

**EXPERIMENTATION DU GYPSE
DANS LE DOMAINE ROUTIER
BILAN DE L'EXPERIMENTATION
ET RECOMMANDATIONS**

**Mr. HIMMI
(CNER)**

SOMMAIRE

I-INTRODUCTION

II- GENERALITES

III- L'EXPERIMENTATION DU GYPSE SUR LE CT 6511

IV- SUIVI DU COMPORTEMENT DE LA SECTION
EXPERIMENTALE

IV-1- PROGRAMME DU SUIVI

IV-2- RESULTATS DES MESURES

IV-2-1- MESURE DE DEFLEXION

IV-2-2- MESURE DE L'UNI LONGITUDINAL

IV-2-3- MESURE DE L'UNI TRANSVERSAL

RELEVÉ DES PROFILS EN TRAVERS

IV-2-4- RELEVÉ VISUEL DES DEGRADATIONS

IV-2-5- EVALUATION DU TRAFIC

CONCLUSION

RECOMMANDATIONS

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

ANNEXES N° 1:

DIAGRAMME DE GONFLEMENT SUR EPROUVETTES
C.B.R. PRESENTATION DES SECTIONS EXPERIMENTALES

ANNEXE N° 2:

FICHES DES SPECIFICATIONS DES MATERIAUX
EXPERIMENTES

I/ RESUME

Au Maroc, le gypse, en tant que minéral constitutif, est très répandu dans un grand nombre d'argiles sédimentaires tout au long de l'histoire géologique marocaine.

Sur le plan de l'exploitation, la région de SAFI est la plus importante par ses grandes carrières dont la réserve potentielle et les moyens installés permet de fournir plusieurs centaines de tonnes par jour. Les estimations sommaires établies par le service des gites minéraux du Ministère de l'Énergie et des Mines prévoient une réserve globale, dans la région, de l'ordre de six milliard et demi de tonnes. Une grande partie de la production est exportée à l'état brut et le reste alimente la consommation nationale, essentiellement pour l'industrie cimentière et la fabrication du plâtre.

Pour la construction routière, la dureté moyenne à faible du gypse, sa sensibilité à l'eau et son altération fréquente par la marne ont fait que celui-ci ne répond pas aux spécifications actuelles des matériaux pour couches de base ou de fondation des chaussées. Ainsi l'idée selon laquelle le gypse est un matériau à proscrire pour la construction des chaussées a dû reignier longtemps.

Dans le cadre de la recherche de nouvelles possibilités de matériaux routiers, pour pallier le problème de coûts de transport excessifs de certains matériaux nobles, la Direction Provinciale des Travaux Publics de SAFI s'est intéressée à l'expérimentation du gypse en vue d'envisager son utilisation comme alternative. Les premières tentatives concluantes ont concerné l'utilisation du gypse en accotements des certaines sections de la RP12 et de la RP8.

Au début des années 1980 le CNER a participé à la concrétisation de l'idée d'expérimentation du gypse en l'inscrivant comme thème de recherche prioritaire. Une campagne d'essais de laboratoire a été effectuée au CNER puis un programme d'expérimentation in-situ a été établi et réalisé, à la fin de 1984, sur le CT6511. Ce programme avait pour objectif de tester toutes les possibilités qui pourraient être offertes par l'utilisation du gypse en tant que matériau routier.

La présente communication a pour objet de:

Rappeler brièvement les résultats des études de laboratoire sur le gypse et les mélanges gypse-marne.

Présenter la section expérimentale réalisée sur le CT 6511.

Présenter les résultats de suivi de cette section expérimentale après neuf années, environ, de sa mise en service.

Conclure sur le comportement du gypse en corps de chaussée et en accotement d'après les résultats de l'expérimentation.

Tirer quelques recommandations pour le développement de l'utilisation de ce matériau dans les travaux routiers.

II/ GENERALITES

II-1 Définition du gypse

Le gypse ou sulfate de calcium est un minéral incolore ou de couleur claire qui se présente dans la nature sous deux formes:

Forme hydratée: LE GYPSE

- * $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$.
- * Système monoclinique
- * Densité = 2,32
- * Dureté = 2 (rayé à l'ongle)
- * Chaleur spécifique = 0,273 entre 12° et 100°c

Forme anhydre: L'ANHYDRITE

- * (CaSO_4)
- * Système orthorhombique
- * Densité: 2,98
- * Dureté 3 à 3,5
- * Chaleur spécifique: 0,275 entre 0° et 100° c

Dans la nature le gypse se rencontre soit sous forme:

- * de masses terreuses ou saccharoïdes,
- * d'agréats fibreux,
- * de cristaux limpides.

L'anhydrite se rencontre sous forme:

- * de minéral généralement blanc;
- * de masses saccharoïdes;
- * d'agréats lamellaires dont les éléments sont en disposition radiée ou parallèle.

II-2/- Estimation des réserves dans la région de SAFI

Des estimations sommaires réalisées par le service des études des gîtes minéraux du Ministère et de l'Energie et des Mines (J.L MAZEAS et M. NATAF), ont abouti à une réserve totale de l'ordre de 6 Milliards et demi de tonnes, répartie dans les régions suivantes:

ARBAA SIDI LAROUSSI,
SEBT G'ZOULA,
OUEST DE YOUSOUFIA
SIDI AHMED TIJI,
SAFI.

II-3/- Caractéristiques particulières du gypse

Le sulfate de calcium s'hydrate et se cristallise dans le système monoclinique pour former le minéral appelé gypse.



(Anhydrite)

(Gypse)

L'hydratation s'accompagne de gonflement (30 à 50 %).

Le gypse est soluble dans l'eau. la solubilité est variable en fonction de la température et augmente en présence du NaCl.

Donc, l'ennemi principal du gypse est l'eau. d'après la documentation, des chaussées réalisées en sable gypseux dans le Sahara Algérien (précipitations inférieures à 100 mm) ont eu une durée de vie de 10 à 20 ans. Ces chaussées ont été caractérisées par des fissurations très fréquentes ne portant pas atteinte au comportement structural de la chaussée. Des dégradations plus graves (faïençage, flaches..) ont été repérées en des points d'eau, des palmerais ou des zones où la nappe phréatique est peu profonde. Ces dégradations ont été expliquées par une perte de cohésion des assises due à la dissolution du gypse.

Un autre problème posé par le gypse est sa friabilité qui le classe parmi les matériaux susceptibles d'évoluer une fois mis en place.

Par contre, selon Moyen, le gypse se déshydrate partiellement sous l'effet du soleil et constitue une croûte assez résistante.

III/- L'EXPERIMENTATION SUR LE CT 6511

Après une expérimentation tentée pour l'utilisation du gypse pour le rechargement et la stabilisation des accotements (RP12 et RP8) une décision a été prise pour expérimenter ce matériaux, en couche de base ainsi qu'en accotements. Il fallait ainsi procéder à des essais de laboratoire avant de faire l'expérimentation en vraie grandeur.

Etant donné que sur le front de taille le gypse est souvent altéré par des couches de faible épaisseur en marne, il a été considéré intéressant de tester non seulement le gypse pur de concassage, mais aussi un mélange gypse-marne (coût moins élevé).

C'est ainsi qu'il a été procédé à l'examen des matériaux suivants:
gypse seul; marne seule; mélange gypse 80% marne 20%; mélange gypse 60% marne 40%; mélange gypse 80% marne 20% plus 4% de chaux; mélange gypse 60% marne 40% plus 4% de chaux;

Les essais ont porté, après identification, essentiellement sur les courbes Proctor, les CBR, le suivi du gonflement sur éprouvettes anglaises et l'essai à la compression simple.

III-1 Résumé des résultats des essais de laboratoire

Les essais Deval sec réalisés sur le gypse ont donné une valeur moyenne de 4, qui montre que la dureté du matériau est faible.

Les limites d'Atterberg déterminées pour la marne étudiée sont:

limite de liquidité L.L = 50
 limite de plasticité L.P = 33
 Indice de plasticité I.P = 23

Les tableaux n° 1 et n° 2 résument les résultats des essais Proctor modifié et des essais, C.B.R réalisés sur les différents matériaux étudiés :

TABLEAU n° 1
PROCTOR MODIFIE

Natures des matériaux	Maxima proctor poids volumétrique sec en T/M3	Tenteurs en eau optimales en %
GYPSE	2004	4,50
MARNE	1854	13,40
80% GYPSE - 20% MARINE	2028	6,50
60% GYPSE - 40% MARINE	1973	7,80
80% GYPSE - 20% MARINE + 4% CHAUX	1945	7,22
60% GYPSE - 40% MARINE + 4% CHAUX	1887	7,94

TABLEAU N° 2
TABLEAU RECAPITULATIF DES ESSAIS C.B.R

Type D'essai	Enfoncement A	Groupe I		Groupe II		Groupe III	
		M	G	Mélange 80 % G 20 % M	Mélange 60 % G 40 % M	Mélange 80 % G 20 % M 4 % Chaux	Mélange 60 % G 40 % M 4 % Chaux
Immédiat	2,5 mm 5 mm	101 98	214 *	96 114	100 113	186 *	204 *
4 j. imbibition	2,5 mm 5 mm	0,19 0,25	189 *	77 98	69 78	233 *	229 *
28 j imbibition	2,5 mm 5 mm		110 126	86 113	33 44		
28 j conserva- tion + 4 j imbi- bition	2,5 mm 5 mm					* *	214 *
28 j conserva- tion + 28 j imbi- bition	2,5 mm 5 mm					* *	250 *

G: GYPSE.

M: MARNE.

*: ESSAIS RENDU IMPOSSIBLE DU FAIT DE LA DURETE DU MATERIAU

Ces résultats montrent que la portance du matériau, même dans des conditions sévères d'imbibition et de conservation dans l'eau, reste excellente. Les valeurs CBR pour des poinçonnements directement exécutés sur le matériau, après fabrication des éprouvettes, sont, même, à la limite de la perte de leur signification et attestent d'une certaine rigidité du matériau.

A la suite de ces essais, il a été conclu qu'en plus du gypse seul, des mélanges gypse-marne dans la limite d'une proportion de 20 % de cette dernière, peuvent être envisagés pour l'expérimentation in-situ.

La variante mélange gypse-marne + chaux, malgré son intérêt, mis en évidence par les essais de laboratoire, a été écarté à cause de l'absence, dans la région, d'une fabrication industrielle de la chaux.

Le diagramme de la figure n°1 (annexe n°1) récapitule les résultats des essais de gonflement réalisés.

En plus des essais précédents, d'autres essais ont été réalisés pour examiner l'efficacité sur le gypse ou sur le mélange 80% gypse et 20% marne, d'une imprégnation soit par l'émulsion de bitume, soit par du Cut-back.

A la suite de ces essais, il a été conclu que l'imprégnation à l'émulsion est à rejeter et qu'il faut retenir uniquement l'imprégnation au Cut-back avec un léger surdosage de celui-ci.

III-2/- Présentation du tronçon expérimental sur le CT 6511

III-2-1 Quelques données de base

Le CT 6511 est une route qui relie la RP12 et le Douar Hnichatt sur 10 kilomètres.

L'étude géotechnique réalisée par le LPEE préconisait pour le dimensionnement une structure de 20 GNB + RS (trafic T4, sol S2). Du PK 0 au PK 3, la route est affectée par un trafic lourd constitué par les camions d'exploitation des carrières de gypse.

Le sol de plate-forme, au droit du tronçon expérimental est un limon fin brun à marron classé Ap - Lp (argile peu plastique ou limon peu plastique). Il correspond à la classe S2 dans la classification du catalogue de structure type de chaussées marocain.

Etant donné que le matériau gypse présente des qualités moins bonnes que celles de la GNB, il a été décidé de réaliser la couche de base en gypse avec une épaisseur de 30 cm.

III-2-2/- Constitution du tronçon expérimental

Le tronçon expérimental est constitué de quatre sections de 200 m chacune, réparties de la manière suivante:

SECTION I: Couche de base en gypse 0/40

SECTION II: Couche de base en mélange gypse 0/40 (80%) et marne (20%)

SECTION III: Couche de base en mélange gypse 0/100 (80%) et marne (20%).

SECTION IV : chaussée traditionnelle avec accotements en gypse 0/40 concassé.

Le schéma de la figure n° 2 (annexe N°1) illustre ces sections expérimentales.

Comme le montre la figure n° 2, le programme comprenait aussi l'expérimentation du gypse en accotement de ces différentes sections. Là aussi, plusieurs variantes ont été prévues dans le but de pouvoir comparer et mieux orienter les choix:

- gypse pur 0/40 concassé seul;
- gypse pur 0/40 concassé imprégné au cut-bak en surface;
- gypse pur 0/40 concassé surmenté de 10 cm de tuf;
- mélange gypse 0/40 +marne; mélange gypse-marne +tuf.

IV/- SUIVI DU COMPORTEMENT DE LA SECTION EXPERIMENTALE :

4-1- Programme de suivi

Après sa réalisation, à la fin de l'année 1984, la section expérimentale a fait l'objet d'un suivi de son comportement à l'aide d'un relevé périodique des dégradations et par la réalisation de différentes mesures:

Mesure de l'uni longitudinal à l'aide de l'analyseur de profil en long (APL) et à l'aide du bump integrator;

- Mesure de la déflexion au déflectographe Lacroix;
- Relevé de profils en travers (uni transversal);
- Relevé visuel des dégradations;
- Comptage des véhicules.

IV-2/ Résultats des mesures

IV-2-1 Mesure de la déflexion

Depuis son ouverture à la circulation, la section expérimentale a fait l'objet de cinq missions de mesure de déflexion au déflectographe Lacroix.

Le tableau n°3 récapitule les résultats moyens par section des cinq missions de mesure.

Tableau n°3 Déflexion moyenne

Section	D 90 (moyenne)					1/100 mm				
	AXE					RIVE				
	1985	1986	1988	1989	1992	1985	1986	1988	1989	1992
I	80	53	83	107	101	120	50	86	110	91
II	144	49	78	94	88	166	58	93	112	88
III	114	51	93	90	86	152	51	98	122	102
IV	179	53	96	102	100	214	51	109	134	105

D'après ces résultats de mesure on peut constater que:

A l'âge d'un mois, environ, (mesure 1985) les déflexions étaient assez élevées pour toutes les sections expérimentales. Celles-ci ont subies une nette décroissance après, à peu près, deux années de service (mesure 1986) puis elles présentent, à nouveau, une tendance à la croissance. Ceci peut traduire le mode de fonctionnement normal d'une chaussée souple (période de consolidation, période de comportement élastique, puis la période de comportement élastoplastique).

En se basant sur les valeurs moyennes des cinq années de mesure, une classification des sections expérimentales peut être tentée. Par ordre de portance décroissante, cette classification est:

SI: Gypse 0/40 (30 cm d'épaisseur)

SII et SIII: mélange gypse-marne (30 cm)

SIV: chaussée traditionnelle(couche de base en GNB en 20 cm)

L'analyse des différents résultats présentés dans le tableau n°3 montre que, d'une manière générale, la section I en gypse 0/40 présente la meilleure portance, alors que la section IV, en chaussée traditionnelle présente portance la moins bonne.

En fait, la différence entre les valeurs de deflexion est généralement faible et ne permet pas de faire une très nette distinction entre les comportements structurels des différentes planches expérimentales

Les sections II et III en gypse marneux se sont comportées, vis à vis de la déflexion, d'une manière variable, selon les mesures; mais elles sont pratiquement similaires en considérant la moyenne des résultats.

En se basant sur la mesure de déflexion, on peut conclure que les sections expérimentales en gypse ou en gypse marneux présentent un bon comportement structurel caractérisé par des déflexions qui restent inférieures aux déflexions limites des assises non traitées, pour un trafic T3 -T4. La portance sur ces sections expérimentales est, en général, meilleure que sur la section en chaussée

traditionnelle (on ne doit cependant pas oublier la différence d'épaisseur des couches de base).

IV- 2 - 2 / - Mesure de l'uni longitudinal

a/ Mesure à L'APL

Les mesures ont été effectuées en Janvier 1985, Mars 1985 et en Janvier 1988. Le tableau n°4, ci-après, présente les résultats moyens (pour les grandes, moyennes et petites longueurs d'ondes) des coefficients de planéités des mesures effectuées dans le sens aller (RP12 ----->N'GA).

TABLEAU N°4

Sections	CP40			CP10			CP2,5		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
I	277	504	350	135	135	262	85	89	240
II	324	476	306	142	193	240	84	90	221
III	463	500	389	157	183	249	77	102	230
VI	249	494	361	104	130	245	55	57	233

A : mesures du 04/01/85

B: mesures du 03/06/86

C: mesures du 27/06/88

En limitant l'analyse aux résultats des CP2,5, correspondant aux petites longueurs d'ondes qui peuvent refléter la qualité d'uni due au comportement, en surface, des matériaux expérimentés, on peut constater ce qui suit:

Les valeurs du CP2,5, qui étaient sensiblement les mêmes, juste après la construction et après 6 mois, ont subi plus de 150 % d'augmentation après 3 années de service.

L'analyse des résultats par section montre que les coefficients de planéité sont sensiblement les mêmes pour les trois sections expérimentales en gypse et en gypse marneux. Ceux-ci sont cependant, légèrement inférieurs sur la section en chaussée traditionnelle.

Se basant sur ces mesures, on peut conclure que les sections expérimentales ont subi une forte évolution de l'uni longitudinal, après 3 années et demi de mise en service (la classe d'uni a passé de moyen à mauvais).

Une autre mesure effectuée en 1990 à l'APL, avec un traitement des mesures en notes d'uni, a permis d'aboutir à la conclusion suivante: l'uni sur le tronçon expérimental est mauvais dans toutes les longueurs d'ondes. Il est mauvais d'avantage dans le cas des petites longueurs d'ondes.

L'évolution de l'uni, de manière similaire, sur la section en chaussée traditionnelle, laisse penser que cette évolution n'est peut être pas due à un comportement spécifique du matériau gypse ou du mélange gypse-marne.

b- Mesure de planéité au bump integrator

Trois mesures au bump integrator ont été effectuées en 1988, en 1990 et en 1992 et ont confirmé que l'uni est mauvais sur les sections expérimentales, depuis le début, (RI moyen = 4500 mm/km). Ces mesures ont montré, également que:

- L'uni est légèrement meilleur sur la section témoin en GNB;

- l'évolution de l'uni est plus appréciable pour les sections n°II et N°III en mélange gypse-marne que pour la section n°I en gypse seul.

IV-2- 3/ Uni transversal

Une application transversal des sections expérimentales a été faite par un relevé des profils en travers au transversoprofilographe et leur traitement.

Huit profils en travers ont été relevés en Janvier 1985 (juste après la réalisation) puis en Mars 1988(2 profils par section). Le traitement effectué consiste à dédigitaliser les profils et à déterminer des paramètres statistiques permettant de caractériser l'état du profil et son évolution.

Le tableau n°5, ci-après, présente l'évolution du paramètre "variance" pour les profils relevés:

Tableau n°5 Evolution des profils en travers

SECTION	PM	VARIANCE (* 1/10000)	
		1985	1988
I	.150	14.9	4.7
II	.250	21.5	10.8
	.350	8.6	3.5
III	.450	10.5	17.1
	.550	12.0	7.4
VI	.650	11.4	6.1
	.750	9.2	7.4

L'analyse des résultats précédents permet de constater qu'il y a eu une évolution des profils choisis entre 1985 et 1988. Cette évolution est particulièrement plus marquée pour la section n°1 en gypse 0/40 seul et pour la section n°2 en mélange gypse 0/40 à 80% et marne à 20% .On ne constate pratiquement pas d'évolution dans le cas de la section témoin en chaussée traditionnelle. Ceci laisse penser à ce que cette évolution du profil en travers caractérise le matériau gypse et peut être due à sa forte friabilité qui peut entraîner la modification de sa granulométrie sous trafic.

Par ailleurs, ces valeurs de la variance permettent de conclure que l'état du profil en travers est assez bon pour toutes les sections expérimentales.

IV-2-4/- Relevé visuel des dégradations

Après six années environ de mise en service de la section expérimentale, à la lumière du dépouillement des relevés visuels des dégradations, son état est généralement bon mais il n'est pas encore possible de faire une distinction nette entre les variantes testées en corps de chaussée.

a/- Chaussée

L'aspect visuel général des quatre planches expérimentales reste bon.

De légers affaissements localisés ont été repérés sur les différentes planches; ceux-ci sont plus remarquables sur la première section en gypse pur et la seconde en mélange gypse 0/40 + marne .

Des fissures fines ramifiées ont été relevées ces deux dernières années. Elles accompagnent surtout les affaissements localisés et sont plus marquées sur la première section en gypse pur 0/40. En deux endroits localisés sur la première et la deuxième section, ces fissures ont évolué vers des petits nids de poule.

La section n°2 ,en mélange gypse 0/40 et marne ,se distingue des autres par une dégradation importante, au niveau d'un ouvrage hydraulique (buse), survenue à l'occasion d'une forte stagnation d'eau au niveau de l'ouvrage, entraînée par un bouchage de la buse . Ceci a ainsi favorisé une chute de portance et probablement une dissolution du gypse. Par ailleurs cette section se caractérise par quelques arrachements localisés.

Les trois premières sections se caractérisent, en plus, par du ressuage, qui peut être liée à la spécificité du gypse.

b-/ Les accotements

De façon générale, les sections d'accotements en gypse pur, en gypse-marne seul puis les sections en ces mêmes matériaux avec une imprégnation au cut-back (voir fig.n°2 en annexe) se sont bien comportés. La couche d'imprégnation a cependant, été arrachée en plusieurs endroits, sous l'action de la circulation, lors des croisements et des dépassements (chaussée de 4m de large), et sous l'action de la circulation des charrettes.

Après neuf ans de mise en service, ces accotements peuvent être caractérisés par:

- bonne liaison entre la chaussée et l'accotement (en général) avec absence de dénivelée importante;

- bonne tenue de l'accotement face à la circulation des charrettes, très importantes sur cette route;

- peu de départs de matériaux. L'action érosive des pluies sur les sections d'accotement en gypse seul ou en gypse imprégné au cut-back semble être très faible, à l'inverse de ce que l'on pourrait attendre (hypothèse de dissolution du gypse).

Les sections d'accotements construites avec une couche de tuf (10cm) en surface se distinguent nettement par une dégradation de cette couche.

IV - 2 - 5 / - Evaluation du trafic

a/- Enquête trafic

D'après le comptage réalisé par la DTP de SAFI sur le CT 6511, au niveau des planches expérimentales, le trafic moyen journalier est de l'ordre de 200 véhicules par jour dont un fort pourcentage de poids lourds.

Ce résultat a été confirmé par l'enquête visuelle réalisée par le CNER au mois d'Octobre 1992.

Le tableau N°7 en annexe, présente les résultats de cette enquête, dont l'objectif était d'avoir des précisions supplémentaires sur la composition du trafic et son agressivité.

Le relevé visuel des silhouettes des véhicules sur la route a été complété par des enquêtes auprès des conducteurs de camions et des responsables des carrières de gypse situées autour de la route entre les PK 0 et 5. En effet, toutes ces carrières utilisent le CT6511 pour transporter le gypse pur vers les usines de plâtre, vers le port de SAFI ou vers d'autres destinations.

Si on néglige le trafic des charrettes (nombreuses sur la zone de l'expérimentation, les résultats du tableau n°7 montrent que le pourcentage de poids lourds est de l'ordre de 90 %, constitués principalement par les camions transportant le gypse à partir des carrières.

Comme le montre les résultats de l'enquête, trois catégories de camions, qui sont toujours en surcharge, sont utilisés pour assurer ce transport.

b/- Evaluation du trafic cumulé qui a affecté les planches expérimentales

Si on adopte les poids moyens issus des valeurs communiquées, lors de cette enquête, pour les camions utilisés pour le transport du sable; en adoptant les répartitions des poids par essieux issues de notre expérience, pour ces catégories de camions, et en supposant que ce trafic a évolué d'environ 4 % par an depuis 1985 (ce qui est fort probable d'après nos entretiens avec les carriers), le trafic cumulé en essieux de 8,2 tonnes et de 13 tonnes sur la durée de neuf ans, est évalué comme indiqué sur le tableau N°9.

Cette évaluation est limitée au trafic des camions transportant le gypse qui nous semble le plus important de point de vue agressivité.

Pour un trafic cumulé en essieux de 8,2 tonnes de 384600, un CBR du sol égal à 15 (d'après les essais de laboratoire), un coefficient régional $R = 0,5$ et un indice de service final $PT = 1,5$, la méthode AASHO de dimensionnement des chaussées montre qu'il faut un indice de structure $SN = 2$ pouces pour

supporter un tel trafic pendant la durée écoulée depuis la mise sous circulations des planches expérimentale ; soit en grave non traitée de type GNA, une structure équivalente d'environ 35 cm d'épaisseur.

En conclusion, Dans les conditions de l'expérimentation, sur le plan du comportement structurel, une couche de base de 30 cm de gypse pur 0/40 ou du mélange gypse marne ,selon les proportions expérimentées, serait équivalente à une couche de même épaisseur, sinon plus, en matériau noble de type GNA.

EVALUATION DU TRAFIC CUMULEE EN ESSIEUX
DE 8,2 TONNES ET DE 13 TONNES SUR NEUF ANNEES

Catégorie	Nombre camions par jours en (1992)	Nombre camions par jour en (1985)	Poids moyen (tonnes)	Répartition par essieux				Trafic cumulé 8,2 tonne	d'essieux pendant 9 ans 13 tonnes
				E1	E2	E3	E4		
1. camion de PTC 8 T									
chargé	420		14	3	11	-	-	34757	5498
vide	420	30	5	2,5	2,5	-	-	184	29
2. camion de PTC 19 T									
chargé	19		22	6	16	-	-	157850	24980
vide	19	13	6	3,5	2,5	-	-	446	66
3. semi remorque à 4 essieux (PTC 38t)									
chargé	22	15	42	4,2	14	11	12,8	189.370	29975
vide	22	15	12	5	3,8	1,5	1,7	1996	316
TOTAL								384606	60864

CONCLUSION

Après neuf années, de suivi du comportement du tronçon expérimental du CT 65 11 , destiné à l'expérimentation du gypse en couche de base et en accotements de chaussée, l'évaluation de l'expérimentation peut être faite pour juger du comportement de ce matériau et des possibilités de son utilisation.

a/- Expérimentation en couche de base

A la lumière des mesures et des relevés effectués, les conclusions suivantes se dégagent:

les mesures de déflexion mettent en évidence un bon comportement structurel (déflexions inférieures aux limites admises pour le niveau de trafic considéré). La portance est meilleure sur les sections en gypse ou en mélange gypse-marne que sur la section en chaussée traditionnelle, avec un résultat, encore meilleur, sur la section en gypse pur 0/40 (S1).

Les mesures d'uni longitudinal montrent que l'uni est plutôt mauvais et a subi une évolution particulièrement pour les sections correspondantes au mélange gypse-marne . Ce niveau d'uni peut être ,néanmoins, considéré comme étant acceptable sur ce type de route vue le niveau de trafic et la nature de la desserte.

Le relevé visuel des dégradations a permis de constater que l'aspect visuel général des sections expérimentales reste bon. Mis à part une forte dégradation au niveau d'un petit ouvrage, hydraulique entraînée par une longue stagnation d'eau, les autres dégradations caractéristiques sont:

- * De légers affaissements;
- * Du ressuage;
- * Quelques arrachements du revêtement;
- * Des fissures fines ramifiées (apparus ces deux dernières années).

b/- Expérimentation en accotement

Mis à part les sections d'accotements ayant reçu une couverture en Tuf, qui a été dégradée sous l'effet de la circulation lors des pluies, de façon générale, les autres variantes se sont bien comportées. Ceci confirme les bons résultats obtenues, auparavant, sur la RP12 et la RP8.

Ainsi, de façon globale, le comportement du matériau gypse en couche de base et en accotements du CT 6511 peut être qualifié de bon, excepté la qualité d'uni insuffisante, depuis la réalisation des planches expérimentales. Cette insuffisance pourra, peut être, être améliorée sur d'autres sites en soignant l'exécution des travaux et en procédant à un meilleur choix de la granulométrie du matériau (diamètre maximum) et des techniques de mise en oeuvre.

Les réserves importantes du gypse dans la DPTP de SAFI, le climat favorable de la région, le prix intéressant du matériau comparé à celui d'autres matériaux nobles, transportées, souvent sur de longues distances et les résultats concluants de cette expérimentation, sont tous des atouts permettant de conclure que ce matériau peut être utilisé:

Comme matériau de couche de base pour les CT peu circulés et les pistes non classées.

Comme matériau sélectionné pour accotements.

Une attention particulière doit être prêtée au drainage des chaussées, l'eau étant l'ennemi principal de ce matériau.

Les résultats très positifs obtenus d'après le comportement du gypse en accotement laissent penser qu'il serait très intéressant d'expérimenter la possibilité d'étendre l'utilisation de ce matériau pour l'aménagement des pistes non revêtues dans la région.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1- Le gypse de la région de SAFI - gisements - Utilisations marché. Par J.L. MAZEAS et M.NATAF. Service des gîtes minéraux - Rabat.

2- Dossier du LPEE N° 81.16.0.094/2.1982. Etude de dimensionnement du CT 6511.

3- Dossier du LPEE N° 83.164.0.104 - 1985

4- Le gypse, matériau routier, par M. AHMAR - LEGROUM et Mr L. AYACHE premier congrès national de la route. Exposés complémentaires.

5- Dossier de l'expérimentation du gypse. CNER.

RECOMMANDATIONS

Etant donné les réserves importantes du gypse dans la région de SAFI (6,5 milliards de tonnes) et son prix intéressant comparé aux prix des matériaux nobles pour couche de chaussée, qui sont souvent à transporter sur de longues distances;

Considérant les insuffisances en d'autres gîtes possibles pour les matériaux de chaussée dans cette région.

Considérant le climat favorable de la région (faible pluviométrie, nappe profonde);

Considérant les résultats très satisfaisants, issus du suivi du comportement des planches expérimentales réalisées en vue de tester les possibilités d'utilisation du gypse en construction des routes.

Il est recommandé de mieux encourager l'utilisation de ce matériau selon les directives suivantes:

A/ Utilisation en corps de chaussée

1) compte tenu du fait que le comportement structurel du gypse pur concassé 0/40 et du mélange gypse 0/40-marne, a été similaire, d'après les résultats de suivi des planches expérimentales, le gypse concassé selon la granulométrie habituelle des graves non traitées pour couche de base ou de fondation, peut être utilisé pour construire ces couches, pour des routes à trafic faible (classe T5 à T3). Des altérations avec la marne jusqu'à concurrence de 20% du mélange, peuvent être acceptées, vue leur influence inappréciable sur le comportement du matériau mis en place. Une légère surépaisseur, par rapport aux épaisseurs habituelles des couches non traitées, de 5 à 10 cm est souhaitable pour tenir compte de l'évolution éventuelle du matériau vue sa friabilité;

2) compte tenu du bon comportement du gypse 0/100, issus des déchets des carrières de gypses (blocage), ce matériau peut être utilisé pour l'aménagement de couche de base de peu circulées sur lesquelles il n' a d'avoir un bon uni de surface. Une altération par la marne jusqu'à concurrence de 20% du mélange peut être acceptée;

3) considérant que le défaut majeur constaté sur les planches expérimentales est l'insuffisance de l'uni, il est recommandé de pousser la réflexion sur cet aspect dans le but de proposer des actions visant son amélioration et profiter du premier chantier possible dans la région pour les expérimenter. La réflexion sur cet aspect doit concerner, entre autres, le choix de la granulométrie du technique de mise en oeuvre Et bon comportement structurel du gypse, l'amélioration du paramètre uni va permettre d'étendre son utilisation à des classes de trafic supérieures

4) compte tenu du fait que, sur le plan théorique l'ennemi principal du gypse est l'eau;

Etant donné que la seule dégradation importante, de suivi de la chaussée expérimentale, a été entraînée par une stagnation prolongée d'eau sur la chaussée et ses dépendances;

Il est recommandé d'accorder une grande attention au drainage de chaussées construites en gypse ou en mélange gypse-marne, et ce particulièrement au niveau des points bas des tracés. La construction des chaussées en légers remblais au niveau des Points bas peut contribuer à mettre le corps de chaussée à l'abri de stagnations prolongées, qui peuvent entraîner la dissolution du gypse et son gonflement.

Par ailleurs, un léger surdimensionnement des buses et dalots d'évacuation des eaux peut être envisagé dans le même but, vu le caractère orageux des pluies dans la région un drainage en arrêtes de poisson peut rendre plus efficace le drainage

5) Considérant le fait que l'expérimentation faite pour l'utilisation du gypse en corps de chaussée a concerné uniquement le cas de chaussée neuve (gypse posé sur une couche de forme de classe S2);

Etant donné l'importance des programmes de renforcement des chaussées comparés à ceux des constructions neuves; Il est recommandé de profiter d'un programme de renouvellement de couche de base pour tester le comportement du gypse en renforcement de chaussées.

6) Etant donné les résultats très intéressants obtenus en laboratoire, en ce qui concerne le traitement à la chaux des mélanges gypse-marne, pour améliorer les performances mécaniques du matériau, il est recommandé de continuer la recherche sur cette voie qui ouvre des perspectives très intéressantes pour une meilleure utilisation de ces matériaux locaux.

B- Utilisation en accotement

7) Considérant la bonne tenue des accotements réalisés sur le CT 6511, en gypse pur 0/40 ou en mélange gypse-marne pendant la période de neuf ans, sur chaussée étroite, sous circulation agressive (croisement des poids lourds et circulation des charrettes);

Considérant les résultats similaires, obtenus auparavant sur les sections d'accotements réalisées sur la RP 12 et la RP 8;

Il est recommandé, à chaque fois qu'il est possible de disposer du gypse concassé ou non à des prix convenables de l'adopter pour la réalisation des accotements de chaussées quelque soit le trafic escompté sur celles-ci. L'imprégnation au cut-back peut être nécessaire uniquement pour les forts trafic (T1, TO).

8) Etant donné le mauvais comportement d'une couche supérieure du tuf sur l'accotement en gypse, en comparaison avec celui du gypse ou du mélange gypse marne imprégné ou non, une telle couche est à éviter et il vaudrait mieux réaliser la totalité de l'accotement en gypse ou en mélange gypse -marne;

9) Considérant l'effet très positif de la couleur blanche du gypse, mis en accotements, sur la visualisation de la limite de la chaussée, par contrast, et la bonne tenue en surface du gypse pur sans imprégnation au cut-back, il est recommandé d'encourager l'emploi de ce matériau pour améliorer la signalisation horizontale, et par voie de conséquence, la sécurité sur les routes très circulées dans la région;

10) Considérant la bonne tenue de l'accotement en gypse, sa bonne liaison avec la chaussée, et l'absence de dénivelées importantes, il est recommandé d'encourager l'utilisation de ce matériau pour construire les accotements des routes étroites, sur lesquelles des dépassements et croisements, avec sorties sur l'accotement, sont souvent nécessaires.

Il est recommandé, de même, d'expérimenter la possibilité d'étendre l'utilisation du gypse pour l'aménagement des pistes non revêtues dans la région.

ANNEXES

RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE D'ANALYSE DU TRAFIC
CT 6511 - PK 0+000 AU PK 1+000

Date de relevé le 15 et 16/10/93

N° catégorie	vers RP 12	vers CT 6511	TOTAL	%	vers RP 12	vers CT 6511	TOTAL	%	Silhouette
1- Voiture et camionnette	15	20	35	17 %	9	13	22	11 %	
2- Camion de PTC 8 T	38	53	91	43 %	49	46	95	45 %	
3- Camion de PTC 19 T	17	23	40	19 %	20	20	40	19 %	
4- Semi-remorque de PTC 38 T	20	25	45	21 %	23	29	52	25 %	
TOTAL	90	121	211	100 %	101	108	209	100 %	

Total : 7

N.B. : D'après des enquêtes menées au près des carrières et des conducteurs des véhicules transportant le gypse.

- le poids du camion type 2 (PTC 8t) est compris entre 13 et 15 tonnes ;
- le poids total du camion type 3 (PTC 19 t) est compris entre 19 et 25 tonnes ;
- le poids total du camion type 4 (PTC 38 t) est compris entre 38 et 45 tonnes.

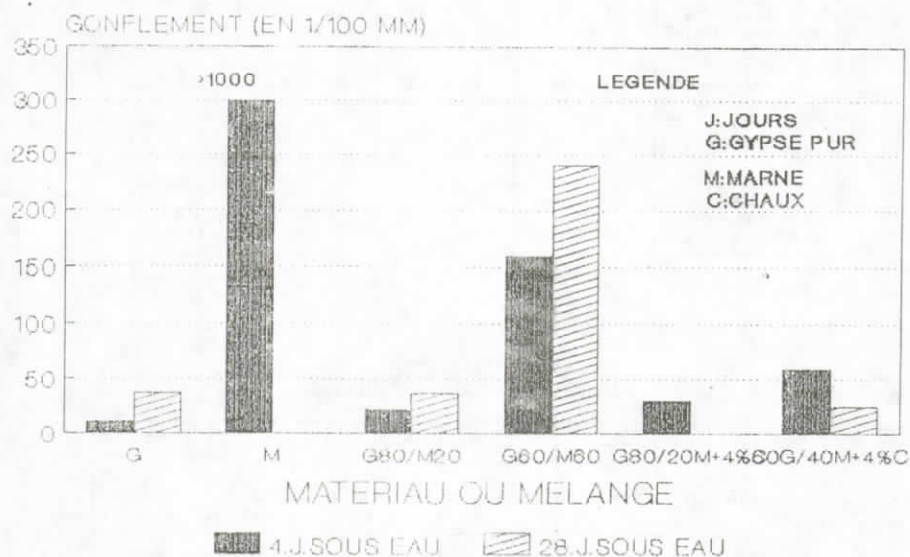
Fig. No. 2



Echelle : Longueur : 1 cm = 20 cm
Largeur : 1 cm = 1 m

Fig N° 1

HISTOGRAMME RECAPITULATIF DES GONFLEMENTS (EPROUVETTES C.B.R.)



FUSEAUX GRANULOMETRIQUES

(tamisats limites en %)

ouvertures tamis (mm)	20	2	0,4	0,08
S1 G.O/40 PUR TUF.ACCOTEMENT	44 - 76 95	25 - 39 80	16 - 34 72	11 - 32 56
S2 G.O/40+20% M	53 - 78	30 - 64	21 - 63	15 - 61
S3 G.O/100+20%M	54 - 75	33 - 63	24 - 59	21 - 57
S4 TV.SEMI-C TUF.ACCOTEMENT G.O/31,5.ACCOT	60 - 71 57 72 - 80	19 - 30 30 26 - 33	12 - 17 23 17 - 25	6 - 13 17 10 - 17

PLAGE DE VARIATION D'AUTRES CARACTERISTIQUES

SECTION	WL	IP	Wnat	GD	ES
S1 G.O/40 PUR TUF.	41 - 50 39	6 - 13 15	2,7 - 7,2 9,1	1,73-2,05 1,66	
S2 G.O/40+20% M	40 - 50	10 - 14	3,4 - 6,3	1,76-2,04	19
S3 G.O/100-20%M	35 - 48	10 - 12	3,3 - 9,4	1,58-2,11	18 - 20
S4 TV.S.concass TUF. TV.ACCOTEM.	N 46 22 - 30	- 12 6 - 9	3,6 - 7 2,8 4,2 - 7,2	1,92-2,19 2,23 1,98-2,23	