



UTILISATION DES TUFs EN COUCHE  
DE ROULEMENT DANS LA PISTE  
D'AGHLAL-REGION D'Oujda

M. BAHOUSSA  
CERET ORIENTAL

# GÉNÉRALITÉS SUR ROCHES CARBONATÉES ET ENCROUTEMENTS CALCAIRES-TUFS

## 1 - ROCHES CARBONATÉES

Les roches carbonatées sont constituées pour plus de 50 % de carbonate de calcium ( $\text{Ca CO}_3$ ) ou de magnésium  $\text{Ca Mg (CO}_3)_2$  dans le 1er cas il s'agit d'un calcaire, dans le second c'est une dolomie.

Elles sont nettement moins abondantes que les roches détritiques, mais elles ont une grande importance de point de vue géologique, car une grande partie des fossiles est trouvée dans les calcaires et la répartition des faciès calcaires dans un bassin a une grande importance paléogéographique. Elles sont aussi importantes de point de vue économique car, les calcaires récifaux, les calcaires altérés ou fissurés et les dolomies peuvent constituer des réservoirs pour le pétrole.

Vis à vis d'un acide, les roches carbonatées dégagent du gaz carbonique d'où effervescence. S'il y a effervescence à froid, il s'agit d'un calcaire. Par contre, s'il y a effervescence à chaud, il s'agit d'une dolomie.

Les principaux constituants des carbonates sont la calcite et l'aragonite. C'est dans le domaine marin que ce sont formés presque tous les carbonates de grandes séries sédimentaires.

Les organismes contribuent largement à la constitution des sédiments carbonatés : bactéries, squelettes, coquilles... Des éléments détritiques minéraux peuvent s'ajouter aux précédents : quartz feldspath, mica, argiles,...

On rencontre aussi des minéraux authigènes : phosphates, minerais de fer...

### • *Facteurs de précipitations du carbonates de calcium*

#### - Pression

Plus la pression augmente plus l'eau se charge en  $\text{CO}_2$  et Ca ce qui entraîne une dissolution de  $\text{CaCO}_3$ .

Quand l'eau arrive en surface, à l'air libre, elle se met en équilibre avec

l'atmosphère, les phénomènes s'inversent et on va avoir une disparition de gaz carbonique et précipitation de calcium.

|                                       |                  |                 |                      |
|---------------------------------------|------------------|-----------------|----------------------|
| $\text{Ca} (\text{CO}_3 \text{ H})_2$ | $\text{Ca CO}_3$ | + $\text{CO}_2$ | $\text{H}_2\text{O}$ |
| Bicarbonate                           | Carbonate        |                 |                      |
| Soluble                               | Insoluble        |                 |                      |

## 2 - ENCROÛTEMENT CALCAIRES ET TUFS CALCAIRES

La croûte calcaire appelée aussi encroûtement calcaire est un matériau terrestre composé essentiellement, mais pas exclusivement, de carbonate de calcium.

Les croûtes existent à l'état poudreux nodulaire ou très induré, elles sont dues à la cimentation, à l'accumulation ou au remplacement de quantités plus ou moins grandes de sols, roches ou matériaux altérés par du calcaire dans une zone d'infiltration.

Les performances obtenues sur des couches de chaussées utilisant ces matériaux sont totalement inhabituelles aux matériaux routiers, si on les juge selon les critères traditionnels.

Toute classification géotechnique traditionnelle reposant sur des relations caractéristiques géotechniques-comportement, est donc "par définition", inapplicable aux matériaux encroûtement.

Les caractéristiques chimiques et géotechniques des matériaux encroûtement calcaire se situent dans les fourchettes suivantes :

- Teneur en calcaire ( $\text{Ca CO}_3$ ) : 50 à 95 %.
- Teneur en matière organique : Rarement déterminé et ne présente d'intérêt que si on envisage un traitement de encroûtement à un liant hydraulique où les matières organiques peuvent ralentir ou annuler la prise des liants hydrauliques :
- Valeur Los Angeles :
  - Croûtes et dalles : 25 à 80
  - Encroûtement fiables : non mesurable .

- Micro Deval humide : cet essai est peu réalisé, il pourrait être pourtant intéressant notamment dans le cas d'utilisation dans des zones où la pluviométrie est non négligeable (> 350 mm d'eau par an). l'essai est réalisé sur la fraction 10/14 du granulat.

- *Granulométrie*

- Sur le matériau d'origine, elle est sans signification ;
- Sur le matériau extrait, elle est très variable.

- Limites d'Atterberg :  $Ip < 25$ .
- Equivalent de sable sur 0/5 : 10 à 60.
- Valeur au bleu : 0,2 à 1,5 g.

- *Tufs Calcaires*

Les tufs calcaires sont des matériaux de formation récente et de dureté très variable (Roche dure à sol pulvérulent) qui se trouvent dans des Régions semi-arides.

Ces matériaux acquièrent une forte cohésion après séchage, lorsqu'ils ont été compactés en présence d'eau. Cette cohésion disparaît si le matériau est à nouveau saturé.

***Vu que les tufs calcaires et les encroûtements calcaires, qui se distinguent géologiquement, ont le même comportement on emploiera indifféremment les deux termes.***

- *Spécifications*

Pour l'utilisation des matériaux encroûtement utilisés en couche de surface de routes non revêtues, les spécifications à exiger sont récapitulées dans le tableau ci-contre :

| Caractéristiques                          | Pourcentage de passant au tamis de 0,425 mm |         |           |         |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------|---------|-----------|---------|
|                                           | 20 - 40                                     | 41 - 50 | 51 - 60   | 61 - 75 |
| D max en mm                               | 53                                          | 53      | 53        | 38      |
| Limite de liquidité %                     | < 30-65                                     | < 22-48 | < 22-40   | < 18-36 |
| Indice de plasticité                      | < 9-22                                      | < 7-233 | < 5-13    | < 8-13  |
| Retrait linéaire sur barreau              | < 2,0-0,5                                   | < 2,7-9 | < 2,0-5,5 | < 2,0-5 |
| Min " Aggrégat* fingers value" % (A.F.V.) | 65                                          | 60      | 35        | 40      |
| Min. Aggrégat Pliers value % (A.P.V.)     | 20                                          | 20 **   | 15        | -       |

- Les valeurs entre 70 et 100 peuvent être la cause de poussière et de désagrégation.
- Un matériau de 14 est admis si A.F.V > 75.

#### N.B :

- Il est préférable d'utiliser des tufs légèrement plastiques ( $5 < I_p < 10$ ) ; la fraction argileuse donne une bonne cohésion au matériau sans risques excessifs compte tenu de la faible circulation.
- Les tufs pulvérulents sont à proscrire sauf s'ils peuvent être protégés en surface par cloutage de granulats plus durs provenant de la croûte par exemple ou mélangés en proportion adéquate avec un matériau graveleux.

#### • Les mélanges de tuf et d'un granulat

Les tufs, notamment le plus tendres, ont naturellement une courbe granulométrique discontinue. Leur teneur en fines est élevée et ils comportent peu ou pas de squelette. Certaines graves naturelles (Graves d'Oued par exemple) sont au contraire, riches en gros éléments, mais totalement dépourvues de fines. Par ailleurs, certains sables naturels ont des courbes granulométriques très homométriques et sont eux aussi dépourvus de fines.

L'association de tuf avec ces graves ou sables paraît donc tout à fait intéressante lorsque l'on cherche une courbe granulométrique continue et suffisamment riche en fines pour obtenir un matériau à faible pourcentage des vides après compactage.

Le mélange est réalisé en place à la niveleuse à partir de matériaux approvisionnés en cordon. Il comprend le plus souvent :

- 50 % de graves (0/50 de scalpage par exemple).
- 50 % de tuf à forte teneur en fines (entre 20 et 50 %).

Pour ces mélanges on exigera un tuf non pollué ( $Ip < 10$ )

L'association d'un tuf fin et d'une grave à fort squelette concilie en effet les avantages de ces deux matériaux (Forte cohésion pour le tuf et résistance à l'érosion pour la grave). Cette solution, là où elle est possible, offrirait la présence en surface de la couche de grave tuf de gros éléments durs évitant l'usure de la couche non revêtue.

Cette solution grave-tuf permettra également d'avoir des points d'accrochage lorsqu'un enduit superficiel est prévu;

Le tuf peut jouer le rôle d'un matériau correcteur pour un sable tuf traité au ciment.

Cette solution est déconseillée tant qu'une expérimentation minutieusement suivie n'a pas montré les avantages technico-économique de ce traitement au Maroc.

## PLAN EXPERIMENTAL

Dans le cadre du programme National de construction des routes en milieu rural, la D.R.T.P d'Oujda a procédé à l'utilisation des matériaux tuffacés pour couche de roulement dans la piste " desserte douar Aghlal " entre les PK 0+000 et PK 5+200 sur une longueur de 5,2 Km environ.

La carte ci-après montre la situation de la piste objet de l'expérimentation.

### 1 - PRESENTATION DE L'ITINERAIRE

La piste " desserte douar Aghlal " prend origine au PK 467 de la N6 et prend fin à douar Aghlal sur une longueur de 5,200 Km environ (voir carte de localisation N°1).

### **a - Topographie**

Du point de vue topographique, le tracé est situé dans une zone relativement plate appartenant au domaine du couloir Taourirt-Oujda ( Région El Aioun). Il est caractérisé par des terrains généralement plat ou peu accidentés.

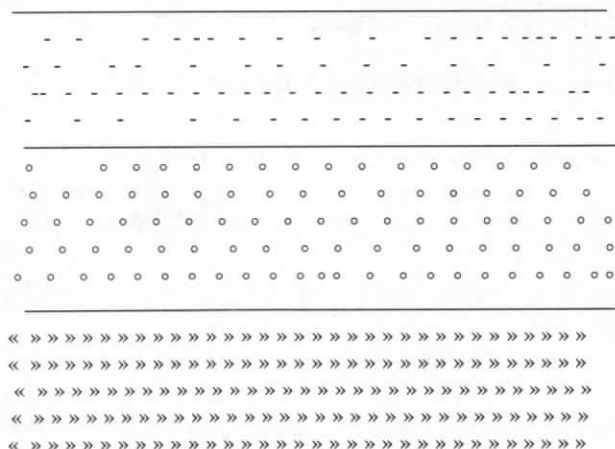
### **b - Géologie**

Le tracé se développe sur un horizon de formations limoneuses, de tufs et d'encroûtements calcaires récents datés du quaternaire. Ces formations surmontent un horizon marneux daté du tertiaire et bien développé par endroit. La coupe suivante a été réalisée dans la zone N°1 et montre les formations citées ci-dessus.

formations limoneuses  
de 0,2 à 0,3 m  
d'épaisseur

matériaux tuffacés  
de 3m d'épaisseur

substratum marneux



### **Coupe Géologique dans la zone N°1**

### **c - Climat et végétation**

La pluviométrie dans cette région est de l'ordre de 300 mm/an, c'est une zone non aride selon le catalogue de structures de chaussées.

La végétation est représentée par des cultures d'oliviers abondantes au début et vers la fin du tracé.

#### ***d - Trafic***

Le trafic estimé ne dépasse guère 50 véhicule / jour au sens des REFT. Le trafic journalier ainsi estimé est de très faible importance.

## **2 - PROSPECTION DES MATERIAUX**

Plusieurs zones d'emprunt ont été identifiées le long de la piste. Elles sont au nombre de sept. Ces zones sont constituées de formations tuffacées graveleuses limoneuses reposant sur un substratum marneux.

A la suite de la phase de reconnaissance, nous avons retenu uniquement les deux zones N°1 et N°2 qui présentent des quantités appréciables de matériaux tuffacés.

La carte N°2 ci-après indique la localisation de ces zones.

## **3 - CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX**

Le tuf est un matériau hétérogène d'origine soit :

- Volcanique telle que le tuf volcanique.
- Sédimentaire telle que le tuf calcaire.

Le matériau rencontré est un tuf graveleux d'origine sédimentaire.

#### ***a - Essais réalisés***

Le L.P.E.E a été associé pour réaliser des essais d'identification sur un ensemble d'échantillons.

Les prélèvements d'échantillons ont été effectués au sein des sondages réalisés afin de les soumettre à différents essais de laboratoire et déterminer leurs caractéristiques géotechniques essentielles.

Ces échantillons ont été ainsi soumis aux essais de laboratoire suivants:

- Analyse granulométrique.
- Détermination des limites d'Atterberg.
- Essai Los-Angeles.
- Essai Proctor Modifié.
- Détermination de la teneur en  $\text{CaCO}_3$ .



## ***b - Résultats des essais***

Les résultats des essais réalisés sur le matériau de la zone N°1 et la zone N°2 sont présentés respectivement dans les tableaux 1 et 2.

| Référence de l'échantillon |                  | 1                        | 2       | 3       | 4       |
|----------------------------|------------------|--------------------------|---------|---------|---------|
| Nature de l'échantillon    |                  | Tuf graveleux blanchâtre |         |         |         |
| Analyse granulométrique    |                  | 0/50mm                   | 0/100mm | 0/100mm | 0/100mm |
| Limites d'Atterberg        | W <sub>L</sub> % | 44                       | 33      | 28      | 28      |
|                            | I <sub>p</sub> % | 14                       | 11      | 9       | 9       |
| Los Angeles                |                  | 37,2                     |         | 37,7    |         |

**Tableau N°1 : Résultat des essais réalisés sur le matériau de la zone N°1 (située près du PK2+500)**

| Référence de l'échantillon  |                                       | 5                        | 6       | 7  | 8  | 9    |
|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------|----|----|------|
| Nature de l'échantillon     |                                       | Tuf graveleux blanchâtre |         |    |    |      |
| Analyse granulométrique     |                                       | 0/100mm                  | 0/100mm |    |    |      |
| Limites d'Atterberg         | W <sub>L</sub> %                      | 38                       | 35      |    |    |      |
|                             | I <sub>p</sub> %                      | 19                       | 13      |    |    |      |
| Los-Angeles                 |                                       | 36,6                     |         |    |    |      |
| Teneur en CaCO <sub>3</sub> |                                       |                          |         | 73 | 67 |      |
| Essai Proctor Modifié       | γ <sub>dept</sub> (t/m <sup>3</sup> ) |                          |         |    |    | 1,97 |
|                             | W <sub>opt</sub> (%)                  |                          |         |    |    | 11,2 |

**Tableau N°2 : Résultat des essais réalisés sur le matériau de la zone N°2 (située près du PK3+950).**

## *c - Dépouillement Général - conditions d'utilisation des matériaux*

L'exploitation des résultats des essais du laboratoire nous a conduit aux conclusions suivantes :

### • Zone N°1

Les matériaux de cette zone présentent les caractéristiques suivantes:

- Des courbes granulométriques assez continues avec une classe granulaire de 0/50 à plus de 0/120mm.
- Un pourcentage de fines ( $< 0,08\text{mm}$ ) de 8 à 19%.
- Une proportion des éléments ( $> 50\text{mm}$ ) de 6 à 37%.
- Un indice de plasticité compris entre 9 et 14%.
- Une dureté Los-Angeles de l'ordre de 37%.

On peut conclure que le matériau testé a des caractéristiques valables pour couche de base et de roulement de chaussée non revêtue, et ce en comparaison avec les exigences des matériaux (MS) pour accotements.

Le matériau donc identifié est un matériau tuffacé calcaire présentant les avantages des matériaux carbonatés, à savoir la cimentation et la cohésion qui se produisent avec le temps.

Il y a lieu de noter toutefois que l'écrêtage de ces matériaux a été réalisé pour éliminer les gros blocs.

### • Zone N°2

Les matériaux de cette zone présentent les caractéristiques suivantes :

- Des courbes granulométriques assez continues avec une classe granulaire de 0/100 à 0/120mm.
- Un pourcentage des fines ( $< 0,08\text{mm}$ ) de 11 à 15 %.
- Un pourcentage des éléments ( $> 50\text{mm}$ ) de 25 à 30 %.
- Un indice de plasticité compris entre 13 et 19 %.
- Une dureté Los-Angeles de l'ordre de 37 %.

On peut tirer de ces résultats que le matériau testé a des caractéristiques valables pour couche de base et de roulement de chaussée non revêtue, et en comparaison avec les exigences des matériaux (MS) pour accotements.

On peut également noter qu'il s'agit de matériaux tuffacés calcaires qui présentent en outre les avantages des matériaux carbonatés, à savoir la cimentation et la cohésion qui se produisent avec le temps.

Les deux zones 1 et 2 ont servi de fourniture de matériaux de construction de la couche de roulement de la piste.

#### **4 - GEOMETRIE DU TRACE, STRUCTURE DE CHAUSSEE ET ASSAINISSEMENT**

##### ***a - Géométrie du tracé***

Le tracé épouse la piste existante qui traverse généralement des terrains plats avec des améliorations localisées pour respecter les caractéristiques géométriques de REFT.

La largeur moyenne de la plate forme est de 6,00 m (4,00 m de chaussée et 1,5x2,00 m d'accotements).

##### ***b - Structure de chaussée***

###### **• Sol de la plate forme**

On distingue deux familles de sols:

- Famille des sols fins (DU PK0+000 au PK 1+800)
- Famille graveleux (du PK1+800 au PK5+100)

###### **• Famille des sols fins**

Il s'agit d'un sol de classe AP( Argile peu Plastique) à SL (Sable Limoneux) ou SA (Sable Argileux) selon la classification L.C.P.C.

Il s'agit d'un sol de portance de classe S2 à S3.

- Famille des sols graveleux

Il s'agit d'un sol de classe GA (Graves Argileuses) selon la classification L.C.P.C.  
Il s'agit d'un sol de portance de classe S4.

### **• Proposition de la structure de chaussée**

D'après les données recueillies relatives à la portance des sols de plate forme, la zone climatique, ainsi que le faible trafic escompté sur la future chaussée, nous avons été amenés à proposer la structure suivante:

Du PK0+000 au PK 1+800: 30 cm de graves tuffacées 0/60 mm.

Du PK1+800 au PK 5+100(sur le reste du trac : 20cm Graves tuffacées 0/60 mm.

#### ***c - Assainissement***

La route a fait l'objet d'équipements classiques d'assainissement (fossé, dalots, radiers) afin de drainer les eaux de surface pendant les périodes pluvieuses.

## **5 - EXECUTION DES TRAVAUX**

### ***a - Extraction et Préparation des matériaux***

Pour l'extraction des matériaux tuffacés des deux zones N°1 et N°2, des engins défonceur ont été utilisés tel le Bull de SLM.

La couverture limoneuse de surface sur 0,20 à 0,30 m d'épaisseur a été décapée et écartée de la zone de stockage de matériaux.

Les blocs supérieurs à 60 mm ont été écrêtés manuellement à l'aide de la main d'oeuvre recrutée pour cette opération.

Le matériau est stocké, puis humidifié et malaxé et reste une journée sur place avant la mise en place.

### ***b - Mise en oeuvre***

Après préparation de la plate forme une planche d'essai a été réalisée entre le PK3+300 et PK3+400 sur une longueur de 100ml.

Cette opération s'est déroulée selon les étapes suivantes:

- La mise en place des matériaux humidifiés.
- Le répandage.
- Le compactage.
- L'arrosage.

### ***c - Compactage***

Après réalisation de la planche d'essai, un contrôle de compactage a été réalisé le long de celle ci. Les résultats enregistrés mettent en évidence un indice de compactage de l'ordre de 100 %.

L'essai proctor réalisé antérieurement avait donné les résultats suivants:

$$\gamma_{dopt}=1.97 \text{ t/m}^3.$$

$$w_{opt}=11.2\%.$$

## **6 - COMPOTEMENT DU MATERIAU APRES MISE EN CIRCULATION**

La planche d'essai a été soumise à une période de service d'un mois, on note une circulation à la fois des usagers et des engins de chantier. Pendant cette période on signale une tombée de pluie durant deux journées.

En ce qui concerne le comportement de la chaussée après mise en service, on remarque que son état est satisfaisant et n'a montré aucune dégradation (érosion et affaissement).

Il est a noter aussi qu'un programme de suivi du comportement de la chaussée sera fait au bout d'un mois, puis à la fréquence de chaque 6 mois et ceci pour évaluer le comportement de la chaussée et voir l'évaluation de son état. Il est prévu de faire des relevés sur le comportement et l'état de cette route à l'occasion des temps pluvieux.

## CONCLUSION

Les techniques d'utilisation des matériaux locaux rentrent dans la stratégie de l'optimisation du coût de la construction des routes du Programme National de Construction des routes en milieu rural en vue de la rationalisation des ressources budgétaire

Dans ce cadre la D.R.T.P d'Oujda a procédé en collaboration avec le L.P.E.E à l'aménagement de la piste RP1-Douar Aghlal sur 5,2Km en matériaux tuffacés.

Pour le moment les résultats obtenus par cette expérimentation sont largement satisfaisants.

The map displays the Mediterranean region with administrative boundaries. The area is divided into numerous smaller units, some of which are shaded in black. The map is labeled with 'MEDITERRANEE' at the top, 'MAGNANIMUS' on the left, and 'MAGNANIMUS' on the right. A legend box at the bottom right is labeled 'LEGENDE'.

En helte 

XXXXXXXXXXXX 1-800-765-8745

XXXXXXXXXXXX 1-800-765-8745