

8ème CONGRES NATIONAL DE LA ROUTE

REALISATION DES REMBLAIS DE GRANDES HAUTEURS A L'ETAT SEC & TRES SEC

(Cas de l'autoroute Argana – Amskroud)

Par : M. EL AZZOUZI Zine-El-Abidine (Autoroutes Du Maroc)

Résumé de la communication

Les remblais de grande hauteur sont considérés comme des ouvrages d'art, car leur réalisation réunie à la fois les conditions de mise en œuvre des remblais courants et les conditions de stabilité qui peuvent modifier le choix, la disposition et la mise en œuvre des matériaux dans le corps de remblai.

Le compactage à l'état sec et très sec des matériaux de remblais est une technique qui a été utilisée pour la première par ADM à l'occasion de la réalisation du tronçon autoroutier Benguerir-Marrakech.

La réalisation des remblais avec des matériaux à l'état très sec présente des difficultés de compactage, qui risquent de provoquer à moyen et/ou à long terme, des désordres dans le remblai, en cas de mauvais compactage.

Le tronçon autoroutier Argana - Amskroud se situe dans une zone montagneuse du moyen Atlas et traverse une zone caractérisée par un relief très accidenté tout le long du tracé, se qui imposera la réalisation des remblais de grande hauteur. De plus, la région connaît un déficit accru concernant les ressources en eau, aggravé par les épisodes de sécheresse vécues ces dernières années.

Ainsi les travaux de terrassement du tronçon autoroutier Argana – Amskroud se sont retrouvés face à un déficit double : la hauteur du remblai et l'état hydrique des matériaux.

Le but de cette communication est de partager l'expérience vécue par ADM sur ce tronçon autoroutier concernant la mise en œuvre des remblais de grandes hauteurs à l'état sec et très sec.

Elle permettra de mettre le point sur les différents aspects liés à la conception et à la réalisation des travaux de remblai de ce tronçon autoroutier en décrivant les contraintes, les difficultés rencontrées et les solutions adoptées, à chaque étape d'évolution du projet :

- **Contraintes de la conception** : Les principales contraintes de conception de ces remblais seront déclinées, notamment la géologie et la géotechnique du site, la nature des matériaux rencontrés et leur état hydrique, l'équilibre du mouvement des terres,...
- **Solutions retenues** : Plusieurs profils en travers types ont été adoptés selon la hauteur et la pente retenue pour le remblai. De plus, chaque remblai a été subdivisé en plusieurs parties : base de remblai, corps de remblai, encagement, partie supérieure des terrassements.
- **Spécifications contractuelles** : Pour chaque partie du remblai et chaque type de matériau rencontré, des exigences sur les spécifications des matériaux à utiliser, le mode de compactage, l'état hydrique de mise en œuvre, ... ont été arrêtés au niveau du cahier des clauses techniques particulières du marché de construction de ce tronçon autoroutier.
- **Réalisation des travaux** : Les différents matériaux rencontrés ont été testés sur planche d'essai avant d'entamer la réalisation des travaux. Plusieurs difficultés ont été rencontrées concernant l'approche de la problématique, l'interprétation des résultats obtenus, l'adéquation des moyens de mise œuvre aux rendements escomptés, l'équilibre du mouvement des terres,...

SOMMAIRE

- Problématique des remblais de grande hauteur
- Problématique des remblais avec des matériaux à l'état très sec
- Remblais du projet
- Géologie du site
- Géotechnique du site
- Contraintes de la conception
- Solutions retenues
- Profils en travers types
- Matériaux pour remblais
- Difficultés rencontrées lors de la réalisation des travaux
- Annexes

I- Problématique des remblais de grande hauteur :

Les remblais de grande hauteur sont les remblais dont la hauteur dépasse 15 mètres.

Les remblais de grande hauteur sont considérés comme des ouvrages d'art car leur réalisation réunie à la fois :

- Les conditions de mise en œuvre des remblais courants ;
- Les conditions de stabilité qui peuvent modifier le choix, la disposition et la mise en œuvre des matériaux dans le corps de remblai.

II- Problématique des remblais avec des matériaux à l'état très sec :

La réalisation des remblais avec des matériaux à l'état très sec présente plusieurs difficultés :

- Difficultés de compactage : Un mauvais compactage engendre des vides surtout pour les matériaux sensibles à l'eau. Les écoulements des eaux provoquent par la suite une perte de cohésion, et donc des désordres dans le remblai (tassements, fissures,...) ;
- Problèmes de traficabilité : Pour certains matériaux de faible cohésion, la traficabilité des engins peut être déterminante (rendements,...).

Les solutions envisageables pour l'utilisation en remblais, des matériaux à l'état très sec, sont :

- Changement de l'état hydrique : Cette solution consiste à humidifier le matériau à l'état très sec pour le ramener à un état de mise en œuvre décrit par le GTR ;
- Augmentation de l'énergie de compactage : Cette solution consiste à arrêter sur planche d'essai, les modalités de compactage (épaisseur, matériel, nombre de passes,...) pour atteindre l'objectif q4 défini par le GTR.

A rappeler que le GTR limite l'utilisation des matériaux à l'état très sec aux remblais qui n'excèdent pas les 10 m.

III- Remblais du projet :

Les données concernant le nombre, la hauteur et la quantité des remblais du tronçon Argana – Amskroud, sont résumées ci-dessous :

Type de matériaux	PK 0 – PK 20	PK 20 – PK 46
Nombre de remblais	20	24
Remblais > 10 m	18	21
Plus haut remblai	33 m	45 m
Quantité totale des remblais	3 300 000 m ³	5 200 000 m ³
Quantité des remblais ordinaires	1 600 000 m ³	2 400 000 m ³
Quantités des remblais pour confinement, base et PST	1 700 000 m ³	2 800 000 m ³

IV- Géologie du site :

Le tronçon Argana - Amskroud se situe dans une zone montagneuse du moyen Atlas. Les formations traversées sont essentiellement constituées par les formations du Trias, de couleur rouge comprenant, de bas en haut :

- Des grés rouges massifs ;
- Des alternances de grés ;
- Des siltites ;
- En couverture : Des éboulis de pentes, des colluvions et des alluvions.

Ces formations ont été plissées (mouvements tectoniques), pour former un anticlinal constitué par des roches plus ou moins tendres donnant à l'extraction des matériaux dont le comportement est conditionné soit par une matrice argilo limoneuse, soit par le squelette grenu.

V- Géotechnique du site :

Le tronçon Argana - Amskroud peut être divisé, de point de vu géotechnique, en deux sections différentes :

- Entre le PK 0 et le PK 19 : Les matériaux extraits des déblais sont des siltites classés en R42 et R43 selon GTR et évoluent vers des C1B5 et des C2B5 (Généralement en profondeur). Ils se comportent après mise en œuvre en remblai comme des sols fins.

- Entre le PK 19 et le PK 46 : Les sols rencontrés sont principalement du rocher classé en R41 et R42 selon GTR, et qui se comportent globalement après mise en œuvre des remblais comme des matériaux charpentés classés en C2B3 ou C2B5 suivant le GTR, du fait de la présence de grès et de siltite plus cimentés.

VI- Contraintes de la conception :

Les principales contraintes de conception des remblais du tronçon Argana – Amskroud peuvent être résumées en :

- La nature des matériaux
- L'état hydrique des matériaux : ts
- Hauteur des remblais (Zone montagneuse)
- Pénurie d'eau (75 litres par mètre cube du sol pour passer de ts à s)
- Les conditions climatiques (Pluviométrie, évaporation,...)
- Géologie du site (versants plus ou moins stables)
- Le sol support (meuble, substratum)
- Zone sismique
- Réutilisation des matériaux (PMT)
-

VII- Solutions retenues :

Les pentes de talus retenues pour le tronçon Argana – Amskroud sont :

- Entre le PK 0 et le PK 19 : pentes raides à 3H/2V
- Entre le PK 19 et le PK 46 : pentes douces à 2H/1V

Les remblais du tronçon Argana – Amskroud ont été subdivisés en plusieurs parties :

- Corps de remblai (Deux cas : $H < 3 \text{ m}$ et $3\text{m} < H < 10 \text{ m}$)
- Base de remblai ($H > 10 \text{ m}$)
- Encagement (Utilisation maximale des matériaux du site)
- Partie supérieure des terrassements (PST)

En cas de besoin, une bêche d'ancrage est à prévoir (Remblais sur versants $> 10^\circ$).

VIII- Profils en travers types :

Les profils en travers types ont été arrêtés selon la pente retenue pour les talus retenue et la hauteur du remblai à considérer.

Les profils en travers retenus pour le tronçon Argana – Amskroud, sont alors :

- R1 : Profil type en remblai avec $H < 10$ m et $p = 3H/2V$
- R2 : Profil type en remblai avec $H > 10$ m et $p = 3H/2V$
- R3 : Profil type en remblai avec $H < 10$ m et $p = 2H/1V$
- R4 : Profil type en remblai avec $H > 10$ m et $p = 2H/1V$

De plus, pour les remblais sur versants, les profils en travers suivants seront adoptés :

- DP3 : Remblais sur versants – Profils mixtes
- DP4 : Remblais sur versants supérieurs à 10°

IX- Matériaux pour remblais :

Les matériaux pour remblais doivent satisfaire les exigences ci-dessous :

1- Corps de remblai :

- $H < 3$ m : Les matériaux peuvent être compactés à l'état sec " s" et très sec "ts"
- $3\text{m} < H < 10$ m : Les matériaux peuvent être compactés à l'état sec " s" et très sec "ts" à condition que les passants à 2 mm soit inférieurs à 30 % de la fraction 0/Dmax sinon, ils doivent être humidifiés pour les ramener à un état permettant leur réutilisation selon GTR.

Dans notre cas :

Matériaux	Compacteur	Q/S (m)	E (m)	V (Km/h)	n	Etat hydrique
C1A1 / C1B5	V5	0,065	0,35	2,5	6	Sec (GTR)
C1A1 / C1B5	V5	0,048	0,35	2,5	8	Très sec
C2B5	V5	0,048	0,35	2,5	8	Très sec
C2B3	V5	0,115	0,50	3	5	Très sec

2- Bases de remblai ($H > 10 \text{ m}$) et bûches d'ancrage :

Les matériaux pour base de remblai de hauteur supérieure à 10 m, devront être de classe $CiA_{1\alpha3}$, CiB_1 et D_3 et satisfaire aux exigences suivantes après mise en œuvre :

- Passant à 2 mm < 30 % sur la fraction 0/D
- Passant à 80 μ < 12 % sur la fraction 0/D
- $D_{max} < 250 \text{ mm}$

Dans notre cas :

Matériaux	Compacteur	Q/S (m)	E (m)	V (Km/h)	n	Etat hydrique
C2B5	V5	0,048	0,35	2,5	8	Très sec
C2B3	V5	0,115	0,50	3	5	Très sec

3- Encagements :

Les matériaux pour remblai de confinement (Encagements) sont prévus pour assurer la stabilité interne du remblai et protéger les talus contre l'érosion. Ils devront être de classe $CiA_{1\alpha3}$, CiB_1 et D_3 et satisfaire aux exigences suivantes après mise en œuvre :

- Passant à 2 mm < 30 % sur la fraction 0/D
- Passant à 80 μ < 12 % sur la fraction 0/D
- $D_{max} < 250 \text{ mm}$
- Exclusion des matériaux roulés de type alluvionnaire
- Granulométrie continue 0/250 mm telle que $C_u = D_{60}/D_{10} > 2$ où D_{60} et D_{10} sont respectivement les diamètres correspondants à 60 % et 10 % de passants sur la fraction totale.

Dans notre cas :

Matériaux	Compacteur	Q/S (m)	E (m)	V (Km/h)	n	Etat hydrique
C2B5	V5	0,048	0,35	2,5	8	Très sec
C2B3	V5	0,115	0,50	3	5	Très sec

4- Partie supérieure des terrassements (PST) :

La PST des remblais, sera constituée de matériaux $C_2A_{1\alpha 3}$, C_2B_i et D_3 après mise en œuvre.

Leur D max est fixé à 150 mm après mise en œuvre.

Ils seront mis en œuvre à l'état "m" ou proche de "m" (0.85 à 0.9 Wopn) dans les conditions définies par le GTR.

Dans notre cas :

Matériaux	Compacteur	Q/S (m)	E (m)	V (Km/h)	n	Etat hydrique
C2B5	V5	0,065	0,35	2,5	6	Moyen
C2B3	V5	0,070	0,35	3	5	Moyen
D3	V5	0,140	0,50	3	4	Moyen

X- Difficultés rencontrées lors de la réalisation des travaux :

Les difficultés rencontrées lors de la réalisation des travaux de construction du tronçon autoroutier Argana – Amskroud sont :

- Planches d'essai : Le problème concerne l'interprétation des résultats des planches d'essai pour les matériaux à réaliser à l'état très sec. Ce problème a été résolu en réalisant parallèlement une planche de référence dans les conditions du GTR et en visant un objectif de densification q_4 comparable entre les deux planches.
- L'état hydrique des matériaux : L'état très sec des matériaux du site posait le problème du compactage surtout qu'il s'agit d'une nouvelle technique, non encore maîtrisée, pour l'entreprise, les laboratoires et le Maître d'œuvre.
- Ségrégation : Ce problème s'est posé surtout pour les matériaux du tronçon PK 20 – Amskroud à cause de la nature rocheuse et de la dureté des matériaux, ce qui imposait un malaxage intense pour homogénéiser au mieux les matériaux.
- Dmax : Egalement ce problème s'est posé pour les matériaux du tronçon PK 20 – Amskroud à cause de la nature rocheuse et de la dureté des matériaux qui étaient extraits à l'explosif. Malgré le serrage du maillage des tirs, le recours fréquent à la brise roche était inévitable.

- **Equilibre du PMT :** L'optimisation des terrassements était un souci majeur du chantier. D'une part, il a fallu minimiser le recours aux emprunts et d'autre part réduire la mise en dépôt des matériaux et par la suite atténuer l'impact sur l'environnement. Ce problème était plus difficile à résoudre pour le tronçon Argana-PK20 et il a fallu augmenter la hauteur des remblais à compacter selon GTR de 10 à 15 mètres. Pour le tronçon PK20 – Amskroud, vu la bonne qualité des matériaux, les spécifications contractuelles ont été légèrement revues pour utiliser ces matériaux au niveau de la couche de forme et de la partie supérieure des terrassements.
- **Rendements :** Le projet prévoit pour les remblais plusieurs spécifications selon le type de matériaux, son état hydrique et son utilisation. Au niveau d'une même couche, il a fallu dans la majorité des cas compacter les matériaux avec des épaisseurs, des états hydriques et des nombres de passes différents. Ceci avait pour conséquence la chute des rendements des remblais.
- **Redans :** Aux endroits où la pente du terrain naturel dépasse les 15%, des redans de trois mètres de largeur sont réalisés dans les déblais existants parallèlement aux courbes de niveau, ce qui compliquait la réalisation des remblais.
- **Bêches d'ancrage :** Pour améliorer la stabilité de certains remblais sur versants dont la pente dépasse 10°, des bêches d'ancrage sont prévues en substituant le sol à la base des remblais par un matériau de meilleure qualité.
- **Accès :** L'accès pour la réalisation des travaux de terrassement était un grand défi avant le démarrage des travaux à cause de la zone montagneuse du projet surtout pour le tronçon PK 20 – Amskroud. Un réseau très important de pistes de chantier a été alors réalisé.

Annexe 1 : Plan de situation.

Annexe 2 : Profils en travers types.

Annexe 3 : Tableau récapitulatif des résultats des planches d'essai.

Annexe 4 : Fuseaux granulométriques des matériaux pour remblais.