

Congrès de la route 2010

Thème 3: Techniques innovantes et développement durable

Expérience Marocaine dans Le compactage à sec des remblais de grande hauteur

Cas de l'autoroute Argana- PK19+000

Par :

MM. ELFADILI(LPEE/CEGT)- AIT EL AAL(LPEE/CEGT)- AZOUZI(ADM/DTAA)-

Mme SKIKER(LPEE/CEGT)

E-mail: mourad1708@yahoo.fr

Résumé de la communication

Le tronçon Argana-PK19 de l'autoroute Marrakech-Agadir se situe dans une zone montagneuse nécessitant la réalisation des ouvrages en terre importants, remblais et déblais. Les difficultés rencontrées lors de la réalisation de ce tronçon sont liées aux contextes géologiques constitués par les formations du Trias de roches plus ou moins tendres dont le comportement est conditionné soit par leur matrice argilo limoneuse, soit par leur squelette grenu.

Sans doute la difficulté majeure de ce projet réside dans le réemploi des matériaux du tracé, sans changement de leur état hydrique dans des remblais de grande hauteur.

Les remblais de grande hauteur sont considérés comme des ouvrages d'art puisqu'il faut tenir compte des conditions de mise en œuvre des matériaux et des conditions de stabilité de ces remblais. Ils présentent des particularités techniques qui ne sont pas totalement couvertes par le GTR.

Pour envisager la mise en œuvre des matériaux du tracé en dehors des conditions du GTR, il faut s'assurer à court et long terme de leur comportement et les conditions de leur mise en œuvre moyennant des planches d'essais et des études spécifiques.

Cette communication a pour but de présenter les résultats des planches d'essais et le profil adopté pour réaliser des remblais de plus de 10m de hauteur avec des matériaux du tracé à l'état naturel.

INTRODUCTION

Le tronçon Argana-PK19 de l'Autoroute Marrakech-Agadir évolue dans une zone montagneuse nécessitant la réalisation des ouvrages en terre importants notamment les remblais de grande hauteur. Ces remblais présentant des particularités techniques qui ne sont pas totalement couvertes par le GTR, compte tenu des caractéristiques des matériaux du tracé, de leur état hydrique, de la hauteur du remblai à réaliser et des conditions de mise en œuvre, ainsi que les conditions de stabilité de ces remblais.

Dans le souci d'une meilleure exploitation des matériaux à proximité du site et face aux spécificités du projet liées surtout au contexte géologiques et climatologique, la difficulté majeure de ce projet résidait dans le réemploi des matériaux du tracé, sans changement de leur état hydrique, dans les remblais de grande hauteur.

Ainsi, la mise en œuvre des matériaux du tracé en dehors des conditions du GTR a nécessité une étude de caractérisation des matériaux permettant de s'assurer d'abord de leur comportement à court et à long terme et la détermination des conditions de leur mise en œuvre moyennant des planches d'essais et des études spécifiques.

Le présent article relate les spécificités du projet, le profil adopté pour réaliser des remblais de 30m de hauteur avec des matériaux du tracé à l'état naturel, ainsi que les résultats des planches d'essais réalisés pour définir les modalités de mise en œuvre de ces matériaux.

I. PRESENTATION DES SPECIFICITES TECHNIQUES DU PROJET

I.1. Géologie et climatologie du site

La section autoroutière Argana-PK19 se situe dans une zone aride (faible pluviométrie et évaporation importante) et montagneuse du Haut Atlas. Le tronçon longe le bassin d'Argana. Ce dernier est situé sur le versant occidental du Haut Atlas, à 125 km au sud ouest de la ville de Marrakech. Il s'étend sur environ 70 km de long et 15 km de large, d'Amsekroud au sud, à une dizaine de kilomètres d'Imi'n'Tanout au nord. Il est limité au nord par la faille inverse d'Ichemraren-Imi n'Tanout et au sud par la faille d'El Menizla qui marque le contact morphologique entre le Haut Atlas occidental et la plaine du Souss. Le bassin forme une dépression, communément appelée le « Couloir d'Argana », entre le massif paléozoïque des Ida-ou-Mahmoud à l'est et le plateau jurassique des Ida-ou-Bouzia et Ida-ou-Tanan à l'ouest. Cette dépression est le résultat de l'érosion par la rivière Assif Aït-Moussa qui a exposé 1500 km² de couches permienues et triasiques.

Ce couloir est dominé par les formations triasiques rougeâtres à caractère meuble en général (argile, silt, limon, ...), cachant des bancs silteux et gréseux durs (Carte 1). Sur ces formations sont déposés au Tertiaire et au Quaternaire des dépôts détritiques continentaux issus du démantèlement des chaînes atlasiques et formant par endroit des cônes de déjection.

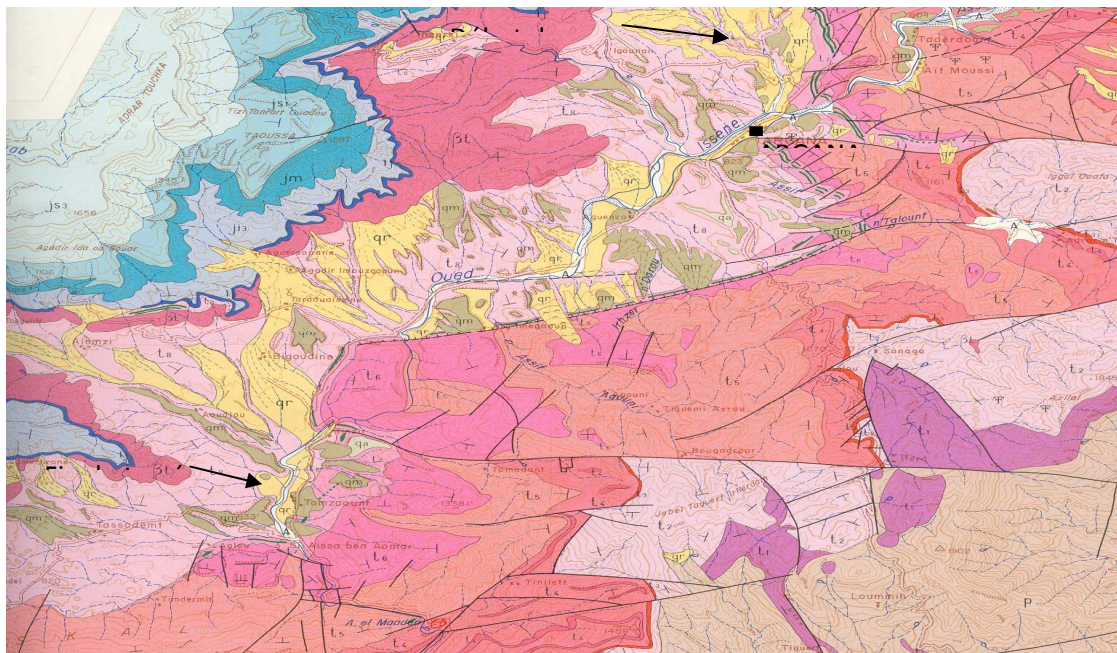


Figure 1 : Carte géologique et localisation du début et fin du tracé de l'autoroute Marrakech Agadir, Tronçon Argana-Amsekroud lot 1 (Extrait de la carte géologique du couloir d'Argana 1/ 100 000)

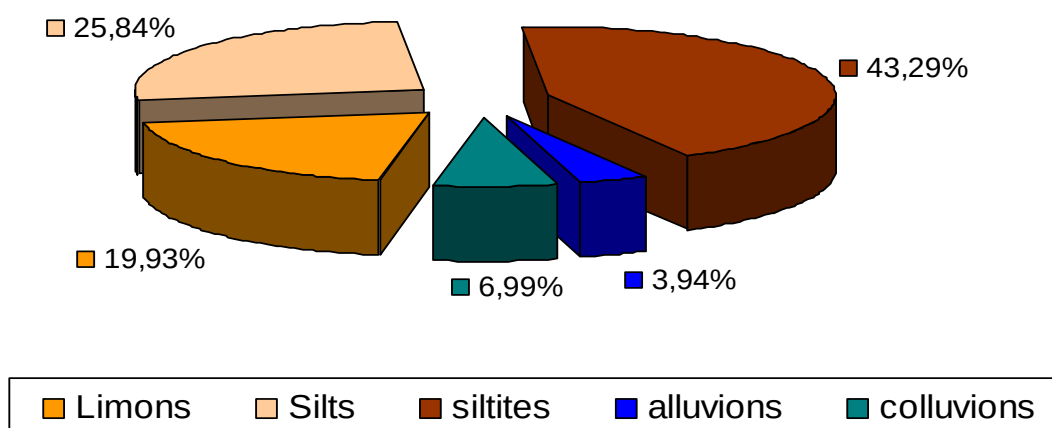
I .2.Caractérisation des matériaux du tracé: Essais de laboratoire et nature géologique

Les campagnes de reconnaissances géotechniques ainsi que les essais de laboratoire réalisés pour caractériser l'ensemble des matériaux selon GTR, ont permis de montrer que les formations lithologiques traversées le long du tracé sont décrites comme suit :

1. Colluvion : Cette formation à matrice relativement hétérogène (argileuse à limoneuse) est classée en C1B5, C1B3, C1B4, et rarement en C1A1 et C1A2.
2. Alluvion : Cette formation est classée en C1B5, C1B4 et C1B6.
3. Limon : Cette formation à texture relativement hétérogène est classée en C1B5, C1B4, B5, B4, C1A1 et D2.
4. Silt : Ce type de sol est très hétérogène, il varie de silt argileux au silt limono-graveleux. Le silt argileux relativement fin se classe en C1A1 et A1 et en moindre importance en C1A2 et A2. Par contre, le silt limono-graveleux qui est plus grossier se classe en C1B5, B5, C1B4, B4, et B6.
5. Siltite : Cette formation indurée ou tendre par endroit est classée en R42/CiBi, R43/CiAi.

Ces formations dont le comportement est conditionné soit par leur matrice argilo-limoneuse ou par leur squelette grenu, présentent dans l'ensemble, un état hydrique très sec.

Par ailleurs, le pourcentage de chaque formation le long du tracé est donné sur Le diagramme sectoriel suivant :



I .3.Besoins particuliers du chantier en eau

L'état hydrique déterminé sur les matériaux traversés le long du tracé a constitué une difficulté technique pour le projet. En effet, c'est un état d'humidité très faible n'autorisant plus la réutilisation des sols dans les conditions technico-économique courantes.

En outre, l'état hydrique étant un paramètre qui n'est pas propre au sol mais qui est en fonction de l'environnement dans lequel il se trouve, fait que les matériaux en place vont nécessiter une importante quantité d'eau pour leur compactage.

Ainsi, Pour déterminer les volumes d'eau à incorporer à chaque type de matériaux, on a pris en considération la démarche suivante :

Sachant que les matériaux CiBi par exemple sont dans l'état hydrique (ts) ($W_{nat} < 0,7 * W_{opn}$) et en déterminant W_{opn} et W_{nat} , on a pu alors calculer le volume d'eau nécessaire qui est : $V_w = Q * (W_{nat} - W_{opn}) * \rho_d / \rho_w$

Avec :

- ρ_d est la densité Proctor normal déterminé sur 0/20 ;
- ρ_w est la densité de l'eau égale à 1t/m³ ;
- Q : est le volume des matériaux en m³.

Le tableau suivant présente les résultats du calcul forfaitaire des quantités d'eau nécessaire pour changer l'état hydrique des matériaux en place de w à 0,75w_{opn}:

	W _{nat} moyenne en %	W _{opn} moyenne en %	densité proctor moyenne en T/m ³	% des matériaux	Quantité des matériaux en m ³	Quantité d'eau nécessaire en m ³
Limons	3,0	13,0	1,88	19,93	687039,08	129163,35
silts	2,0	12,0	1,95	25,84	890641,39	173675,07
Siltites	2,0	9,5	2,00	43,29	1492177,25	223826,59
alluvions	3,0	9,7	2,0	3,94	126522,40	16954,00
colluvions	3,0	12,3	1,97	6,99	250550,87	45903,45
Total				100	3446930,99	589522,43
				+15% de l'évaporation		508500,00

L'évaluation des quantités d'eau nécessaires pour changer l'état hydrique des matériaux et la pénurie des ressources en eau dans la région, ont montré qu'il est indispensable de penser à des variantes techniques permettant de contourner cette problématique d'eau.

II.CONCEPTION DES REMBLAIS DE GRANDE HAUTEUR

Etant donné que les sols rencontrés dans les déblais présentent une certaine hétérogénéité et des états hydriques très secs. Aussi, comme il n'est pas possible de déplacer des sols pour les utiliser en remblais sur de grandes distances ou transporter des eaux pour changer l'état hydriques des matériaux en place, l'adaptation des matériaux disponibles sur site a constitué la variante technique optimale pour la réalisation des ouvrages en terre dans ce projet.

Les possibilités d'utilisation des matériaux étant en fonction de la hauteur du remblai, de leurs conditions de mise en œuvre, ainsi que les conditions de stabilité de ces remblais. La mise en œuvre des matériaux du tracé en dehors des conditions du GTR peut être maîtrisée par une affectation sélective des matériaux dans des zones bien choisies dans le remblai. Cela consiste à affecter les matériaux disponibles dans les différentes parties du remblai (talus, noyau et base de remblai), en tenant compte des particularités techniques des grands remblais à savoir:

1-les contraintes dues à la charge du remblai

Problématique de la base des remblais de grande hauteur

Le chargement provoque des tassements si la surconsolidation créée par le compactage est inférieure à la charge appliquée. On admet que la surconsolidation apportée par une énergie proctor est équivalente à une hauteur de 10m de remblai soit une contrainte de l'ordre de 200KPa, donc pour un remblai moins de 10m on peut se contenter d'appliquer le GTR.

Au delà de 10m il faut introduire la notion de base de remblai où il faut affecter les matériaux de bonnes caractéristiques mécaniques.

Les formations prépondérantes sur chantiers sont les silts, les siltites tendres qui donnent des silts après compactage et des siltites dur, il va de soit que les siltites durs doivent être affectés au niveau de la base des remblais de grandes hauteurs avec des spécifications sur le pourcentage des passants à 0,08mm et 2mm.

Pour cette partie de l'ouvrage les spécifications du chantier sont comme suit :

matériaux de classe CiA1à3, CiBi et D3, avec

- Passant à 2mm < 30% sur la fraction 0/D ;
- Passant à 0.08mm < 12% sur la fraction 0/D ;
- D max < 250mm.

Problématique des matériaux de confinement

Les matériaux fins qui sont principalement des silts et qui ne sont pas plastiques présentent des problèmes d'érodabilité et doivent être protégés par des matériaux grenus ou charpentés.

Pour cette partie de l'ouvrage les spécifications du chantier sont comme suit :

matériaux de classe CiA1à3, CiBi et D3, avec

- Passant à 2mm < 30% sur la fraction 0/D ;
- Passant à 0.08mm < 12% sur la fraction 0/D ;
- D max < 250mm.
- Pour des problèmes de stabilité les matériaux roulés sont exclus, et la granulométrie des matériaux est continue 0/250mm telle que $C_u = D_{60}/D_{10} > 2$.

Pour l'utilisation de ces matériaux à l'état très sec, il faut passer par une planche d'essai.

2- le comportement des matériaux à long terme

Les sols fins comme les silts et les limons sont vulnérables à la saturation, c'est pour cela qu'il faut étudier en préalable selon chaque cas les limites de leur utilisation en dehors des conditions du GTR. Pour le cas du tronçon d'autoroute Argana-PK19, les sols fins sont utilisés à l'état (ts) sans restrictions sur leur granulométrie seulement dans les 3m supérieurs des remblais, puisque la charge du remblai à ce niveau est moins de 100KPa et le risque de l'effondrement par saturation est faible.

En dessous des 3m et au dessus de la base de remblai, le risque de l'effondrement par saturation est plus important qu'au 3m supérieurs et moins important qu'au niveau de la base du remblai, c'est pour cela l'utilisation des matériaux à leur état très sec n'est permis que avec limitation de la fraction 0/2mm à 30%, pour que le comportement du matériau soit conditionné par la fraction 2/D et sera moins sensible à la saturation.

Pour l'utilisation de ces matériaux à l'état très sec, il faut passer par une planche d'essai.

3- La stabilité externe

L'étude de stabilité porte en général sur des aspects d'ordre géométrique comme la pente du talus ainsi que la stabilité externe, ces éléments ne posent pas de problèmes particuliers.

En tenant en compte ces éléments le profil type du remblai sera comme suit :

Figure 1: Profil en long d'un ouvrage de franchissement.

Le diagramme illustre la structure d'un ouvrage de franchissement (pont ou viaduc) en coupe longitudinale. Les dimensions et les matériaux sont spécifiés comme suit :

- Dimensions :**
 - Largeur totale de la structure : 14.00m.
 - Largeur de la chaussée : 10.00m.
 - Largeur des trottoirs : 2.00m de chaque côté.
 - Épaisseur du revêtement : 15cm.
 - Épaisseur du béton : 15cm.
 - Épaisseur du matériau de base : 10cm.
- Matériaux et Couches :**
 - Revêtement :** Avec le revêtement.
 - Béton :** Béton de 15cm d'épaisseur au C.C.T.P. (article B1).
 - Matériau de base :** Couches inférieures en matériau (voir spécification au C.C.T.P. (article B1)).
 - Pavement :** P.S. (voir spécification au C.C.T.P. (article B1)).
 - Vase :** Vase de 10cm d'épaisseur au C.C.T.P. (article B1).
- Notes :**
 - Le revêtement n'est pas nécessaire dans le cas où les deux conditions suivantes sont respectées :
 - La pente est à moins de 30% au 100m.
 - La pente est à moins de 10% au 100m.

- Longueur : 50 ml avec 30ml longueur utile et 20 ml correspondant aux sections de manœuvre des engins (10 ml de part et d'autre)
- Largeur : 3 bandes

- Hauteur présagée : varie selon le cas de 0.35 à 0.5 après compactage, soit 0.4 à 0.55 foisonnée.

- **Déroulement de la planche**

- Préparation de l'assise : Compactage à une compacité de 95% OPN
- Réalisation essai de portance à de plaque à la demande du maître d'œuvre.
- Identification sur stock après extraction et avant transport.
- Identification des matériaux après étalage.
- Détermination de l'état hydrique du matériau.
- Compactage avec différentes énergies
- Essais de densité sur place moyennant le gammadensimètre et le densitomètre à membrane (10L).
- Identifications après compactage.
- Essai de plaque pour déterminer le module de déformabilité et le rapport des modules du 1er et 2ème cycle de chargement.

Résultats des essais

Résultats de la planche de référence

Tableau n°1 : identification avant transport (sur stock)

Granulométrie				VBS	LA	MDE	FR	DG	Classe GTR
%<80 µm sur 0/D	% <2mm sur 0/D	% <50mm	D max (m)						
6.75	13	41.2	315	0.2	47	96	2.3	1.11	C2B5
11.5	20	57.6	250	0.22	44	100	3.15	1.12	C2B5
11	18	50	250	0.26					C2B5
10.26	17.4	55.2	250	0.22					C2B5
9.9	17	51	250	0.22	46	98	2.7	1.11	C2B5

Avec

VBS : la valeur de bleu de méthylène NFP 94-068

LA : Essai Los Angles NFP 18-573

MDE : Essai d'usure micro-deval NFP 18-572

FR : Essai de fragmentabilité des matériaux rocheux NFP 94-066

DG : Essai de dégradabilité des matériaux rocheux NFP 94-067

La moyenne du % des fines sur 0/D est de 10%, la moyenne des passants au 2mm sur 0/D est de 17%, le % des inférieurs à 50mm sur 0/D est de 51%, la VBS est de 0.22, les valeurs de LA, FR, MDE et DG accusent respectivement 46%, 2.7%, 98% et 1.11%. Ainsi, la roche d'origine est classée en R42.

Le Dmax du matériau est 250mm, le coefficient d'uniformité Cu est >>2 et la classification selon le GTR est C2B5.

Etat hydrique :

Tableau n°2 : Résultats des teneurs en eau avant compactage

N° couche	Teneur en eau avant compactage en (%)	Wopn (%)	Etat hydrique
Planche de référence en état moyen	9.6	10	Moyen
	9.3	10	Moyen
	10	10	Moyen

Conditions de compactage :

Grille de décision pour le matériau C2B5 en état hydrique moyen avec un cylindre vibrant V5:

- E=0.5m
- V=2.5Km/h
- N=5

La prescription du compactage a été établie pour atteindre les valeurs moyennes suivantes :

- Densité moyenne > 95% de la densité de référence proctor normal.

ET

- Densité au fond de la couche > 92% de la densité proctor normal

Prélèvements après compactage :

Tableau n°3 : identification après compactage (5passes):

Granulométrie				VBS	LA	MDE	FR	Classe GTR
%<80 µm sur 0/D	% <2mm sur 0/D	% <50mm	D max (cm)					
10.74	18.2	61.4	250	0.28	57	100	3	C2B5

Réalisation des densités in-situ

Les mesures ont été effectuées moyennant deux méthodes :

- Le gammadensimètre
- Le densitomètre à membrane (10L).

Les résultats obtenus sont comme suit :

Tableau n°4 : Résultats des densités au densitomètre à membrane

Désignation	Densité (t/m ³)	Densité (t/m ³)
	En surface	En profondeur
Planche d'essai	2.15	1.99
	2.16	1.95
	2.15	1.97
Moyenne	2.15	1.97
Ecart type	0.58%	2%

Tableau n°5 : Résultats des densités au gammadensimètre

Désignation	Densité (t/m ³)	Densité (t/m ³)
	En surface	En profondeur
Planche d'essai	2.146	2.019
	2.027	1.986
	2.099	1.946
Moyenne	2.091	1.984
Ecart type	6%	4%

-La densité moyenne de la couche mesurée au gammadensimètre est de 2.06t/m³.

-La densité moyenne de la couche mesurée au densitomètre à membrane est de 2.04 t/m³.

En analysant les différents résultats obtenus, les deux méthodes aboutissent à des densités de référence assez comparables à la même densité de référence.

planche à l'état très sec :

Etat hydrique :

Tableau n°7 : Résultats des teneurs en eau avant compactage

N° couche	Teneur en eau moyenne	Wopn (moyenne)	Etat hydrique
Couche n°1 et 2 de la planche	2	10	Très sec

Grille de décision de compactage :

- E=0.35m
- V=2.5Km/h
- N=7 et 8passes avec un cylindre vibrant V5

Après compactage :

Tableau n°8 : identification après compactage de la 2ème couche:

Granulométrie				VBS	Classe GTR
%<80 µm sur 0/D	% <2mm sur 0/Dm	% <50mm	D max (m)		
8.9	16.2	50.5	250	0.22	C2B5

Suivi des densités :

Les mesures de densité ont été réalisés sur chaque couche et à chaque énergie de compactage, Les mesures ont été effectuées moyennant deux méthodes :

- Le gammadensimètre
- Le densitomètre à membrane (10L).

Les résultats obtenus sont consignés dans les tableaux suivants :

Nbr de passe	Au gammadensimètre		Au densitomètre	
	Moyenne De la Densité (t/m³)	Ecart type	Moyenne De la Densité (t/m³)	Ecart type
7	2.12	4,58%	2,065	5,25%
8	2.13	0%	2,025	0,75%

Commentaire :

Les valeurs moyennes obtenues en fonction de l'énergie de compactage sont données dans le tableau suivant :

Méthode d'essai	Energie de compactage		Densité de la planche de référence en t/m3
	Densité moyenne pour 7passes en t/m3	Densité moyenne pour 8 passes en t/m3	
Densitomètre à membrane (10L)	2,12	2,12	2,06
Gammadensimètre	2,065	2,025	2,04

L'analyse des résultats obtenus montre qu'avec une épaisseur moyenne de 0.35m et une vitesse de translation d'un compacteur type V5 de 2.5Km/h, l'objectif de densification du matériau est atteint avec une énergie de compactage de 7 à 8 passes du compacteur V5.

Suivi de portance :

Des essais de plaque ont été réalisés au niveau de la deuxième couche de la planche d'essai, les résultats des modules E_{v2} et la déformabilité ($K=E_{v2}/E_{v1}$) sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau n°11 : Résultats de l'essai de plaque :

Désignation	8 passes	
	EV2(bars)	K
2° couche de la planche tsec	1500	2.2
	1451	1.4
	1153	1.27
Moyenne	1367	1.62

Au vu des résultats obtenus, on a constaté une légère évolution de la granulométrie du matériau testé. Le pourcentage des fines a augmenté de l'ordre de 1%, le taux des inférieurs à 2mm a augmenté d'environ 2.2% et la valeur au bleu (VBS) a varié de 0.19 à 0.22.

Dans l'ensemble le matériau testé a gardé sa classe GTR qui est C2B5 et cette légère évolution de la granulométrie après compactage est normale pour ce genre de matériau rocheux (R42) et elle n'affecte en aucun cas sa qualité à être utilisé pour le confinement et dans la base des remblais de plus de 10m de hauteur.

III-2-Planche d'essais sur les matériaux Siltites tendres (silt après évolution)

Ces matériaux sont prévus d'être utilisés sans humidification (hors conditions du GTR) dans les 3m supérieur des remblais.

Les planches d'essais réalisées sur ce matériau ont pour objectif la détermination des modalités de compactage des matériaux , en état très sec (déséquilibre hydrique du corps de remblai) en visant un niveau de compactage q4 (densité au moins de 95% de l'OPN) nécessaire pour la mise en remblai.

Caractéristiques générales et positionnement de la planche :

La planche d'essai a consisté en l'exécution préalablement d'une première couche avec un état hydrique moyen et dans les conditions de mise en œuvre prévues par le GTR et à l'exécution de trois couches superposées en état très sec avec différentes énergies de compactage.

Déroulement de la planche :

- Détermination de l'état hydrique du matériau.
- Compactage avec différentes énergie.
- Essais de densité sur place moyennant le gammadensimètre du laboratoire de contrôle extérieure et le densitomètre à membrane (10L).
- Identifications après compactage.
- Essai de plaque pour déterminer le module de déformabilité et le rapport des modules du 1er et 2ème cycle de chargement.

Les résultats des essais réalisés sur cette planche d'essais sont donnés dans les tableaux suivants :

PLACHE DE REFERENCE

Tableau n°1 : résultats des essais d'identification avant compactage

<i>Granulométrie</i>				<i>VBS</i>	<i>Classe GTR</i>
%<80 µm	% <2mm	% <50mm	D max (m)		
32.4	45	80	160	0.55	C1A1

Tableau n°2 : Résultats des teneurs en eau avant compactage

N° couche	Teneur en eau moyenne	Wopn (moyenne)	Etat hydrique
Couche moyenne	11.4	11	Moyen
	11.1	11	Moyen

Les caractéristiques recherchées pour le matériau en état hydrique moyen avec un cylindre vibrant V5:

- $E=0.5m$
- $V=2.5Km/h$
- $N=5$

La prescription du compactage a été établie pour atteindre les valeurs moyennes suivantes :

- Densité moyenne > 95% de la densité de référence proctor normal.
ET
- Densité au fond de la couche > 92% de la densité proctor normal

Tableau n°3 : Résultats des densités au gammadensimètre sur la couche en état m

Désignation	Densité (t/m ³) En surface	Densité (t/m ³) En profondeur
couche en état m	1.997	1.825
	2.011	1.817
	1.915	1.919
Moyenne	1.974	1.854

La densité moyenne est de 1,914 t/m³

PLANCHE A L'ETAT TRES SEC

Les résultats obtenus sur les planches réalisées à l'état hydrique sec sont consignés dans les tableaux suivants :

Tableau n°1: Résultats des teneurs en eau avant compactage

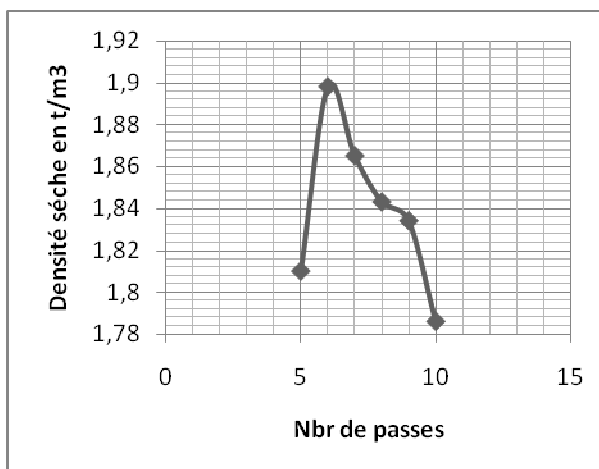
N° couche	Teneur en eau moyenne	Wopn (moyenne)	Etat hydrique
Couche n°1 de la planche	3.5 ; 2.8 et 3.4	10	Très sec
Couche n°2ème de la planche	3.1, 3.6 et 2.9	10	Très sec

Tableau n°2 : identification après compactage de la 2ème couche:

Granulométrie				VBS	Classe GTR
%<80 µm sur 0/Dmax	% <2mm sur 0/Dmax	% <50mm	D max (m)		
32.8	44.4	77.6	140	0.61	C1A1

Tableau n°2 : Résultats des densités au Gammadensimètre

	1ère couche	2ème couche
Nbr de passes	la Densité (t/m³)	la Densité (t/m³)
5	1.810	1.822
6	1.898	1.848
7	1.865	-
8	1.843	-
9	1.834	-
10	1.786	-



La courbe ajustée sur les points expérimentaux présente une densité maximale de 1,9 t/m³, pour une énergie de compactage de 6 passes.

Pour un nombre de passe supérieur à 6, on constate un léger décompactage le matériau se décompacte.

Suivi de portance :

Des essais de portance à la plaque ont été réalisés au niveau de la deuxième couche de la planche d'essai, les résultats des modules E_{v2} et la déformabilité ($K=E_{v2}/E_{v1}$) obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau n°7 : Résultats de l'essai de plaque :

Désignation	EV2(bars)	K
Planche ts	1000	1.03
	1098	1.27
	1154	1.31
	849	1.23
	1022	1.64
Moyenne	1024.6	1.3

Le module caractéristique est supérieur à 300bars, ce qui est important pour le compactage des couches supérieures.

Conclusion

Le tronçon Argana-PK19 de l'autoroute Marrakech-Agadir se situe dans une zone montagneuse nécessitant la réalisation des ouvrages en terre importants, remblais et déblais. Les difficultés rencontrées lors de la réalisation de ce tronçon sont liées aux contextes géologiques constitués par les formations du Trias de roches plus ou moins tendres dont le comportement est conditionné soit par leur matrice argilo limoneuse, soit par leur squelette grenu.

Pour la réutilisation des matériaux du tracé en dehors des dispositions prévues par le GTR, une série de planches d'essais a été réalisée pour déterminer les modalités de compactage de ces matériaux et définir les dispositions techniques quant à leurs mises en œuvre dans les remblais de plus de 10 m de hauteur.