

**GRAVES - CIMENT ; CAS DE
REALISATION D'UNE
PLATEFORME HAUTEMENT
SOLLICITEE**

Mr. MRHIZOU (DIRECTEUR DU CTR-FES/LPEE)

Mr. BERRADA (CTR-FES/LPEE)

Mr. ZERHOUNI (CTR-FES/LPEE)

RESUME :

Après un rapport de la technique de la grave - ciment, le présent article traite des résultats obtenus lors de la mise en oeuvre de cette technique pour la première fois dans la région de Fés. Les étapes de cette réalisation sont:

- Etude de formulation en laboratoire . Il s'agit de chercher le mélange optimal reconstitué à partir des granulats concassés de la région de SEFROU / BHALIL dont les caractéristiques sont auparavant vérifiées conformes aux spécifications .

- L'étude a comporté la mise en évidence de l'influence importante de la teneur en eau au moment de compactage ainsi que l'intensité de compactage et quantité du liant utilisé sur les caractéristiques mécaniques en traction et en compression de la grave traitée .

- Epreuve de convenance ou plutôt réalisation d'une planche d'essai pour adapter les données de l'étude aux moyens et dans les conditions de chantier. Ainsi pour un dosage en ciment courant il a été obtenu des caractéristiques physiques et mécaniques très satisfaisantes et avec des moyens très courants, traditionnels (brouettes et seaux). Ce -pendant il faut souligner que la taille du chantier n'est pas importante .

Lors des travaux les essais de contrôle ont montré que des résultats sur les performances semblables à ceux de base ont été obtenus avec toutefois une légère augmentation du dosage en eau de malaxage. Ainsi, les matériaux, de la région de FES (carrières de SEFROU ou BHALIL) permettent, dans une formulation tout à fait courante, d'obtenir des performances de résistance mécanique de grave ciment très élevées .

Mots clés:

Plateforme - Charges - Couche de base - Grave ciment - Formulation Constituants
- Dosage en ciment - Teneur en eau - Caractéristiques mécaniques - Compactage

INTRODUCTION

La réalisation d'une chaussée de plateforme industrielle mérite une attention particulière en matière de conception de la structure et de Son exécution; et ce du fait qu'elle supporte le plus souvent des charges très particulières:

- * Statiques, concentrées, ponctuelles ou réparties, correspondant aux produits stockés ou engins stationnés

- * Dynamiques dues au roulement des véhicules ou engins de manutention .

Les contraintes et pressions développées par ses charges sont souvent très élevées, tant verticales qu'horizontales C'est la raison pour laquelle, il est souvent réalisé des structures rigides en béton hydraulique, arme ou non sur fondation en blocage Cette technique "traditionnelle" présente souvent par la suite un comportement non satisfaisant: Affaissement, dénivellées, fissurations etc . . .

Ainsi, ceci nous a amené a proposé lors de la correction d'une plateforme industrielle hautement sollicitée une structure: en graves non traitées en fondation, graves - ciment en couche de base et dalle en béton hydraulique en surface; la technique grave - ciment constituant une nouveauté pour la réalisation de ce chantier .

La démarche suivante a été suivie pour l'appropriation de cette technique sur ce chantier: Etude de formulation en laboratoire planche d'essai et contrôle strict lors de la fabrication et mise en oeuvre. Les résultats obtenus sont présentés par la présente communication .

Il est à signaler que ces résultats sont obtenus dans des conditions et avec des moyens tout à fait courants .

II/ LES CONSTITUTIONS DE LA GRAVE - CIMENT.

*** La grave**

La dimension maximale spécifiée est $D_{max} = 20\text{mm}$.

La grave 0/20 est un mélange à granularité continue de granulats naturels concassés issues de roches des carrières de SEFROU.

Pour permettre l'obtention sans difficultés d'un mélange minéral correct, une coupure en trois fractions (0/63; 6,3/12,5; 12,5/20) a été adoptée pour reconstituer le dit mélange .

Les granulats sont définis par leurs caractéristiques intrinsèques et leurs caractéristiques de fabrication ainsi:

- Le Coefficient Deval Humide des granulats sera $> 3\%$.
- Le coefficient Los - Angeles des granulats sera $< 30\%$.
- Le Sable présentera un ES > 30 et un indice de plasticité non mesurable .

***Le liant**

Le liant utilisé est un ciment normalisé de classe 35 (CPJ35).

La composition en poids de cette grave - ciment spécifiée dans le CPS des travaux: est de l'ordre de 6 % de ciment CPJ 35 et 94% de grave 0/20 mm. La composition exacte est définie en laboratoire .

*** L'eau**

L'eau de malaxage est une eau de réseau d'eau potable de la ville de Fes

*** Fuseau de spécification de la grave traitée :**

Le fuseau granulaire de spécification définit la zone dans laquelle doit être située la courbe granulométrique de référence du mélange de la grave et du liant

Cette courbe dépend donc du dosage en liant retenu, de la granularité de celui-ci et des proportions des différentes fractions granulométriques et de leurs granularités respectives .

Le tableau ci - après définit pour chaque ouverture de tamis: le minima, le maxima et la moyenne des tamisats .

mm	31,5	20	10	6,3	4	2	0,5	0,2	0,08
TAMISATS (%)									
MINIMA	-	85	55	42	32	23	11	7	4
MAXIMA	-	100	80	66	56	43	26	17	10
MOYENNE-	-	95	68	54	44	33	19	12	7

La courbe granulométrique retenue à l'étude sera celle qui permet l'obtention d'une compacité maximale . Aussi, il convient d'éviter de se placer dans la partie basse du fuseau pour les éléments inférieurs à 6,3 mm.

La courbe granulométrique retenue à l'étude sera celle qui permet l'obtention d'une compacité maximale . Aussi, il convient d'éviter de se placer dans la partie basse du fuseau pour les éléments inférieurs à 6,3 mm.

III/ ETUDE DE FORMULATION EN LABORATOIRE

1/ Objectif de l'étude:

L'étude a pour but de déterminer:

- * La courbe granulométrique optimale de la grave traitée
- * La dosage en liant
- * La teneur en eau de référence
- * La masse volumique apparente de référence (densité sèche).

La formulation ainsi retenue servira de base pour les contrôles de chantier

2/ Essais utilisés.

Les deux essais principaux retenus pour juger des performances de la grave ciment sont: - L'essai Proctor Modifié destiné à fournir pour une énergie de compactage la masse volumique sèche en fonction de la teneur en eau et déduire également une masse volumique sèche maximale (OPM) correspondant à une certaine teneur en eau W (OPM).

- L'essai de traction directe LCPC qui permet de déterminer sur éprouvettes:

- La résistance en traction (RT).
- Le module sécant (Et) à 30%, de la charge de rupture.

Et un essai complémentaire à savoir l'essai de compression simple .

3/ Résultats des essais de laboratoire .

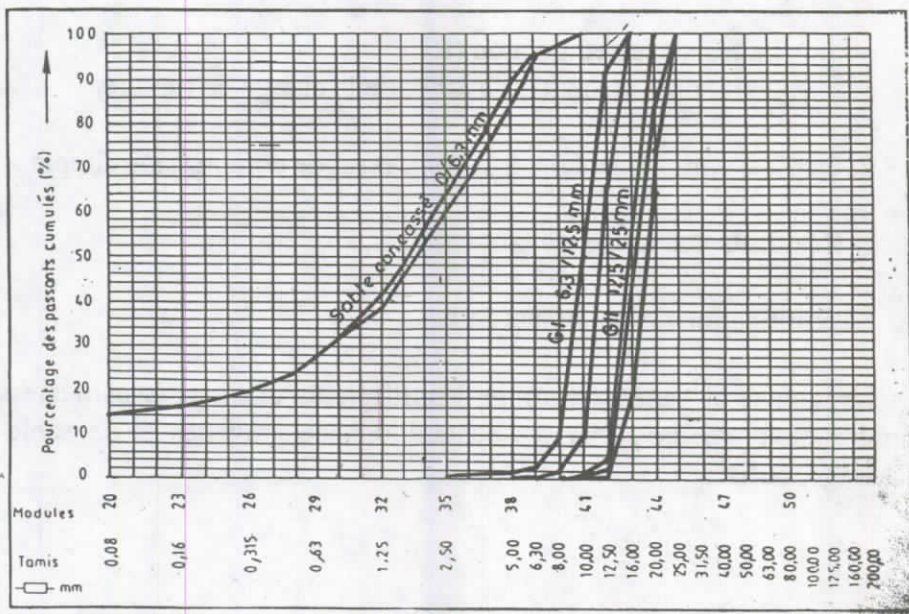
* Identification des granulats de base.

Le tableau ci - après regroupe les différents résultats issus des essais d'identification réalisés sur les échantillons de gravettes et de sable de concassage, utilisés

DESIGNATION	d/D (mm)	Forme %	Propreté %	Dureté LA %	Dureté MDE %	ES %	% DES < 80 μ	Poids spécifique (g/cm ³)
GRAVETTE GII	12,5/25	6	0,9	23				2,78
GRAVETTE GI	6,3/12,5	8	1,2		11			2,78
SABLE DE CONCASSAGE	0/6,3					67	14	2,63

Il en est ressorti que les granulats ont des caractéristiques physiques correctes, toutefois il y'a lieu d'éliminer les supérieurs à 20 mm qui représentent 16% dans la gravette dénommée GII.

le graphique ci - dessous regroupe les courbes granulométriques des différents échantillons de matériaux identifiés .



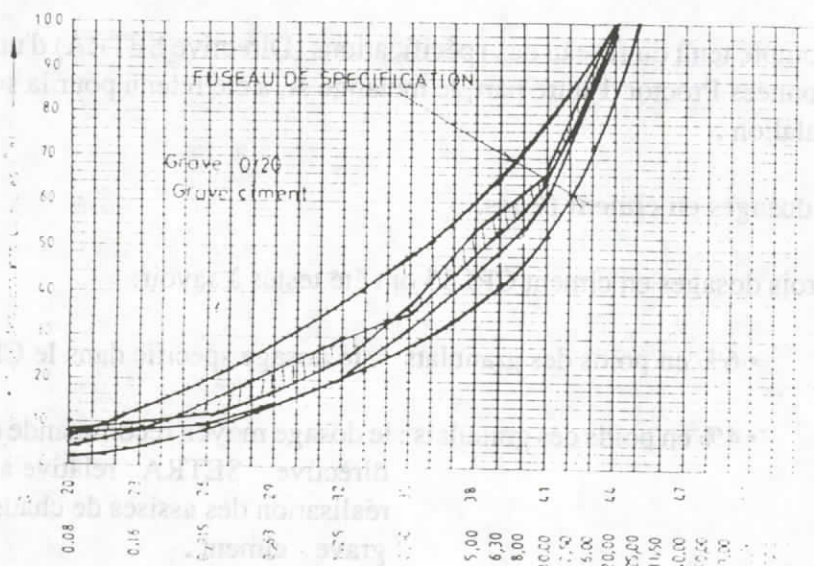
* Compositions étudiées

Deux compositions ont été réalisées:

- Composition A: 60% Sable + 20% GI + 20% GII.
- Composition B: 50% Sable + 25% GI + 25% GII

Les proportions sont pondérales .

Les courbes granulométriques comparées au fuseau de spécification figurent ci après:



*** données proctor de référence**

La grave 0/20 mm, préparée à des teneurs en eau différentes, est compactée selon un processus standardisé .

Les résultats se présentent comme suit:

	Mélange A	Mélange B
d (OPM)	2,40 T/m ³	2,31 T/m ³
W (OPM)	4,4 %	4,7 %

*** mélange adopté .**

Compte tenu du fuseau des spécifications (Directive SETRA) d'une part et des données Proctor d'autre part, le mélange A, a été retenu pour la suite de la formulation .

*** dosages en ciment testés.**

Trois dosages en ciment CPJ 35 ont été testés à savoir:

- 6% en poids des granulats : le dosage spécifié dans le CPS.
- 4% en poids des granulats : le dosage moyen recommandé dans la directive SETRA relative à la réalisation des assises de chaussée en grave - ciment .
- 5% en poids des granulats : Le dosage qui permettra d'étudier l'évolution des résistances mécaniques en fonction du dosage en ciment .

*** caractéristique de compactage .**

Les caractéristiques d'aptitude au compactage de la grave - ciment sont les suivantes:

	Grave à 4%	Grave à 5%	Grave à 6%
d (OPM)	2,44 T/m ³	2,43 T/m ³	2,42 T/m ³
W (OPM)	5,00 %	5,4%	5,6%

*** résistances mécaniques**

Les éprouvettes sont confectionnées à l'aide d'un appareil de compactage par vibro - compression .

• Les résistances à la traction directe obtenues sur éprouvettes 16 x 32 cm à section médiane rétrécie sont données dans le tableau suivant:

REF	Dosage en ciment (%)	Age en (j)	Résistance de traction (BARS)	Résistance interpolée	Allongement à l'essai en microns	Module (BARS)	OBSERVATIONS
T1	4	7	6,7	> 6,7	5,2	⁶ 0,26.10	DECOLLAGE DU CASQUE
T2	4	7	7,1	> 7,1	5,3	⁶ 0,30.10	""
T3	4	7	7,0	> 7,0	5,0	⁶ 0,30.10	""
T4	4	28	3,9	11,7	5,0	⁶ 0,26.10	""
T5	4	28	4,3	12,5	5,0	⁶ 0,27.10	""
T6	4	28	6,5	11,3	5,0	⁶ 0,23.10	""
T7	5	7	13,0	—	10,0	⁶ 0,28.10	RUPTURE NORMALE
T8	5	7	13,5	—	10,5	⁶ 0,27.10	""
T9	5	7	13,9	—	10	⁶ 0,32.10	""
T10	5	44	10	>>10	>>5,10	⁶ 0,31.10	DECOLLAGE DU CASQUE
T11	5	44	9,1	>> 9,1	>>4,10	⁶ 0,28.10	""
T12	5	44	6,5	>> 6,5	>>3,0	⁶ 0,35.10	""
T16	6	10	9,7	14,3	11,0	⁶ 0,28.10	""
T17	6	10	5,2	14,0	10,8	⁶ 0,30.10	""
T18	6	10	3,9	13,0	10,5	⁶ 0,29.10	""

REF	Dosage en ciment (%)	Age en (j)	Résistance de traction (BARS)	Résistance interpolée	Allongement à l'essai en microns	Module (BARS)	OBSERVATIONS
T13	6	32	14,6	> 14,6	>>5,15	⁶ 0,35.10	DECOLLAGE DU CASQUE
T14	6	32	14,3	> 14,3	>>4,6	⁶ 0,32.10	""
T15	6	32	14,9	> 14,9	>>3,0	⁶ 0,41.10	""

• Les résistances à la compression simple sur éprouvettes 16 x 32 cm sont données dans le tableau suivant:

REF	Dosage en ciment (%)	Age en (j)	Résistance à la compression (BARS)	Allongement en microns à la rupture	Module (BARS)	OBSERVATIONS
C1	4	7	69,6	760	⁶ 0,75.10	
C2	4	7	58,0	1000	⁵ 0,47.10	
C3	4	7	69,6	800	⁵ 0,37.10	
C4	4	28	66,7			SEGREGATION
C5	4	28	102,0			
C6	4	28	89,6			
C10	5	7	100			
C11	5	7	102,0			
C12	5	7	117,0			
C7	5	28	135,0			
C8	5	28	115,0			
C9	5	28	121,4			
C13	6	7	102,0			

REF	Dosage en ciment (%)	Age en (j)	Résistance à la compression (BARS)	Allongement en microns à la rupture	Module (BARS)	OBSERVATIONS
C14	6	7	104,0			
C15	6	7	77,1			SEGREGATION
C16	6	28	130,6			
C17	6	28	114			
C18	6	28	124			

Conclusion: La grave ciment étudiée a présenté des performances élevées pour les dosages en ciment utilisés 4; 5 et 6%. Il ressort par exemple pour un dosage en ciment de 4%, et à l'âge de 7 jours que la résistance à la traction directe moyenne est de l'ordre de 7 bars et la résistance à la compression simple moyenne est de 65,7 bars .

Ces résultats montrent donc que le dosage de 4%, est largement suffisant pour l'éloaboration des projets routiers à base de cette grave ciment .

IV/ LA PLANCHE D'ESSAI

La planche d'essais a pour but d'adapter la formulation d'étude faite en laboratoire aux moyens et dans les conditions de chantier: Fabrication, répannage et compactage.

*** moyens de chantier utilisés :**

- Une bétonnière à axe incliné d'une capacité de 350 litres .
- Des brouettes de 60 litres pour le dosage volumétrique et le transport de la grave ciment au lieu de mise en oeuvre .
- Des sceaux pour le dosage en eau d'un volume de 10 litres .
- Un petit compacteur type STV à rouleaux muni d'un dispositif de vibration .

*** stockage des matériaux:**

Les granulats sont stockés à l'air libre à proximité de la bétonnière. Le ciment est livré en sacs de 50kg .

*** identification des matériaux:**

Les échantillons de matériaux prélevés au chantier présentant des caractéristiques physiques identiques à celles obtenues lors de l'étude de formulation, de ce fait aucune correction capitale au préalable n'a été jugée nécessaire à apporter à part celle portant sur le dosage en eau compte tenu de la teneur en eau naturelle du sable de concassage mesurée sur place .

*** confection de la grave - ciment:**

Des gâchées expérimentales ont été effectuées sur la base des données de l'étude de formulation et des corrections sus mentionnées .

A signaler que le dosage en ciment retenu pour le chantier est de 6% du poids des granulats compte tenu des exigences du CPS des travaux.

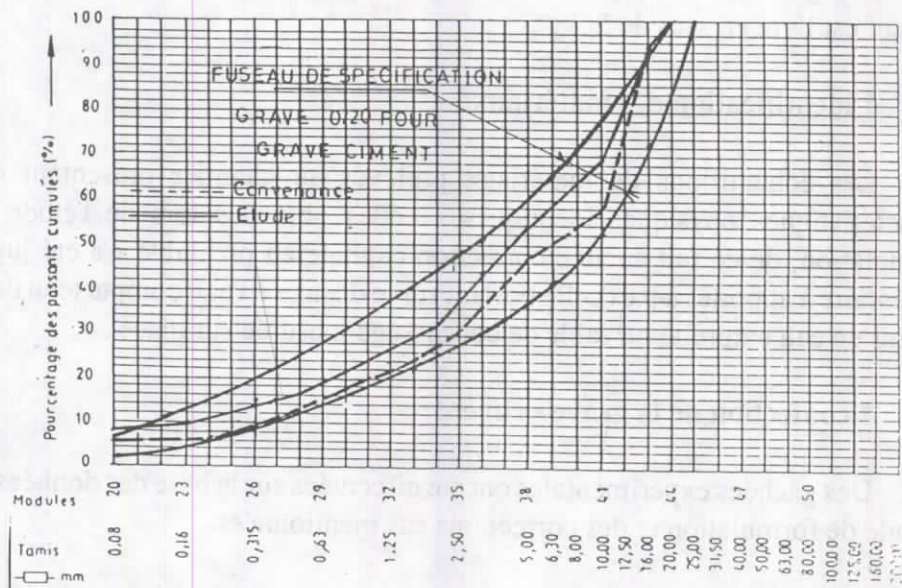
A ce niveau, les essais et mesures suivants ont été réalisés:

- Mesure de la teneur en eau de malaxage
- Analyse du mélange granulaire
- Mesure du taux de compactage

La teneur en eau de malaxage calculée sur 4 gachées a été de 5,0 - 5,5 - 5,5 et 5,2% du poids des granulats, la teneur en eau optimale étant de 5,3% soit une fourchette (Wopm - 0,3, Wopm + 0,2) qui s'inscrit parfaitement dans les tolérances recommandées dans la Directive SETRA .

Le mélange granulaire s'inscrit dans le fuseau de spécification et témoigne ainsi de la fiabilité des dosages volumétriques qui ont été adoptés .

Le graphique ci - après regroupe les deux courbes: Etude et convenance et les compare au fuseau de spécification .



Une planche d'essais a été réalisée in - situ: c'est une bande de 1,00m de largeur et 5,0() m de longueur .

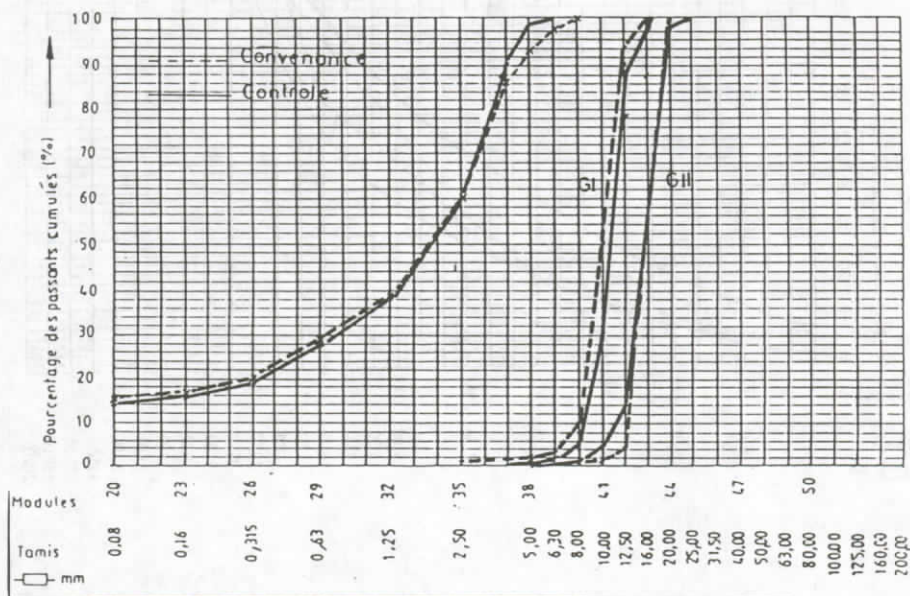
La teneur en eau résiduelle enregistrée est de 4,0 à 5,07% avec une densité sèche de 2,36 à 2,50 g/cm³ et un indice de compactage de 98 à 100% de l'OPM.

V/ CONTROLE DE FABRICATION ET MISE EN OEUVRE

Les essais de contrôle ont consisté en ce qui - suit:

- Prélèvement d'échantillons de matériaux pour identification .
- Analyse du mélange grave - ciment pour déterminer les dosages en ciment et en eau de malaxage .
- Mesures de compacité en place.

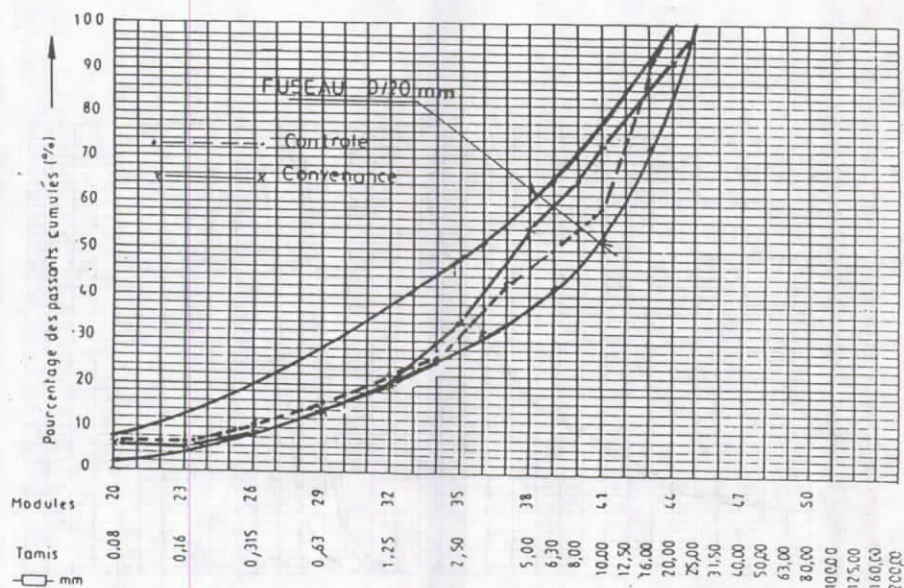
Les caractéristiques des granulats sont correctes, le graphique ci - après relate les courbes granulométriques .



Il en ressort que les granulats sont identiques à ceux prélevés lors de la réalisation de la planche d'essais .

Le dosage en ciment adopté et déterminé par l'analyse du mélange frais est de 7,5 % du poids sec des granulats, celui spécifié à l'étude est de 6% .

La teneur en eau de malaxage est de 5,9%, soit ($W_{opm} + 0,6$) . La courbe du mélange granulaire est tangente à la borne inférieure du fuseau de spécification grave - ciment 0/20 au niveau de la fraction sableuse 0,16/2,50 mm.



Les taux de compactage enregistrés sont de 98 à 107% de l'OPM avec des teneurs en eau de 5,9 à 6,6 %

Les matériaux approvisionnés sur le chantier sont identiques à ceux employés lors de l'étude de formulation, ce qui a conduit à ne pas modifier les données de cette dernière .

Les moyens de fabrication couramment rencontrés sur les chantiers ont permis de fabriquer une grave - ciment correcte .

Quant au dosage en eau, il a été recommandé un équipement adéquat en l'occurrence une pompe munie d'un débit - mètre .

Au niveau de la mise en oeuvre, l'attention devait porter sur l'arrosage avant le compactage afin d'éviter toute dessiccation .

Enfin éviter toute ségrégation entre le fond et la surface lors du répandage

V/ CONCLUSIONS

Le mélange minéral reconstitué de trois fractions ((0/6,3; 6,31/12,5 et 12,5/20) de granulats naturels concassés, issus de roches massives des carrières de SEFROU, a donné une granularité continue inscrite dans le fuseau de spécification pour grave ciment .

La grave ciment étudiée, a présenté des performances élevés pour un dosage en ciment de 4% (dosage moyen recommandé dans la Directive SETRA relative à la réalisation des assises de chaussée en grave ciment);

- * La résistance à la traction directe moyenne est de l'ordre de 7 bars .
- * La résistance à la compression simple moyenne est d'environ 65 bars.

Ces résultats montrent que le dosage de 4% est largement suffisant pour l'élaboration des projets routiers à base de cette grave ciment. Il faudrait cependant éviter l'emploi des dosages .supérieurs à 4% pour éliminer les risques de fissurations prononcées dans les structures du corps de chaussée .

La taille du chantier réalisé n'étant pas importante, la grave ciment a été fabriquée avec des moyens traditionnels (brouettes, seaux et bétonnière) et a présenté des performances répondant aux exigences. Le compactage de cette grave ciment a été assuré par un petit compacteur type STV à rouleaux muni d'un dispositif de vibration qui a permis l'obtention d'un taux de compactage de 98 à 100% de l'O.P.M.