

PST EN PEMMITES ET MARNES TRAITEES A LA CHAUX AUTOROUTE TANGER – PORT OUED R’MEL

SECTION RN 2 - LECHBAA

Rédigé par MM. : CHOUH MOHAMAD

M’HABER MOSTAFA

INTRODUCTION :

Le projet de construction de l’Autoroute Tanger – Port Oued R’mel tronçon RN2 – Lechbaa a prévu le recours au traitement des sols à la chaux pour améliorer les performances de la partie supérieure des terrassements en laissant le choix à l’entrepreneur pour l’emploi des matériaux granulaires.

En effet, pour l’exécution de la partie supérieure des terrassement, le contrat laisse à la convenance de l’entrepreneur l’utilisation des matériaux non traités insensibles à l’eau ou des matériaux traités en exigeant une épaisseur de 0,50 m pour la première option et 0,35 m pour la seconde.

La région du projet étant caractérisé par sa pénurie en matériaux naturels nobles, l’entreprise a opté pour la solution de traitement de la PST à la chaux des matériaux disponibles sur le tracé.

I - RAPPELS DES SPECIFICATIONS DU MARCHE :

Les caractéristiques requises pour la partie supérieure des terrassements sont :

1 - Cas des matériaux non traités :

Les matériaux doivent être insensibles à l’eau au sens du GTR, ils doivent garantir l’obtention d’une **valeur minimale du module à la plaque de 50 Mpa** mesurée sur un massif compacté en multicouches d’une hauteur de l’ordre de 1,50 m avec un matériau porté à une **teneur en eau d’au moins égale à $W_{opn} + 1$** .

Les performances mécaniques à obtenir pendant l’exécution de **la PST en matériaux granulaire d’une épaisseur de 0,50 m** sont : **$Ev2 \geq 40$ Mpa** et **$EV2/EV1 < 2$** et ce pour 95% des points contrôlés. Ces performances permettent de classer l’arase entre les classes AR2 et AR1 (AR1-2).

2 - Cas des matériaux traités :

Le traitement des matériaux pour l’amélioration de l’arase des terrassements sera réalisé conformément au guide technique du SETRA-LCPC. Le traitement devra permettre de stabiliser et d’améliorer les caractéristiques mécaniques des matériaux et de les rendre peu sensibles à l’eau. Après traitement ces matériaux doivent avoir **un IPI supérieur à 15%** et **un rapport ICBR (après quatre (04) jours d’immersion) / IPI au moins égal à 1**. les performances mécaniques de portance à obtenir au niveau de la PST sont **$EV2 \geq 40$ Mpa**. Comme pour l’option granulaire les performances requises pour la PST traitée à la chaux permettent de la classer entre AR2 et AR1 (AR1-2).

II - JUSTIFICATION DE L'OPTION TRAITEMENT :

En l'absence des matériaux granulaire répondant aux spécifications du marché dans l'emprise et dans les gîtes environnant, l'entrepreneur a préféré le recours au traitement des sols à la chaux au lieu d'élaborer des matériaux à partir des carrières ouvertes dans la dorsale calcaire se trouvant à environ cinquante kilomètres du tracé.

1 - Justification économique :

L'entreprise a choisi l'option traitement pour les raisons suivantes :

- Valorisation des matériaux locaux : Ce procédé permet l'utilisation des matériaux en place sans avoir recours à des matériaux d'emprunt ou provenant de carrière qui sont souvent plus coûteux. Cette solution réduit en même temps la quantité des matériaux à mettre en dépôt ;
- Réduction des distances de transport : L'utilisation des matériaux locaux baisse le coût de transport entre le point d'extraction et le point de mise en œuvre. En effet, la distance de transport de matériaux locaux n'excède pas 5 à 6 Km par rapport à la distance de 55 Km depuis la carrière la plus proche si la PST n'est pas traitée ;

	Volume matériaux (m3)	Montant (DH)	Dépôt définitif (m3)	Montant (DH)	Distance transport (Km)	Montant (DH)	Quantité chaux (T)	Montant (DH)	MONTANT TOTAL (DH)
Sans traitement	220 000	13 200 000	130 000	325 000	52	22 880 000	-	-	36 405 000
Avec traitement	150 000	2 475 000	-	-	4	1 200 000	9 000	9 000 000	12 675 000

Le tableau ci-dessus explique l'écart en terme de coût entre la solution de la PST non traitée de 0,50 m réalisée avec un matériau insensible à l'eau, et la solution d'une PST en matériaux, extraits des déblais du projet, traité à la chaux.

La solution de traitement présente un cours global de 35% de la solution sans traitement.

2 - Justification technique :

En plus de l'aspect économique, le traitement a un intérêt écologique, puisque la valorisation des ressources locales en matériaux limite l'ouverture des carrières et des dépôts, atténuant ainsi l'impact du projet sur le milieu naturel. Le traitement participe, en l'optimisation des mouvements des terres, à la réduction des nuisances causées aux riverains et à la faune et la flore en diminuant les transports à l'extérieur du chantier.

Pour atteindre les objectifs du traitement cela passe inéluctablement par une bonne maîtrise de la qualité du produit fini et surtout par une maîtrise de l'étude de base, des constituants, du mélange, de la chaîne de production depuis la préparation des matériaux jusqu'à la mise en œuvre.

La composition du mélange résulte d'une formulation de niveau 2 conformément au guide technique des traitements des sols du L.C.P.C, cette première phase qui constitue un point d'arrêt a aboutit à une connaissance des matériaux susceptibles à être traités, à la définition de l'échantillon représentatif par classe GTR et l'exécution des études de formulation au laboratoire précisant la teneur en eau optimale et le dosage minimal permettant de garantir les performances de portance fixées par les termes de références.

La définition des différentes natures des matériaux aptes au traitement sur le tracé a été arrêtée après l'exécution d'une campagne de reconnaissance in situ et des essais de laboratoire : **procteur – IPI - CBR**, dont les résultats sont dressés dans le tableau suivant :

Déblai	Classe	CB R	Fr	Dg	50 mm	2 mm	0,08 mm	Wn	IP	Vb s	Wop n	dm	IPI
D1/D2/D3/D4/D5	R32	5	5	18	Roche marno calcaire			6	27	-	12	1,92	8
D4/D6/D9	R31	4	5	22				6	26	-	15	1,88	7
D6/D9	R34	2	8	-				6	32	-	14,5	1,87	13
D12/D14	A2	-	-	-	100	95	78	15	23	2	16	1,83	17
D11	A3	-	-	-	100	90	60	18	30	250	17,5	1,81	12

Ces résultats montrent que les matériaux de classe R3i sont caractérisés par un état en place sur consolidé semi rocheux avec des états hydriques très secs, les matériaux de classe A3 sont caractérisés par une forte plasticité et un état hydrique très humide.

la réussite du traitement de ces matériaux à la chaux est conditionnée par ;l'évolution de la granulométrie vers des sols fins, la modification de l'état hydrique très sec à des états moyens voire humide et la stabilité de ces matériaux pendant la mise en oeuvre.

Les essais d'aptitudes au traitement ont été réalisés sur des échantillons représentatifs par classe de sol selon la norme NFP94-100. Les résultats obtenus sont dressés dans le tableau suivant :

Classe GTR	Type de traitement	Gonflement volumique	Aptitude du sol
R31	3% de Cao	9%	Douteux
R32		5%	Adapté
R34		9%	Douteux
A2		2%	Adapté
A3		8,5%	Douteux

Ces résultats montrent que pour les classes R31, R34 et A3 il y a possibilité de **gonflement volumique**, mais le développement correct de la prise pouzzolanique sera apprécié lors de l'étude de traitement dont les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Classe	Proctor		IPI	CBR	Analyse granulométrie						IP	VBS
	Wopn	dmax			50 mm	20mm	10mm	5mm	2mm	0.08mm		
R 31	16	1.84	15	20	100	100	99	89	61	19	16	0.6
R 32	13.5	1.95	17	22	100	100	98	90	62	16	18	-
R 34	16.5	1.75	22	23	100	100	100	94	80	44	17	1
A 2	19	1.71	25	45	100	100	97	88	80	56	16	0.63
A 3	18	1.75	22	24	100	100	97	90	70	37	-	0.56

Ces résultats confirment que pour les différentes classes, il y a eu un effet pouzzolanique de la chaux avec une augmentation de 400% de l'indice CBR.

Cependant pour les classes R34 et A3, le rapport de l'indice CBR après quatre (04) jours d'imbibitions par rapport à l'indice portant immédiat est très proche de 1 et étant donné que les essais d'aptitudes les ont jugés douteux vis à vis du traitement, ces matériaux ont été écartés. Seuls les matériaux de classes GTR R31, R32 et A2 seront traités sur ce chantier. Pour les tester dans des conditions réelles d'exécution, l'entrepreneur a procédé à plusieurs planches d'essais par classe de sol.

Planches d'essais sur les classe R32 et A2 :

Plusieurs planches d'essais ont été réalisés pour les matériaux de classe R32 pour arrêter les modalités d'exécution conduisant aux résultats optimaux, ainsi le procédé d'exécution adopté sur le chantier est le suivant :

- **Etalage des matériaux pendant plusieurs jours avec fermeture de surface pour permettre leur dégradation à l'aire libre ;**
- **Première passe de l'arroseuse pour augmenter la teneur : les matériaux se trouvent à l'état sec avec passage du malaxeur pour fragmenter et dégrader les matériaux mécaniquement ;**
- **Deuxième passe de l'arroseuse pour amener les matériaux à des teneurs en eau comprises entre Wopn + 1 et Wopn + 2 ;**
- **Etalage de la chaux, avec contrôle de dosage ;**
- **Deuxième malaxage mécanique pour mixer le liant avec le sol et de le fragmenter d'avantage pour le ramener dans les conditions de moulage du laboratoire de chantier ;**
- **Le compactage est assuré principalement par un V5. Dix (10) passes ont été adoptées et la longueur maximale de traitement ne dépassant pas 80 ml ;**
- **Le traitement de feuillette se fait par niveleuse et compacteur à pneu ;**

Les contrôles de réception ont conduit aux résultats figurant dans le tableau suivant :

Classe	Dosage	Compac-tage	Epaisseur	Wn	Ic	EV 2	K	IPi	ICBR	G	Wn *
R 32	3 %	10 passes	0.35 m	14,5%	≥ 99 %	≥100	< 2	19	20	0,8%	15.5
A 2	chaux	8 passes	0.35 m	22%	≥ 95 %	≥ 70	< 2	15	33	0,2%	22%

* Mesure de gonflement et de teneur en eau après immersion de quatre (04) jours dans l'eau.

Les tableaux de contrôle de mouture sont dressés dans le tableau suivant :

Classe	Situation	20 mm	10 mm	5 mm	0.08 mm	IP	VBS
R32	Avant	100	98	90	16	18	-
	Après	99	89	78	33	29	1.1
A2	Avant	100	97	90	37	-	0.56
	Après	100	93	87	64	19	1.03

Ce tableau montre que la classe granulaire des matériaux est de 0/20 ce qui est conforme à l'échantillon représentatif du laboratoire.

III - REALISATION DE LA PST TRAITEE A LA CHAUX :

1 -Techniques d'exécution :

L'application de la PST au niveau du tronçon autoroutier RN2 – Lechbaa a été menée selon une cadence moyenne journalière de l'ordre de 2 500 m³/jour correspondant à environ 400 ml par voie et par jour. Le délai global d'exécution est de l'ordre de 2 mois.

Cette activité commence par l'épandage des matériaux pendant plusieurs jours afin qu'ils subissent une évolution naturelle ; l'arrosage préalable et le puitsage du sol sous le trafic des engins le fragment davantage en lui donnant l'aspect d'un sol fin à l'épandage.

La chaux utilisée est une chaux vive conforme à la norme **NFP98-101**, l'approvisionnement du chantier est assuré depuis l'usine LAFARGE à Tétouan par des camions bananes type livreur de ciment de 22 tonnes de capacité, des bons de livraison attestent de l'arrivée de la chaux sur chantier. Le contenu en chaux est déversé dans deux citernes semi mobiles équipées de pompes d'alimentation, elles sont munies de filtres pour réduire le rejet de la poussière. Les citernes se déplacent aisément sur des chariots vers les lieux de traitement, la durée de stockage de la chaux est limitée à deux jours pour éviter son altération par l'air ambiant.

Les matériaux utilisés pour le traitement de la PST sont de classe GTR R32 ou A2 ayant des caractéristiques géotechniques similaires à l'échantillon testé au laboratoire.

Ces matériaux seront acheminés depuis les buttes prévues par le PMT spécifique pour les matériaux destinés au traitement ; Une action mécanique et une action thermique sont effectuées pour transformer ces matériaux semi rocheux en sols pulvérulents.

Au niveau des arases des déblais on procède à des réceptions géotechniques qui recommandent des purges localisés ou généralisés au niveau des sols impropres au traitement.

On procède par la suite à la réception géotechnique de l'arase pour l'implantation de l'axe et les limites des entrées en.

L'épandage des matériaux à traiter se fait plusieurs jours à l'avance pour permettre la décomposition naturelle de ce type de sol initialement à l'état semi-rocheux, un premier arrosage avec fermeture de surface est effectué pour augmenter la teneur en eau des matériaux. Les engins de fragmentation mécanique : bulldozers, tracteur muni de socs et compacteur à pied dameur interviennent pour réduire les matériaux à une mouture de classe 0/20 mm, la quantité d'eau nécessaire est calibrée par la mesure de la teneur en eau du sol en place. La teneur en eau est ramenée par des arroseuses à rampe fixe à une valeur comprise entre Wopn+1 et Wopn+2.

La chaux est épandue sur la surface de la couche à traiter préalablement réglée et délimitée de manière à maîtriser le dosage en chaux et la profondeur de traitement. Le matériel d'épandage est un épandeur de la dernière génération, il est doté d'un système permettant d'avoir un coefficient de variation longitudinal et transversale inférieure à 15%. Il est muni de dispositif de jupes souples canalisant le liant jusqu'à la surface du sol à traiter.

Le malaxage est assuré par des malaxeurs à arbre horizontal couvert d'une cloche et permettant un mélange intime entre la chaux et les matériaux à traiter sur une profondeur de 0,35 m. Le malaxage est effectué en deux temps par bandes avec recouvrement de 0,20 m pour réduire davantage la mouture des matériaux à des classes inférieures à 0/20 (0/10 voire 0/5 mm).

Le compactage des sols traités est assuré par un compacteur V5 effectuant le même nombre de passes que celui des planches d'essai (10 passes). Puis un compacteur à pneu est prévu pour assurer la compacité au fond de couche et pour traiter le problème de feuilletage. La PST traitée est exécutée selon la méthode de remblai excédentaire. L'arase est contrôlée topographiquement pour s'assurer que sa pente transversale est de 4%.

2- Plan de contrôle :

Sur le chantier de l'Autoroute RN2 – Lechbaa l'assurance de la qualité est de degré 3, elle a pour objet de vérifier le dosage minimale en chaux garantissant les spécifications requises toute en permettant une productivité du chantier cohérente avec les délais d'exécution fixés dans le PGT et en assurant la protection de l'environnement vis-à-vis des émissions de poussière.

Ces contrôles sont topographiques ou de laboratoires, les paramètres à contrôler sont :

- **L'assise de la PST traitée ;**
- **Epandage de la chaux ;**
- **Arrosage ;**
- **Malaxage ;**
- **Qualité de la chaux ;**
- **Profondeur de malaxage ;**
- **Epaisseur de la PST traitée et la côte de l'arase.**

Les critères à satisfaire en tous points de la PST sont les suivants:

- Taux de compactage $\geq 95\%$ dopn,
- Portance $E_{v2} \geq 40$ Mpa,
- Indice de portant immédiat PPI ≥ 15 ,
- Rapport CBR à 4 jours d'imbibition par rapport à l'indice portant immédiat ≥ 1 .

En fin de chantier, la synthèse des actions d'assurance de la qualité est destinée à l'établissement du dossier de récolement qui contient en particulier :

- Les éventuelles anomalies, leurs causes et leur mode de traitement ;
- Le bilan des quantités de produit de traitement selon les résultats de contrôle du dosage et les relevés cumulés des données des bons de livraison ;
- La nature des matériaux de traitement ;
- Le recueil des événements météorologiques : pluviométrie, température, vent ...etc ;
- La méthodologie appliquée pour le pilotage du dosage.

3 - Problèmes rencontrés :

Lors des travaux de traitement des matériaux à la chaux sur le chantier RN2 – Lechbaa nous nous sommes confrontés à quatre (04) principaux problèmes :

- La nature des matériaux R32 qui sont initialement à l'état semi rocheux se débitant à l'extraction sous forme de blocs de marne sur consolidé alors que le marché prévoit des matériaux granulaires de classe 0/50 et que l'étude de traitement est faite sur un échantillon de classe 0/20. Pour ramener ces matériaux semi rocheux à une classe granulométrique 0/20, le procédé adopté consiste à une transformation des blocs de marne par étalage de plusieurs jours à l'air libre, sous l'action de l'humidification par l'arrosage pour changer leur état hydrique et sous l'action des engins bulldozers, compacteurs à pieds dameurs et des malaxeurs ; la mouture finale est satisfaisante. L'on arrive à la fin de ce procédé à une classe 0/10 voire 0/5. Sans cette transformation de granulométrie le traitement ne peut pas réussir sur ce type de matériaux ;
- L'état hydrique de matériaux se traitant dans un état très sec a nécessité le recours à une source d'eau (barrage colinéaire) situé à plusieurs kilomètres du site, il fallait ramener les matériaux d'une teneur en eau de 6% à 14% voire 16%, il y a eu une consommation importante d'eau ce qui a freiné l'avancement des travaux pendant la saison estivale. La longueur du traitement ne dépasse guère 60 à 80 ml par atelier de compactage afin de limiter l'évaporation pendant le compactage ;
- Le phénomène de feuilleteage qui provoque la décomposition de la surface traitée sur une pellicule superficielle de 5 cm a été traité par un rabotage à la niveleuse, léger arrosage et compactage au pneu ou au pied dameur ;
- Le vent de l'est qui caractérise la région du nord du Maroc se lève plusieurs fois par mois et bloque l'opération de traitement pendant plusieurs jours à cause des problèmes de dosage, qui n'est plus maîtrisable dans ces conditions, et des nuisances affectant l'environnement du fait de la propagation des poussière de chaux néfaste au milieu naturel.

CONCLUSION :

En l'absence des matériaux naturels répondants aux termes de contrat, l'entrepreneur a eu recours à la variante de traitement, cette dernière solution permet une mise en œuvre dans des bonnes conditions de traficabilité de compactage et d'homogénéité de la plate-forme d'une part et d'autre part il permet la :

- Vulgarisation de la technique de traitement : Cette expérience permet une meilleure familiarisation avec le traitement à la chaux, technique qui peut être adoptée sur d'autres chantiers où les matériaux nobles se font rares ;
- Promotion de l'industrie de la chaux : La technique de traitement à la chaux permet de promouvoir la seule et récente usine de fabrication de la chaux dans le royaume.
- Préservation de l'environnement : il convient de préciser que cette solution est en harmonie avec l'équilibre écologique. En effet le recours au traitement à la chaux réduit les transports à l'extérieur des emprises et l'ouverture de nouveaux dépôts et emprunts. Ceci atténue considérablement l'impact du projet sur la faune et la flore.