement. Parmi les éléments de conception de la route, on trouve le choix des matériaux adéquats, chose qui n'est pas toujours simple, le problème de disponibilité de ces matériaux en quantité et en qualité est souvent posé. L'expérience acquise en technique routière au Sahara a permis d'identifier certains matériaux locaux adéquats, il s'agit des sables gypseux, des sables calcaires et leur mélange, les sables gypso-calcaires. Ils proviennent des encroûtements présents en quantité plus ou moins importantes en zones arides.

Dans ce travail, on présentera la méthode de leur identification, basée sur un certains nombres d'essais, et les critères guidant leur sélection.

2) Définitions :

2.1 Le Tuf :

C'est un calcaire tendre et poreux de formation récente, peut contenir des grains de quartz (sable).

2.2 L'Encroûtement :

C'est la partie plus ou moins cimentée d'une accumulation calcaire ou gypseuse à l'intérieur d'un sol, ou en surface, et s'étendant à l'ensemble d'un horizon.

2.3 Le Gypse :

Le gypse est un minéral tendre, de densité 2.3 g/cm^3 , de structure granulaire, lamellaire ou fibreuse. Il est de couleur blanche et prend quelquefois du fait de différentes impuretés des couleurs grises, rougeâtres, jaunâtres et noires. Il se dissout facilement dans l'eau. Chimiquement il est composé de sulfate de calcium hydraté, ayant comme formule : $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

2.4 Le Calcaire :

Connu principalement sous sa forme de carbonate de calcium CaCO_3 , il est l'un des minéraux les plus répandus de l'écorce terrestre. Il constitue des roches grenues à grands, moyens et fins grains; sa densité est de 2.7 g/cm^3 . il est peu soluble dans l'eau, et réagit vivement à l'action des acides.

2.5 La Zone Aride :

C'est la région dont le taux de pluviométrie annuel est compris entre 100 et 400 mm.

3) Essais d'Identification

Cinq principaux essais sont à la base de la caractérisation des tufs d'encroûtement, par caractérisation, on entend, l'identification physique et chimique et le comportement mécanique sous charge pesante et hydrique.

3.1) Identification physique et chimique.

Deux essais sont réalisés pour identifier la structure des tufs d'encroûtement, il s'agit de l'analyse granulométrique et de l'analyse chimique.

3.1.1) Analyse Granulométrique

Elle est réalisée à la base de la norme NF P 94-056 Mars 1996, on donnera ci-dessous une description simplifiée.

- a) **Objet :** Détermination de la distribution en poids des particules d'un matériau suivant leur dimension ($D \geq 0.08$ mm)
- b) **Domaine d'Application :** classification des sols. Etude des matériaux de construction.
- c) **Principe de l'essai :** fractionnement en plusieurs catégories de grains de taille décroissantes par tamisage.
- d) **Essais et résultats :** on utilise des tamis et des passoirs normalisés en plus de l'appareillage courant de laboratoire. On verse le matériau dans le tamis de la plus grande taille. On recueille le refus et le tamisât. Le tamisât est versé dans le tamis de la taille inférieure et ainsi de suite. A la fin, on pèse les différents refus et on les cumule. Les poids sont rapportés au poids initial, les pourcentages obtenus sont représentés sur la courbe granulométrique.
- e) **Particularité de l'essai :**
 - Il est possible de faire l'analyse soit par voie sèche, soit par voie humide; dans les deux cas tous les poids déterminés sont des poids secs.
 - C'est un essai largement utilisé et de réalisation facile.
 - L'analyse peut se faire manuellement ou avec des vibro-tamis.
 - L'analyse granulométrique nécessite, en plus des opérations de tamisage, des opérations de lavage, de séchages et de pesés.
 - Le temps d'essai peut varier notablement suivant le type d'essai et de matériau utilisé (1 à 5h).
 - Le poids d'échantillon à utiliser est tel que $M \geq 200D$. (M masse de l'échantillon en grammes et D dimension maximale en mm des plus gros grains).

3.1.2) Analyse chimique

Elle est réalisée à la base des normes NF P 15-461 ; BS 1377 et NF P 94-048, pour la détermination des taux d'insoluble (le quartz principalement), le taux de gypse, le taux de carbonate et la teneur en sels. On donnera ci-dessous un résumé de la méthode.

Les essais de détermination du taux de carbonates et de sulfates sont réalisés sur la fraction granulométrie inférieure à 1 mm.

a) Détermination du taux de carbonates

L'essai de détermination du taux de carbonate est effectué suivant la norme NF P 15-461 Mai 1964. On applique sur l'échantillon de sol un excès d'acide chlorhydrique et l'excès est dosé en retour par une solution d'hydroxyde de sodium, d'où on détermine exactement le taux de carbonate existant dans le sol.

b) Détermination du taux de sulfates

L'essai est réalisé à la base de la norme BS 1377 Dec. 1990, le taux de sulfate dans un sol est déterminé par la méthode gravimétrique selon laquelle on ajoute du chlorure de baryum à l'eau ou l'extrait acide de sol, puis on assèche et on pèse le précipité de sulfate de baryum.

On calcul alors le taux à partir de la masse du matériau utilisé dans l'analyse et de la masse de sulfates de baryum précipité.

c) Détermination du taux d'insolubles

Les insoluble sont les silicates (en particulier le quartz : principal composant du sable) corps insolubles dans l'acide chlorhydrique.

L'essai de détermination du taux d'insolubles est effectué suivant la norme NF P 15-461 Mais 1964. Une masse de 2g d'échantillon est additionnées à une quantité d'acide chlorhydrique, après chauffage et filtration de la liqueur, on rajoute une solution de carbonate de sodium, on bouillie l'ensemble, et après filtration, on procède à un double lavage avec l'HCl et l'eau distillée, et enfin, on calcine le filtre avec son contenu et on pèse.

Le résultat de ces deux types d'analyse permet de classer le matériau du point de vu granulométrique c.à.d. dire si c'est un matériau caillouteux, graveleux, sableux à granulométrie grossière, moyenne ou fine. Aussi, il permet de donner les taux de sable contenu, de gypse, et de carbonates, ainsi, on pourra dire que ce matériau est un sable gypseux, ou c'est un sable calcaire, ou c'est un sable gypso-calcaire.

Une classification est donnée dans le tableau 1.

	Encroûtement	Calcaire	Gypseux	Gypso-calcaire
Taux de Gypse et de calcaire	Calcaire	50 à 95 %	Moins de 10 %	10 à 50 %
	Gypse	Moins de 10 %	40 à 90 %	10 à 50 %
	Gypse + calcaire	Plus de 50%	Plus de 50%	Plus de 50%

Tableau 1 – Les différents types d'encroûtements selon la nature chimique

3.2) Essais de comportement mécanique.

Les essais caractérisant le comportement mécanique sont les essais liés à la fonction même du matériau, celle de résistance, de portance, et de non déformabilité sous charge pesants (le trafic), ou sous charge hydrique (l'eau).

A cet effet, Trois essais sont réalisés, il s'agit en premier de l'essai Proctor, déterminant l'aptitude au compactage, en deuxième, c'est l'essai CBR, déterminant la portance du matériau avec, ou sans l'influence de l'eau, et en troisième, l'essai de compression simple, déterminant la cohésion et la résistance de matériau.

3.2.1) L'essai Proctor

Il est réalisé à la base de la norme NF P 94-093 Sept.97, on donnera ci-dessous une description simplifiée.

L'essai Proctor a pour objet la détermination de la teneur en eau optimale et la densité sèche maximale d'un matériau soumis à un compactage normalisé d'intensité donnée. Il est utilisé dans le domaine de la géotechnique routière, et dans le contrôle de la mise en œuvre des matériaux de remblais.

Son principe, est que lorsqu'on compacte de façon identique des échantillons d'un même sol, à des teneurs en eau différentes, on constate que la densité sèche ρ_d varie et passe par un maximum pour une teneur en eau déterminée (dite optimale) w_{op}

L'essai est réalisé en compactant un échantillon dans un moule normalisé, dit moule Proctor ou CBR, à l'aide d'une dame et suivant un processus normalisé. Après chacun des 5 ou 6 compactages, on mesure la teneur en eau et la densité sèche.

Le résultat de l'essai est donné sous forme d'une courbe (dite courbe Proctor), ayant en abscisse les teneurs en eau, et en ordonnée les densités sèches.

A titre d'exemple on donne sur le tableau 2, la plage de valeur de variation des paramètres Proctor en fonction du type d'encroûtement.

Encroûtement	Calcaire	Gypso- calcaire	Gypseux
Densité sèche	$1.7 < W_{opm} < 2$	$1.7 < W_{opm} < 2$	$1.60 < W_{opm} < 1.90$
Teneur eau optimale	$8\% < W_{opm} < 20\%$	$8\% < W_{opm} < 20\%$	$8\% < W_{opm} < 20\%$

Tableau.2 - Teneur en eau optimale et densité sèche maximale pour différents types d'encroûtements.

3.2.2) L'essai CBR

Il est réalisé à la base de la norme NF P 94-078 Mai 97, on donnera ci-dessous une description simplifiée.

L'essai CBR a pour objet la détermination de la portance d'un matériau compacté à la teneur en eau de l'optimum Proctor. Il est utilisé dans le domaine de la géotechnique routière, et dans le dimensionnement des chaussées.

Son principe est basé sur la comparaison de l'enfoncement d'un poinçon dans le matériau testé et dans un matériau type. Il utilise pour cela, un moule dit " moule CBR", une machine de chargement, un poinçon, et un système de mesure.

La fraction du matériau utilisée est celle inférieure à 20 mm, le matériau est imbibé dans l'eau pendant une période (4 jours ou 4 heures) selon la zone d'utilisation.

Le résultat est obtenu en mesurant l'enfoncement en fonction de la charge, et en trace le diagramme CBR

Par définition l'indice CBR est pris égal à la plus grande des deux valeurs suivantes:

$$ICBR_{2,5} = \frac{F_{2,5}}{13,35} \times 100 \quad , \quad ICBR_5 = \frac{F_5}{20} \times 100$$

$$F_{2,5} = \text{Force à 2,5 mm d'enfoncement.} \quad F_5 = \text{Force à 5 mm d'enfoncement.}$$

3.2.3 L'Essai de Résistance à la Compression Simple.

La résistance à la compression permet d'apprécier la valeur de la cohésion du matériau.

C'est un essai empirique, introduit pour les matériaux locaux pour la première fois par FENZY (1957), il est réalisé sur tous les matériaux sahariens sur la fraction <5 mm.

Le compactage à l'OPM est effectué à la presse, et les éprouvettes démoulées sont séchées à l'étuve à 60° C pendant 4 jours (éprouvette de 5 cm de diamètre et de 10 cm de hauteur. Elles sont ensuite écrasées sous une presse.

On détermine ainsi, la résistance à la compression sous charge axiale, qui nous indique le taux de cohésion du matériau.

Plus la résistance est élevée, plus le matériau possède une cohésion élevée, élément important pour le choix des tufs d'encroûtement.

4) Critères de Sélection

Les critères de sélection d'un matériau sont imposés par sa destination, soit en couche de fondation ou en couche de base. Les matériaux pour couche de base doivent avoir les principaux critères suivants :

4.1) Une bonne Granulométrie :

Ce critère est donné par le résultat de l'analyse granulométrique, ainsi, les matériaux graveleux et grenus et faiblement plastiques (c'est-à-dire ne contenant pas une grande fraction fine, limoneuse ou argileuse) sont les plus à rechercher.

La fraction fine (passant au 0.08mm) doit être inférieure à 20 ou 25 %. Aussi les passants à 2mm doivent être inférieurs à 65 ou 75 %.

4.2) Une bonne Aptitude au Compactage :

Cette appréciation est donnée par le résultat de l'essai Proctor, ainsi, toute densité sèche maximale inférieure à 1.65 t/m^3 , caractérise un matériau fragile, léger, dépourvu d'ossature. Les valeurs de densités sèches généralement adoptées varient entre 1.7 et 2 t/m^3 .

4.3) Une bonne Portance :

La portance est appréciée par l'essai CBR, mais, c'est surtout le CBR imbibé qui est nous intéresse le plus, car il donne la valeur la plus défavorable, aussi, il mesure la réduction de portance sous l'effet de l'imbibition, représentée par les eaux pluviales, ou autres. En effet, les matériaux en sable gypseux, sable calcaires, ou, les gypso-calcaires perdent environs 50 % de leur portance après imbibition (résultats d'expériences à 4 heures d'imbibition).

Un CBR imbibé supérieur à 15 est l'indice d'un matériau de bonne portance.

4.4) Une bonne Résistance à la Compression simple :

En zone aride à climat sec, les matériaux doivent présenter une cohésion minimale, celle-ci étant appréciée par l'essai de compression simple, donnant la résistance à la compression simple. L'exigence d'une cohésion minimale est nécessaire pour résister aux phénomènes de dessiccation et de décohésion par vibration et frottements provoqués par les véhicules.

Les résistances demandées pour de bons matériaux doivent être supérieures à 10 ou à 15 bars à la compacité minimale exigée.

Généralement, ce sont les fines calcaires et gypseuses qui procurent aux matériaux une cohésion élevée.

5) Tableau résumé des Critères de Sélection.

Essais	Critères de Sélection	Remarques
Analyse Granulométrique	Matériaux grenus % fines < 20 ou 25 et % passant à 2 mm : < 65 % ou 75 %.	Un fuseau est à établir pour ce type de matériaux.
Proctor (compactage)	$d > 1.65 \text{ t/m}^3$.	Pour un matériau dense et maniabale.
Portance CBR	$I_{\text{CBR}} \text{ imbibé} > 15$	Pour une bonne portance (conditions défavorables). Temps d'imbibition en fonction de la zone (4 à 6 h en gle.).
Résistance à la Compression Simple.	> 10 à 15 bars à la compacité minimale.	Pour une cohésion minimale.

6) Conclusion

Même si les critères de sélection présentés sont bien définis en valeurs, ces dernières émanent de l'expérience et sont sujettes à des modifications, surtout que nous vivons une modification appréciable du climat, avec une pluviométrie croissante, avec des averses plus fréquentes. Par conséquent, l'influence d'une langue imbibition sur ces matériaux doit être examinée. Aussi, et en plus de ces critères, le jugement et la décision du géotechnicien quant aux choix d'un matériau particulier reste le plus à considérer.

7) Références Bibliographiques.

M. A. Bouzerara " Utilisation des matériaux locaux en construction routière ", 1^{ier} congrès Africain de la route, Alger, 2005.

M. Bahmed Baslimane " Principaux aspects de la technique routières saharienne ", 2^{ième} congrès Magrébin de la route, Biskra, 1994.

M. Morsli, M. Bali, J.M. Fleureau "Particularités de la technique routières saharienne ", 3^{ième} congrès Algérien de la route, Alger, 2001.

A. Hafsi " Rapports d'analyse sur matériaux ", archives du LTPS, 2000-2010.