

ETUDE DE TRAITEMENT AU CIMENT DES MATERIAUX VILLAFRANCHIENS ET DES SABLES

**MM.
A. JAKANI
L HAMIDI**

Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes

Dans le cadre du programme coordonné de la Recherche Routière de la Direction des Routes et de la Circulation Routière, le Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes a procédé à une étude de traitement et de stabilisation des matériaux villafranchien de Lalla Mimouna de Souk Larba du Gharb et a commencé une étude de traitement des sables dans le cadre du projet de l'Autoroute Rabat/Tanger. La pénurie de matériaux nobles, pour la construction routière dans le Nord Ouest du Maroc, a fait que l'exploitation des matériaux locaux et notamment le Cailloutis Villafranchein, par ajout d'un faible pourcentage en ciment, peut-être probante.

Il n'est pas sans intérêt de rappeler que le développement de cette technique de traitement au ciment des matériaux locaux, qui est d'ailleurs largement utilisée dans les pays développés, assurera des gains de temps et d'argent et préservera le paysage de l'environnement national.

Dans la présente communication, sont présentés les résultats de laboratoire obtenus lors de l'étude de traitement au ciment des matériaux villafranchiens et quelques premiers résultats concernant l'étude de traitement des sables traversés par le tracé Autoroute Rabat/Tanger dans la forêt Mamora et la plaine côtière de Ksar El Kebir.

I/ ETUDE DE TRAITEMENT DES MATERIAUX VILLAFRANCHIENS DE LALLA MIMOUNA

A/ Aperçu Géologique.

La région de lalla Mimouna se situe au Nord de Souk El Arbaà. Elle se trouve dans une zone mollement ondulée, constituée par les sables des mejas, les cailloutis villafranchiens, le miocène supérieur y recouvre la nappe prérfaine.

Le matériau villafranchien de la région de lalla Mimouna est un terrain de couverture. C'est un matériau d'anciennes terrasses alluvionnaires appartenant à la période villafranchienne du pliocène. Il est constitué par des "poudingues" et des cailloutis de teinte rouge, surmontés de grès et de sables jaunes prenant au sommet une teinte rouge franche

B/ Aperçu général bibliographique.

Selon la bibliographie disponible les renseignements suivants ont pu être obtenus:

- Les matériaux rencontrés dans la région de lalla Mimouna sont généralement des graves argileuses, des sables limoneux ou argileux à inclusions de galets roulés.
- Les courbes granulométriques tracées sur des matériaux issus d'un certain nombre de puits montrent une discontinuité.
- Généralement sur les premières dizaines de centimètres, on rencontre de la grave limoneuse du sable limoneux où même de l'argile et parfois du sable argileux.
- Les deux couches suivantes, sur un mètre en général sont formées de graves argileuses ; du sable argileux ou parfois même d'argile.
- L'indice de plasticité varie du "NP" (non plastique) à 34% dans certaines conditions.
- Ces caractéristiques des matériaux peuvent varier en plan et en profondeur, ce qui constitue parfois un handicap à leur exploitation en technique routière.
- L'homogénéité des matériaux n'est rencontrée que dans des tranches limitées.

C/ Caractéristiques des matériaux à traiter.

Les matériaux villafranchiens utilisés dans cette étude de traitement ont été obtenus par reconstitution à partir de deux matériaux élaborés dont les caractéristiques sont présentées ci-après. Ils sont constitués de grès quartzitique.

1) Granularité :

La courbe granulométrique du mélange théorique est de la classe 0/20. Elle est caractérisée par un pourcentage en fines de 5%, un pallier de discontinuité dans la fraction 0,4 et un pourcentage de passant à 5mm de 37%. la première fraction du mélange est de la classe 5/16 avec un pourcentage de 15% d'éléments inférieur à 5mm.

La deuxième fraction du mélange est de la classe 0/20 avec un pourcentage de 50% d'éléments inférieurs à 5mm.

L'utilisation d'une fraction sableuse n'a pas permis de pallier la discontinuité du mélange.

2) Forme de gravillons :

La forme est mesurée sur la fraction 5/20 par le coefficient d'aplatissement. Sa valeur est de 8%. Ces matériaux ont donc une forme satisfaisante.

3) Indice de concassage :

Il n'est pas déterminé à la carrière. Visuellement, les matériaux renferment 50% d'éléments roulés. Le reste étant du concassé ou du semi-concassé.

4) Dureté :

La dureté des matériaux villafranchiens est hétérogène. Trois essais Los-Angeles ont donné les valeurs suivantes : 31,3 - 35,6 et 40,4%.

Deux essais micro-deval en présence d'eau ont donné les résultats suivants : 22,2 et 18,4%.

Ces résultats montrent que ces matériaux résistent moins aux chocs qu'à l'usure. Leur nature, ainsi que leur forme sont les causes principales de ces hétérogénéités. Ces matériaux sont donc hors normes marocaines pour utilisation en couche de base.

5) Propreté :

La propreté de ces matériaux est mesurée par l'équivalent de sable. La valeur obtenue est de 58%. Cette valeur reste très satisfaisante. Ceci est dû au fait que ces matériaux ont été broyés, concassés, puis recomposés.

D/ Liant.

Le liant utilisé dans le traitement des matériaux villafranchiens est le ciment Portland CPJ 45.

E/ Caractéristiques des matériaux traités.

1) Granularité :

Par ajout de 3,5% de ciment au mélange minéral obtenu à partir des deux matériaux, le pourcentage en fines passe à environ 9%. Le pourcentage des éléments passants à 5mm est de 38%. La courbe granulométrique a une "bosse" de sable dans la fraction 0,315 - 1. Elle épouse la courbe supérieure du fuseau SETRA-LCPC dans la fraction 0,08 - 1 et la courbe inférieure dans la fraction 5 - 10. Ce qui montre un excès dans ces fractions.

2) Paramètres de compactage :

Pour déterminer la compactibilité optimale des matériaux traités en fonction de leur teneur en eau, un essai Proctor a été effectué. Les paramètres obtenus sont les suivants :

- Densité optimale Proctor $d_{max} = 2,25 \text{ T/m}^3$
- Teneur en eau optimale $W_{opt} = 6,5\%$

3) Compacité :

La compacité à l'OPM de la formule de base est déterminée comme suit :

$$c = \frac{\text{Volume absolu de la grave} + \text{Volume absolu du liant}}{\text{Volume apparent de la grave hydraulique}}$$

$$c = \sigma_d \cdot \frac{1 - L}{\sigma_G} + \frac{L}{\sigma_L}$$

avec :

σ_d : masse volumique sèche apparente de la grave traitée

σ_G : masse volumique réelle du granulat

σ_L : masse volumique réelle du liant

σ_L : dosage en liant rapporté au mélange grave + liant.

Sa valeur dans notre cas est $c = 0,84$

Avec $\sigma_s = 2,65 \text{ T/m}^3$ et $L = 3,1 \text{ T/m}^3$. Elle est donc satisfaisante puisqu'elle est supérieure à 0,83.

Préférence	Age en jours	Compacité (% OPM)	Résistance R_t à la traction	Allongement direct en micron	Module à 30 % R_t	Module à 95 % R_t	Temps de rupture sec	Références et observations
T1	9	98	1,7	8,0	$6,0 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^4$		
T2	10	98	1,5	6,1	$7,0 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$		
T14	8	100	1,3	5,8	$7,1 \cdot 10^4$	$5,7 \cdot 10^4$	13	
T15	8	100	1,5	9,2	$5,6 \cdot 10^4$	$3,4 \cdot 10^4$	15	
T3	29	98	2,8	7,0			28	R1 rupture en dehors des anneaux
T4	29	98	3,2	8,9	$9,7 \cdot 10^4$	$6,75 \cdot 10^4$	31	R1
T5	27	98	2,6	9,0	$8,9 \cdot 10^4$	$5,5 \cdot 10^4$	26	R2
T6	27	98	2,5	8,8	$8,7 \cdot 10^4$	$6,0 \cdot 10^4$	24	R2
T7	28	98	3,5	11,0	$9,9 \cdot 10^4$	$7,2 \cdot 10^4$	32	R3
T8	29	98	4,1	9,9	$9,4 \cdot 10^4$	$8,3 \cdot 10^4$	37	R3
T9	32	100	4,4	10,8	$1,2 \cdot 10^5$	$9,2 \cdot 10^4$	38	R4
T10	32	100	4,8	10,5	$1,3 \cdot 10^5$	$9,7 \cdot 10^4$	42	R4
T11	32	100	3,0	7,6	$9,0 \cdot 10^4$	$6,7 \cdot 10^4$	30	R5 ségrégation
T16	28	100	4,9	10,0	$1,2 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$	43	
T17	28	100	4,2	7,9	$1,2 \cdot 10^5$	$9 \cdot 10^4$	37	
T20	28	100	4,3	10,7	$1,07 \cdot 10^5$	$8,2 \cdot 10^4$	40	
T21	28	100	3,8	8,7	$1,14 \cdot 10^5$	$8,6 \cdot 10^4$	36	
T12	61	100	3,6	12,2	$1,09 \cdot 10^5$	$7,0 \cdot 10^4$	32	R6
T13	60	100	4,7	9,2	$1,34 \cdot 10^5$	$9,95 \cdot 10^4$	42	R6 rupture au niveau des anneaux

(T18 et T19 sont conservés pour usage ultérieur).

4) Résistances à la traction et modules de déformation :

Les principaux paramètres qui permettent de caractériser les matériaux et leur fonctionnement dans une assise de chaussée sont la résistance à la traction et le module de déformation.

Ces paramètres permettent de déterminer l'épaisseur de l'assise en fonction des conditions de fonctionnement de la chaussée.

Ils sont déterminés dans le cas de la grave-ciment (ou grave valorisée au ciment) sur des éprouvettes d'éclatement 2 (longueur = 32cm et diamètre = 16 cm) et de forme dite "Diabolo" (rétrecie au milieu). Ces éprouvettes sont moulées à l'appareil vibro-compression, et conservées dans des confinements étanches.

a) Essais de traction : A partir de cet essai on détermine :

- La contrainte à la rupture et la déformation correspondante.
- Les modules de déformation sécants à 30% et à 95% de la résistance à la rupture.

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau suivant :

b) Exploitation des résultats :

Cas des chaussées à moyen et fort trafic français ($T > T_1$ Marocain) :

Les spécifications françaises stipulent ce qui suit pour les graves-ciment des chaussées à moyen et fort trafic.

$$20 \leq IQE_{360} \leq 26 ; R_{t360} \geq 11 \text{ bars; } e_t \leq 40.10^4 \text{ bars}$$

Dans notre cas on a pour une compacité comprise entre 98 et 100% (résultats obtenus par interpolation).

$$28 \leq IQE_{360} \leq 36 ; 5,8 \leq R_{t360} \leq 7,2 ; 6,6.10^4 \leq E_{t360} \leq 15.10^4 \text{ bars}$$

L'indice de qualité élastique (IQE) est tangent aux stipulations françaises pour une compacité de 100%, la résistance à la traction est insuffisante mais le module de déformation est satisfaisant.

L'utilisation de ces matériaux pour des trafics forts et moyens au sens du Catalogue Français ($T > 10^6$ à 2.10^6 essieux de 13 T) ne semble pas possible avec un dosage en ciment de 3,5%.

L'insuffisance en résistance à la traction peut-être attribué en majeure partie à la granularité discontinue des matériaux. Rappelons que le Catalogue Français envisage les graves-ciment pour les couches de base.

L'utilisation des matériaux villafranchiens traités à 3,5% peut être envisagée en couche de base pour des trafics cumulés d'essieux de 13 T inférieurs à 10×10^6 . Leur utilisation en couche de fondation demeure conseillée.

Cas des chaussées à faible trafic (au sens du catalogue français) :

Pour une compacité de 98% OPM, la résistance à la traction R_{t90} est de 0,47 MPA et le module de déformation E_{t90} est de $1.32.10^4$ MPA. Ce matériau est donc classé dans la zone 4 selon le classement des résistances dans le catalogue français des chaussées à faible trafic.

Pour une compacité de 100% OPM, la résistance à la traction $R_{t90} = 0,57$ MPA et le module de déformation $E_{t90} = 1,36.10^4$ MPA. Dans ce cas le matériau est situé dans la zone 3 correspondant à la classe de résistance 3.

Dans ce cas, ces matériaux sont utilisables à condition de maîtriser le dimensionnement des structures de la chaussée.

5) Résistance à la compression et module de déformation :

L'essai de compression simple est parmi les essais complémentaires qui permettent d'apprécier les performances des matériaux améliorés au ciment.

Il est surtout utilisé pendant les contrôles de mise en oeuvre, car il est relativement aisé à réaliser.

La résistance à la compression est mesurée sur des éprouvettes d'élancement 2. Le module de déformation est déterminé en utilisant la vitesse de propagation du son dans les éprouvettes.

Le module est donné par l'expression suivante :

$$E = V^2 \cdot \frac{(1 + \nu) (1 - 2\nu)}{1 - \nu} = V^2 \cdot f(\nu)$$

V : vitesse de propagation de son en m/s

: masse volumique de la grave-ciment en N/cm³

ν : coefficient de poisson

Dans notre cas $E = 0,85 \cdot V^2$
pour $= 2,25 \cdot 10^{-2}$ N/cm³ et V en Km/s

$$E = 19125 \cdot V^2 \quad \text{en bars}$$

Référence	Age en jours	Compacité	Résistance Rc en bas	Module Ec en bas	Observations
C1	8	100	25,6	$1,4.10^5$	
C2	8	100	25,6	$1,5.10^5$	
C3	8	100	27,1	$1,4.10^5$	
C4	8	100	25,9	$1,3.10^5$	
C5	8	100	27,9	$1,4.10^5$	
C6	8	100	32,3	$1,4.10^5$	
C7	113	100	35,8	$1,8.10^5$	ségrégation
C8	113	100	25,9	$1,6.10^5$	ségrégation
C9	113	100	23,2	$1,6.10^5$	
C10	113	100	31,8	$1,6.10^5$	
C11	29	98	26,1	$1,1.10^5$	
C12	29	98	25,7	$1,1.10^5$	
C13	29	98	26,1	$1,2.10^5$	
C14	28	98	18,5	$1,2.10^5$	problème de surfaçage
C15	21	100	35,1	--	

(une dizaine d'éprouvettes sont préparées
à différents âges, pour essais ultérieurs).

II/ ETUDE DE TRAITEMENT DU SABLE

Les sables qui ont fait l'objet de cette étude de traitement sont de classe granulaire 0/0,5 avec des équivalents de sable entre 50 et 57%. Le dosage en ciment utilisé est de 9%.

Les premiers essais de traction ont révélé que la résistance à la traction de ces sables va de 0,24 à 0,64 bars pour un âge de 7 jours et une compacité entre 98 et 100% OPM. Par interpolation, ces résultats correspondent à des résistances à 90 jours de l'ordre de 0,36 à 1 bars.

Les premiers essais à la compression ont révélé que la résistance à la compression de ces sables va de 15 à 22 bars, pour un âge de 13 jours et une compacité de 100% OPM.

Ces sables résistent plus faiblement à la traction qu'à la compression. Leur emploi en couche de base ou en couche de fondation ne peut donc pas être envisagé. Leur utilisation ne peut être envisagée que pour améliorer éventuellement les plateformes support de chaussée.

Conclusion

Les matériaux villafranchiens de Lalla Mimouna étudiés et traités à 3,5% de ciment se prêtent à l'utilisation en couche de base pour des trafics cumulés d'essieux de 13 tonnes inférieurs à 10^6 (par voie de circulation).

Le recours aux planches d'essais demeure conseillé pour déceler les problèmes de mise en œuvre.

Une première planche d'essais est en projet dans la déviation du poste de péage de l'Autoroute Rabat-Casa.

L'utilisation des matériaux villafranchiens traités au ciment dans les couches de fondation de chaussée à fort trafic est très conseillée en raison du profit économique certain qui en découlera dans les zones pauvres en matériaux de bonne qualité comme la région du Gharb. Ce qui permet d'optimiser la structure de la couche de base.

Il serait nécessaire d'étudier les qualités géotechniques de ces matériaux villafranchiens en corrigeant leurs courbes granulométriques et en utilisant des pourcentages en ciment supérieures à 3,5% pour examiner les possibilités d'utilisation de ces matériaux traités dans les couches de base des chaussées à fort trafic. Les études économiques de comparaison des différentes techniques routières restent à mener pour faire le choix de la technique la plus rentable.

En ce qui concerne la valorisation des sables locaux par un traitement à 9% de ciment, il semble à priori et suivant les premiers résultats obtenus, que les performances mécaniques ne permettent pas d'envisager une utilisation en corps de chaussée à proprement parler, cependant, ces matériaux après traitement peuvent offrir une excellente amélioration de la plateforme et ouvrir la voie à la réduction des épaisseurs du corps de chaussée en matériaux nobles classiques.

VILLAFRANCHIEN TRAITE A 3,5% DE CIMENT

ESSAI DE TRACTION DIRECTE

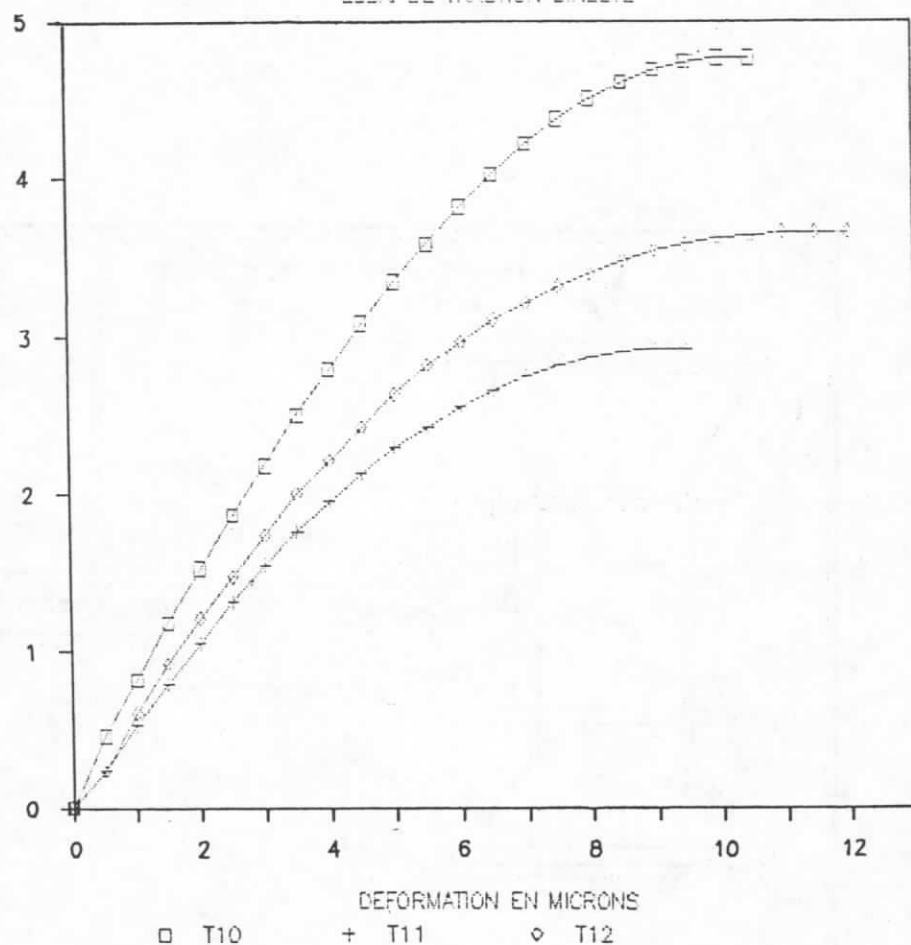


Schéma de l'essai de traction directe

