

ETUDE DE LABORATOIRE SUR
DIFFERENTS TUFFS OU ENCROUTEMENTS
CALCAIRES DU MAROC

AHMAR LEGROUN Najib
Chef de Service Sols
et Matériaux du
C.N.E.R

INTRODUCTION

Les encroutements calcaires ou tufs recouvrent de vastes surfaces dans les régions à climat peu pluvieux d'Afrique du Nord et d'une façon plus générale dans les pays méditerranéens.

Nous savons de part la documentation internationale et de part certaines expériences locales dans notre pays que bien que ce matériau ne réponde pas aux spécifications du catalogue de structures Types de Chaussées Neuves, il a un comportement d'ensemble correct, qui permet son utilisation en technique routier. Ceci nous a incité dans un premier temps à étudier différents tufs à travers le pays en vue de les identifier et de connaître leurs comportements mécaniques; puis dans un second temps, il est prévu de réaliser des expérimentations in-situ à l'aide de ces matériaux dans le but d'établir des spécifications définitives sur l'utilisation de ces encroutements calcaires en accotement et en assises de chaussées.

FORMATION DES ACCUMULATIONS CALCAIRES OU ENCROUTEMENTS

Différentes théories ont tenté d'expliquer ces accumulations calcaires et la théorie la plus admise au Maroc, en particulier par les géomorphologues et les géologues est celle qui admet que les carapaces calcaires, plus précisément ce que nous définirons comme des croûtes et des dalles sont le résultat d'un ruissellement superficiel en nappe d'une eau chargée en calcaire, cette eau dépose son calcaire par évaporation de gaz carbonique et évaporation. Si les différents auteurs ne sont pas d'accord sur différents points, il est bon de rappeler que la plupart d'entre eux sont d'accord sur un certain nombre de faits qui sont les suivants.

-L'accumulation du calcaire dans les sols, et les carapaces calcaires ne sont pas des phénomènes limités. On les retrouve dans de nombreuses régions et sur de grandes surfaces.

-Il y a une certaine distribution climatique des carapaces calcaires qui semblent localisées dans les régions à climat méditerranéen et surtout dans l'aride et le semi aride

-Les faciès des accumulations du calcaire sont variés

-Leur épaisseur peut être assez grande et elles sont généralement situées à proximité de la surface du sol.

-Leurs carapaces calcaires sont le plus souvent anciennes : la plupart date au moins des tyrhinien (Tensiftien au Maroc) et beaucoup se sont formées au Villafranchien (Moulouyen).

-Une seule théorie, un seul processus, ne peuvent expliquer tous les cas possibles d'individualisation et d'accumulation du calcaire.

Les autres théories expliquent le dépôt de calcaire dans le

sol par différentes manières, certains auteurs attribuent cela à l'énergie éolienne, le vent ayant transporté le calcaire sous forme de poussières puis lessivé et accumulé en profondeur par les pluies.

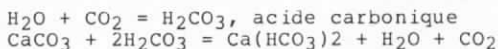
D'autres enfin pensent que certains encroûtements et galles calcaires sont des dépôts lacustres.

D'autres pensent que c'est le résultat d'une évolution essentiellement pédologique par lessivage des horizons supérieurs, ou que l'accumulation de calcaire peut être liée à la présence d'une nappe phréatique enrichie en calcaire, il y a évaporation de cette nappe, remontée capillaire et concentration autour d'un système racinaire. Pour revenir à la théorie admise au Maroc, on retiendra que le carbonate de calcium CaCO_3 , est le constituant essentiel des calcaires et que sa solubilité n'est généralement pas très élevée et dépend de plusieurs facteurs. Dans l'eau pure au contact de l'air, la solubilité du carbonate de calcium dépend de la teneur en anhydride carbonique dissout.

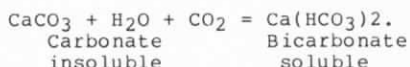
Cette teneur diminue lorsque la température croît et augmente lorsque la température décroît.

Le carbonate de calcium se dissoudra pour de faibles températures et précipitera si la température s'élève.

On résume ces phénomènes par les équations suivantes :



Au total on a l'équilibre chimique suivant :



Sous certains climats subhumides, semi arides soit pour H en mm pluviométrie égal respectivement à :

$$\begin{array}{ll} 350 < H < 600 & \text{sub humide} \\ 100 < H < 350 & \text{sub aride} \end{array}$$

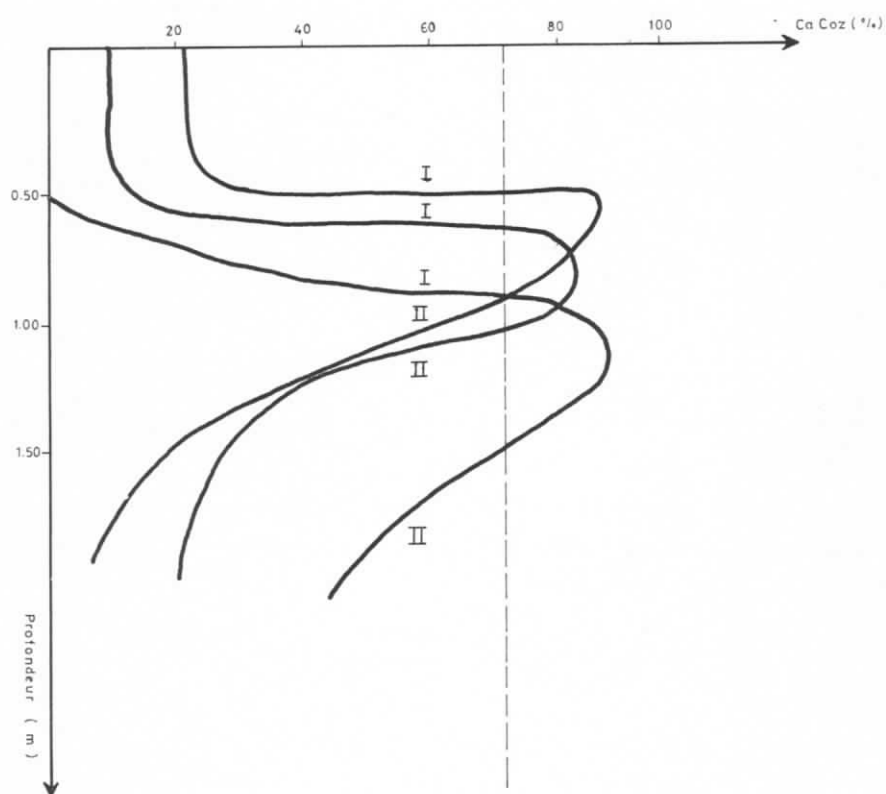
L'équilibre ci-dessus est déplacé vers la droite en hiver, l'eau de pluie froide est enrichie en CO_2 atmosphérique attaque, les calcaires et autres roches carbonatées. Les carbonates solubilisés sur les massifs montagneux sont drainés vers les nappes phréatiques des plaines.

En été, cet équilibre est déplacé vers la gauche, les carbonates des nappes phréatiques précipitent dans les sols des plaines et des terrasses alluviales.

UTILISATION DE CES MATERIAUX EN TECHNIQUE ROUTIERE.

Ces matériaux très répandus au Maroc et en particulier à

SCHEMA : PROFILS CALCAIRES DE SOLS -



le I et le II délimitent le sommet et la base des accroissements.

partir de Mohamédia, Casa Khouribga, en allant vers le sud ont largement été testés au Maroc dans le domaine routier et surtout en accotement et peut-être même en fondation et couche de base pour les routes faiblement circulées. Pendant ce temps en Algérie, en Tunisie ce matériau a été très utilisé en assise de chaussée avec succès et a même supporté l'accroissement du trafic des années 70 à 80 et beaucoup semblent-il encore en service. Ce matériau qui généralement ne répond pas aux spécifications habituelles car étant souvent tendre, à part, la dalle compacte qui a un pourcentage de $\text{CaCO}_3 > 80$ et a un los de 25, a un comportement d'ensemble très satisfaisant et a aussi beaucoup intéressé les techniciens de la route pour son utilisation en technique routière.

Il faut dans un premier temps décaper la terre végétale soit les 20 à 30 cm premiers puis on tombe alors sur la dalle compacte qui est en général très dure, dans son état non altérée puis on tombe sur un matériau moins dur et moins riche en CaCO_3 ; le mieux que l'on puisse faire c'est de passer un concasseur primaire afin d'obtenir un tuf à squelette soit une grave à granulométrie continue et dureté plus élevée.

A défaut de concasseur un rouleau à grille peut donner de bons résultats, ces matériaux ainsi préparés peuvent supporter même des trafics élevés.

En ce qui concerne les tufs pulvérulents très tendres, si on devait les mettre en couche de base, il est nécessaire de les mélanger à des graves roulées. Pour des tufs obtenus à partir de sols argileux, qui sont très plastiques un mélange avec des sables est nécessaire pour l'améliorer.

Ces encroutements se présentent de la manière suivante:

Horizon A : terre végétale contenant de la matière organique, faible épaisseur (quelques décimètres) pouvant être nul en cas d'érosion, couleur sombre.

Horizon BCA : horizon d'accumulation et différenciation du calcaire ou encroûtement proprement dit, épaisseur très variable (généralement plusieurs décimètres dépassant parfois 2 m) couleur blanchâtre.

Horizon C : à faible enrichissement à calcaire

Voir ci-après un exemplaire de profils calcaires de sols à profil calcaire différencié.

Résultats d'Essais géotechniques de
quelques tufs calcaires marocains

Origine	Identification granulométrie: L . A			ES	CaCO3 %	Essais de portance			gonflement		classi- fication on LCP	
	0,4mm: 0,08mm: LL : IP					P	o c t o i		re (mm)	t i f %		
	0,4mm	0,08mm	LL : IP				w	ds				
RP 36	84	61	27 : 11	-	98	14,2	1,768	20	1,26	0,99	AP	
RPI PK175	97	82	27 : 10	-	73	12,80	1,858	19	1,62	1,28	AP	
RPI PK181	98	58	21 : 6	-	50	10,50	1,980	57	0,25	0,20	AP	
RP8 PK 9	63	24	16 : 2	-	95	11,60	1,890	90	0,09	0,07	SL	
RS114PK15	81	31	15 : 2	-	64	11,20	1,903	121	0,16	0,13	SL	
RP40PK8+2	66	50	56 : 30	-	48	21,50	1,650	61	1,37	1,08	GA	
RP30 PK- 200	56	37	27 : 11	-	38	13,60	1,924	38	0,34	0,27	GA	
RP30PK2.	95	62	27 : 10	-	73	13,00	1,890	3	1,38	1,09	AP	
RP8 PK62+ 20	92	57	24 : 8	-	52	13,8	1,900	4	0,04	0,03	AP	
RS233 PK3	90	62	28 : 10	-	28	11,40	2,035	26	1,31	1,03	AP	
RS316 PK- 23 + 600	96	61	31 : 13	-	55	13,60	1,887	3	0,48	0,38	AP	
RS316 PK- 24 + 600	81	58	36 : 14	-	66	11,40	2,011	3	0,15	0,12	AP	
CT 2572	90	74	34 : 14	-	61	17,30	1,757	21	0,56	0,44	AP	
PK5 + 380				-								
CT 2572	70	51	29 : 11	-	65	11,70	1,816	38	0,21	0,17	AP	
PK16 + 750				-								
CT 2572	48	32	31 : 12	-	59	13,40	1,868	4	3,25	2,56	GA	
PK18 + 300				-								

Origine	Identification granulométrie: L . A				ES	CaCO3 %	Essais de portance			gonflement		classi- fication on LCPC
							P	o	r	Lineal- re (mm)	rela- tif %	
	0,4mm	0,08mm	LL	IP								
RS 330	45	28	28	11	10	50	7,40	2,156	113	0,11	0,09	GA
PK 30+800												
RS 329	40	23	28	12	14	56	8,30	2,076	68	0,05	0,04	GA
PK 78+900												
RS 125 PK	27	20	57	27	-	54	11,50	1,920	52	0,67	0,53	GL
PK 10+700												
RS 125PK-	20	9	26	9	-	88	9,30	2,081	134	0,09	0,07	Gb/GL
11+550												
Carrière	44	12	Nm	Nm	-	90	11,00	1,836	79	0,02	0,02	
ELASTRIT												
CT 65 Sah	80	66	40	14	-	58	12,90	1,842	29	0,22	0,17	SA
CT 1508	43	29	38	20	-	67	1,940	2,013	12	1,45	0,14	GA

INTERPRETATION DES RESULTATS

Nous donnons ci après un tableau récapitulatif des résultats obtenus sur différents tufs prélevés à travers le pays. Nous attirons l'attention du lecteur que ces échantillons n'ont pu être prélevés par la même personne, vu l'éloignement des différents sites; ceci explique, peut être que certains échantillons contiennent plus de fines que d'autres. Notons, enfin, que nous avons en notre possession une étude de laboratoire sur des tufs tunisiens et les résultats obtenus, sont similaires à ceux que nous trouvons au CNER.

On constate que dans ce tableau en ce qui concerne les passants à 80 microns on a :

39 % des valeurs inférieures ou égales à 32%
48 % des valeurs sont comprises entre 32 et 62%
et 13 % " " " 62 et 82%

Donc 13% des échantillons étudiés ont un passant à 80 microns très élevé, sinon le reste soit 87% ont un pourcentage faiblement à moyennement élevé. Ces valeurs cadrent bien avec celles obtenues dans une étude réalisée en Tunisie par exemple.

Les indices de plasticité sont généralement assez faibles et pour 87% des valeurs ils sont supérieurs ou égales à 14. Ceci montre que même si le pourcentage des fines est parfois fort, ces fines ne sont pas argileuses et sont certainement carbonatées.

* En ce qui concerne un paramètre très important pour les tufs ou encroûtements calcaires qui est le pourcentage de Ca CO_3 carbonate de calcium, nous avons vu qu'il dépend de la profondeur et qu'en général quand décroît cette dernière augmente. Nous savons aussi que la dureté de ce tuf dépend de sa teneur en Ca CO_3 .

Pour les échantillons étudiés, mis à part, 2 échantillons qui ont respectivement 28 et 38% de Ca CO_3 les autres ont en général une teneur en Ca CO_3 qui dépasse les 50% et atteint même 95 et 98% donc assez élevée.

* Pour les essais Proctor modifiés la teneur en eau optimale est dans la plupart des cas entre 10 et 13 % et la densité sèche optimale varie le plus souvent entre 1,8 et 2,1. Les CBR sont très variables et selon les échantillons ils varient de 3 et 4 pour ceux qui ont un passant à 80 microns assez fort, à ceux qui ont un CBR égal à 113, 121 et 134 qui sont peu plastiques et ont un faible pourcentage de passant à 80 microns. Enfin la classification LPC donne comme vous pouvez le constater différentes classes Ap, SL, GA, SA.

Comme vous pourrez le constater sur le graphique ci-avant, le pourcentage de carbonate de calcium (Ca CO_3) varie selon la profondeur et diminue nettement à 2 m.

CONCLUSION

L'étude de laboratoire menée au CNER sur les tufs, n'est qu'une première étape. Il faudrait dans un second temps réaliser des expérimentations in-situ d'une part, suivre le comportement des chaussées construites avec ce matériau en accôtement en couche de fondation et de base, d'autre part afin de tirer des conclusions sur son utilisation en technique routière, déterminer les spécifications auxquelles ils doivent obéir pour permettre son utilisation en accôtement ou en assise de chaussée; déterminer la tranche de trafic que ce matériau peut supporter.

Enfin si ce matériau est plutôt préconisé pour les routes économiques à faible trafic, il faudrait réaliser des études au laboratoire sur le traitement de ces matériaux en vue de leur utilisation pour des routes à plus fort trafic, le traitement en question consiste à ajouter de la chaux, ou du ciment ou un sable propre (de dune) s'il est argileux, ou alors une grave roulé si la dureté est trop faible.