

LE GYPSE, MATERIAU ROUTIER ?

par L. AYACHE
*Directeur provincial de
l'équipement à SAFI*

et par M. AHMAR-LEGROUN
*Ingénieur d'état
Centre National d'Etudes
et de Recherches Routières
(Département Sols et Matériaux)*

La présente communication que nous nous proposons de vous exposer se rapporte à l'utilisation du GYPSE en tant que matériau routier dans la Région de SAFI.

Cet exposé comprendra donc 2 Parties :

Partie I

Cette première partie sera consacrée d'abord à l'exposé des données « naturelles » de la région : situation, géologie, relief, climatologie, réseau hydrographique ainsi que la composition des réseaux routiers, leur état actuel, axes routiers.

Seront abordés en deuxième lieu les possibilités en matériaux de la région tant au point de vue prix que qualités géotechniques et les recherches en cours à la D.P.E. de SAFI.

Un chapitre sera ensuite consacré au GYPSE de SAFI, et l'on s'est attaché à l'examen des formations « gypseuses leur exploitation, l'estimation des réserves et aux utilisations de ce matériau abondant ainsi qu'à l'alternative de l'utilisation du GYPSE en tant que matériau routier.

Le troisième chapitre aborde les résultats partiels actuels connus dans le domaine de l'utilisation routière du GYPSE tant à SAFI qu'en ALGERIE ; ainsi que les expérimentations réalisées pour l'emploi des phosphogypses en FRANCE.

Les campagnes d'essais projetées pour les années 83 et 84 seront exposées en détaillant les expérimentations à réaliser pour les assises et les accotements.

Partie II

Cette 2ème partie comportera 2 volets qui seront axés sur les essais réalisés en laboratoire et à réaliser sur le terrain.

Le premier volet fera le point des résultats obtenus suivant les « mélanges » réalisés et expérimentés au laboratoire pour déterminer d'abord les proportions de marnes, de chaux et de marnes additionnées de chaux pour obtenir le maximum de résistance et le minimum de gonflement, suivant des granulométries bien définies.

Quant au deuxième volet ; il s'attachera à :

- définir le contexte naturel dans lequel se dérouleront les essais prévus sur le C.T. 6.511 et la R.S. 120 dans la Province de SAFI (83-84).
- présenter les programmes et le planning d'essais et les éléments et valeurs que l'on s'efforcera de déterminer en fonction des résultats :
 - partiels déjà constatés à SAFI
 - obtenus en laboratoire par le C.N.E.R. de manière à éclairer les horizons que pourrait ouvrir ce matériau dans le domaine routier.

PARIE I

1• Généralités

I.1. Situation

La province de SAFI est limitée :

- Au Nord par les provinces d'EL JADIDA et EL-KELAA
- A l'Est par la province de MARRAKECH
- Au Sud par la province d'ESSAOUIRA
- A l'Ouest par l'OCEAN ATLANTIQUE

Elle s'étend sur une superficie de : 8.244 km² (Cf. carte n° 1)

I.2. Géologie - Relief

La région de Safi est constituée par des **terrains secondaires** en position Sub-tabulaire, souvent masqués par des dépôts minces du pliocène et du quaternaire.

Le paysage est formé de petites collines aux formes molles, entre lesquelles on ne trouve pas de cours d'eau ; les croûtes calcaires sont très répandues et concourent avec l'absence d'érosion fluviale, à la concentration des formes de relief.

(...) Les collines des Mouissates s'étendent jusqu'à Youssoufia et prennent une couleur blanchâtre signifiant la présence de GYPSE à l'affleurement (1).

Les observations faites à partir des sondages (B.R.P.M. T.P.) ainsi que dans l'arrière pays ont permis de définir les étapes suivantes des plus récentes au plus anciennes : (2)

a) Quaternaires :

Limons rouges, calcaires bioclassiques et lumachelles.

b) Pliocène (Maghrébien) :

Lumachelles et calcaires bioclassiques, limons

c) Crétacé :

Crétacé inférieur continental : sables quartzeux et argiles rouges

Calcaire de Dridrat : Barre massive calcaire (falaise de Safi)

— Argiles à « Exogura couloui » : grises ou brunes avec boues de calcaire jaune

— Calcaires inférieurs : blancs ou jaunes (valanginien)

d) Jurassique :

Dolomies et calcaires dolomitiques

Anhydrite massive sur 80 m

Calcaires dolomitiques, marnes et **anhydrite**

Marno-calcaires. (3)

I.3. Climatologie :

I.3.1 Températures

Les températures moyennes observées s'établissent comme suit :

Lieu	MOIS LE PLUS FROID		MOIS LE PLUS CHAUD	
	MINIMA	MAXIMA	MINIMA	MAXIMA
SAFI	6° 2	20° 2	17°	41° 4

La région, traversée par le 32° de latitude Nord se caractérise par un climat chaud et le pays est **semi-désertique**.

I.3.2 Les vents :

La plupart des auteurs qui ont traité du régime des vents sur la côte atlantique marocaine s'accordent à déclarer que les vents dominants sont :

- Sud-Ouest en Hiver
- Nord-Est en été

Cependant, d'autres observateurs dont l'opinion est confirmée par les constatations faites par les postes météorologiques de Safi, prétendent que la théorie généralement admise n'est pas tout à fait conforme à la réalité, du moins en ce qui concerne les Abda. Dans cette zone, les vents dominants soufflent :

- Nord-Est en Hiver
- Nord-Est ou Nord-Ouest en Eté

En été, la région est soumise au régime des alisés, vents du Nord-Est plus prononcés qu'en hiver.

Les vents régnants viennent entre le Nord-Est et le Nord-Ouest. Ce sont eux qui, en imprimant à la mer une impulsion, amènent à la surface les eaux froides du courant des Canaries, provoquent les brouillards et les rosées.

I.1.3. Les précipitations :

La province de Safi est défavorisée sur ce plan. Il est bien établi que la rareté et la faiblesse des précipitations est la conséquence du régime des vents et du relief.

Le relevé des précipitations (moyenne annuelle) s'établit comme suit :

CAMPAGNES	MOYENNE	CAMPAGNES (1)	MOYENNE
1962- 63	467,30	1975- 76	265
1963- 64	397,00	1976- 77	236
1964- 65	289,30	1977- 78	501
1965- 66	281,30	1978- 79	346
1966- 67	458,75	1979- 80	346
1967- 68	479,10	1980- 81	197
1968- 69	380,80	1981- 82	261
1968- 70	550,65	1982- 83	
1970- 71	454,20		
1971- 72	353,15		
1972- 73	312,51		
1973- 74	273,28	(1) Source	
1974- 75	152,80	M.A.R.A	

D'une façon générale, il pleut de Septembre à Mai, mais la période la plus pluvieuse se situe de fin Novembre à fin Mars.

1.3.4 Le réseau hydrographique

- La province de Safi est très pauvre en eaux superficielles, ce qui explique le relief peu tourmenté de la région.

La seule rivière qui traverse le territoire à l'**extrême Sud** est l'Oued Tensift qui prend sa source dans l'Atlas, chemine à travers le Haouz et se jette dans l'Atlantique à Souira Kemima à 36 km de Safi avec comme affluent l'Oued Chichaoua.

Equisé d'une part par les infiltrations qui s'opèrent et l'irrigation des plaines qu'il traverse, soumis d'autre part à l'évaporation intense sous l'influence des vents chauds, il est généralement à sec pendant la saison chaude.

- 5 - LE RESEAU ROUTIER .-

I- 5-1- COMPOSITION DU RESEAU .-

RESEAUX	Km LONGUEUR CONSTRUITE REVETUE	LONGUEUR CONSTRUITE NON REVETUE	LONGUEUR A L'ETAT DE PISTE Km	TOTAL	% NON CONS. NON REVET.
ROUTES PRINCIPALES	184,116Km	-	-	184,116	0%
ROUTES SECONDAIRES	233,264	-	-	233,264	0%
CHEMINS TERTIAIRES	436,892	-	594,836	1031,728	57,6 %
RP+RS+C.T	854,272	-	594,836	1449,108	40,8 %

* AUTRES INDICATEURS :

- Population : 706.617 hab. (2)

- Superficie : 8.244 Km² (3)

RESEAUX	KM	KM ROUTE/ 1.000 hab. 1/(2)	KM ROUTE / 1.000 Km ² 1/(3)
R.P.....	184,116	0,26	0,022
R.S.....	233,264	0,33	0,028
CT. Revêtus	436,892	0,62	0,052
CT. Non rev.	594,836	0,84	0,072
Réseau rev. (RP+RS+CT)	854,272	1,21	0,103
Réseau gén. (RP+RS+CT)	1.458,108	2,06	0,175

10



—Maillage du réseau routier

Le réseau routier de la province de Safi est dense

- L'ossature principale est constituée par :

- la RP 8 (El jadida - Agadir) L = 87,246 km

- la RP 12 (Safi - RP 9 - Marrakech) L = 96,870 km

- toutes les routes secondaires** (sauf : la RS 511 - Chemaia - Chichaoua et RS 125 - Chemaia - Benguerir) prennent naissance à Safi :

- RS 120 : L = 27,027 km (Safi - Sebt G'zoula)

- RS 121 : L = 62,358 km (El jadida - Safi)

- RS 125 : L = 48,200 km (Chemaia - Benguerir)

- RS 126 : L = 39,681 km (Safi - Khemis Zemamra)

- RS 511 : L = 56,000 km (Chemaia - Chichaoua)

- **Le réseau des chemins tertiaires (C.T.) comprend :**

- 41 chemins tertiaires,

- Longueur totale de 1.053 km dont 594 km à l'état de piste soit : 58 %

1.5.2. Etat actuel des réseaux

1—Pour les routes principales :

Les caractéristiques géométriques sont dans l'ensemble satisfaisantes sauf pour la RP 12 (Safi - Chemaia - RP 9) dans les sections comprises entre :

- les PK 2 et 24 (Safi - Tleta Bouguedra)

- les PK 36 et 56 (Tleta Bouguedra - Chemaia)

2—Pour les routes secondaires :

Les caractéristiques géométriques sont excellentes sur les zones plates mais deviennent médiocres dès que la topographie devient quelque peu tourmentée, ce qui traduit par des pertes de visibilité et des rayons de courbures très faibles ; caractéristiques **des anciens tracés**, complètement inadaptés au trafic actuel.

Les corps de chaussées très anciens et sous-dimensionnés sont souvent complètement contaminés par les argiles.

La largeur **de 4 m** pour la plupart d'entre elles entraîne un déchaussement du corps de chaussée que les **rechargements successifs des accotements ne parviennent pas à combler durablement.**

3—Pour les chemins tertiaires

Pour ces axes, il y a lieu de noter que :

- La proportion à l'état de piste est très élevée :

595 km sur une longueur total de C.T. de 1.032 km soit : **58 % n'est pas revêtue.**

• La densité, le maillage du réseau et les dessertes assurées sont satisfaisants, mais les caractéristiques géométriques (tracé ; chaussée de 3 à 4 m, ouvrages d'art) et l'état actuel des chaussées, réalisées pour la plupart en macadam à l'eau, sont médiocres pour la plupart de ces voies.

1.5.3. Les C.T. à l'état de piste : (à traiter au gypse)

Les chemins tertiaires à l'état de piste, susceptibles d'être « traités » au Gypse sont les suivants :

N°	Localités	Caractéristiques				OBSERVATIONS
		PK. Orig.	P.K. Extrém.	Longueur	Trafic /j	
6517	de SIDI BOUGUEDRA à JEMAA SAHIM	1,6	28	26,4	100 (estimé)	RELIEF Vallonné
6517	de SIDI TIJI à DAR ST AISSA	0,0	20	20	25 (estimé)	Plat
6519	du LAC ZIMA à BOUIDROUCH	0,0	50	50	80 "	Plat à vallonné
6520	de YOUSSEFIA à JNANE BOUIH	0	31	31	80 "	Plat
6523	de SEBT G'ZOULA à SIDI AMARA	14,5	37	22,5	80	Plat
6530	de TLETA IGHOUD à SIDI AMARA	0	12	12	80	Plat
6531	de SAFI à OULED JARRAR	35,4	49,8	14,4	80	Plat
6533	de TNINE GHIAI à C. BEN HAMAD	0	12	12	80	Plat
6534	de SEBT G'ZOULA à SIDI M'BAREK	0	15	15	50	Plat
6535	de TLETA BOUGUEDRA à J. LIHOUDI	0	27,3	27,3	50	Plat

/ 230,6 /

Les pistes non classées :

Le nombre de pistes non classées desservant les agglomérations rurales autour des affleurements gypseux est très élevé et leur longueur totale peut être estimée à : 250 km.

I.5.4. Les sols de fondation des chaussées - Environnement des voies

Les sols de fondation que l'on remonte le plus souvent sont :

- les limons tirseaux noirs ⁽¹⁾
- Les argiles limoneuses brunes à marron ⁽²⁾
- les limons argileux bruns à marron ⁽³⁾

Les caractéristiques géotechniques de ces sols sont très médiocres et les fourchettes de variations sont les suivantes :

- Ip. 11 à 28 (très sensibles à l'eau)
- B.R. 3 à 7 (très faible portance)

Par ailleurs, le relief est plat et vallonné, les profils en long ne présentent que de faibles déclivités et suivent en général le terrain naturel.

L'environnement des voies se caractérise par

- un drainage inexistant (inexistence de fossés ou fossés comblés)
- peu de déclivités et écoulement difficile des eaux de ruissellement
- l'érosion reste intense
 - l'érosion pluviale est très active
 - l'érosion **éolienne** est très intense surtout sur les **accotements** argileux, dont l'action est facilitée par la circulation animale.
- comblement rapide des fossés et des petits ouvrages d'art par les eaux de ruissellement
- dénivellation importantes entre le bord de chaussées et l'accotement.

I.5.5. Solution : le traitement au gypse ?

Si le Gypse devait être employé comme matériau routier ; à partir des affleurements localisés actuellement autour de Sidi Tiji :

- en matériau de couche de base pour :
 - les C.T. peu circulés (0 à 100 V/j)
 - les pistes non classées (dessertes des agglomérations rurales)
- en matériau « sélectionné » pour accotement, **les longueurs à traiter** seraient les suivantes :
 - RP + RS : chaussée - (*néant*)
accotements : 150 km
 - C.T. revêtus : chaussée (*néant*)
accotements : 100 km

LOTIES	LONG. à traiter	GYPSE EN CHAUSSEE m3	GYPSE ACCROTEMENTS m3	QUANTITES TOTALES m3	OBSERVATIONS
RP+RS	150 Km	-	150.000 ($\ell = 2m$)	150.000	
C.T. Revêtus	100 Km	-	75.000 ($\ell = 1,5$)	75.000	
C.T. non const. & non revêtus....	230 Km	230.000 ($\ell = 4m$)	115.000 ($\ell = 1m$)	345.000	
Pistes non classées....	200 Km	200.000 ($\ell = 4m$)	100.000	300.000	
TOTAL :	680 Km	430.000	440.000	870.000 =====	

—C.T. non revêtus : chaussée : 230 km
accrotements : 230 km

—Pistes non classées : chaussée : 200 km
accrotements : 200 km

Les quantités de gypse à utiliser serait de : **870.000 m³** avec comme épaisseur : **0,25 m** ;

Si l'on adoptait le Gypse en remplacement de la G.N.F., avec des épaisseurs de :

25 cm pour le Gypse

20 cm pour la G.N.F.

On aurait :

- Traitement à la G.N.F. : $870.000 \times (0,20) \times 100 \text{ DH/m}^3 = 69.600.000$
(0,25)
- Traitement au Gypse : $870.000 \times 40 \text{ DH} = 34.800.000$

1.6. Les possibilités en matériaux de la région

Les matériaux routiers utilisés pour les couches de fondation, de base et les revêtements superficiels ou bétons bitumineux proviennent principalement de :

—L'Oued Tensift

—Les carrières de concassage au Nord de Safi

1.6.1. Les matériaux de l'Oued Tensift

L'Oued Tensift, traverse la province de Safi et à son extrême Sud en serpentant en larges méandres à travers les collines des Mouissates.

a) Conditions d'exploitation :

Les carrières exploitées par les entreprises ont permis jusqu'à présent de répondre à la demande en matériaux routiers :

- G.N.F.
- G.N.B.
- G.N.A.
- Gravillons (0/6 ; 6/10 et 10/14)

en exploitant les tout-venants alluvionnaires et quelques « terrasses » sur les diverses sections de ce cours d'eau.

Les caractéristiques géotechniques des matériaux extraits, à partir de ces carrières sont satisfaisantes pour les graves G.N.B., G.N.A. et les gravillons :

- Dureté 20 à 25 & L.A.
- Equivalent de sable 40 à 70
- Granulométrie rentre dans les fuseaux suivant les qualités.

b) Les conditions économiques :

—**Les prix pratiqués** dans la région, pour les matériaux extraits à partir du Tensift, dont **une distance de transport** moyenne de **80 km** sont dans les fourchettes suivantes :

- G.N.F. 90 à 110 DH/m³
- G.N.B. 110 à 125 DH/m³
- G.N.A. 120 à 145 DH/m³

—**Le coût onéreux du transport**, dû à la position excentrée de l'Oued Tensift par rapport au réseau de la province de Safi explique en grande partie les prix élevés des matériaux rendus sur chantier.

c) Les risques de l'épuisement :

Comme décrit précédemment, l'Oued Tensift traverse la province de Safi à l'extrême Sud de son territoire en décrivant des méandres, profond dans la partie méridionale des Mouissates.

—Il se caractérise alors par :

un débit très faible

- des crues de moins en moins violentes et de plus en plus espacées, seul l'Oued Chichaoua, l'un des affluents semble fournir quelques apports.

—Il faut signaler par ailleurs que les affluents du Tensift, après les aménagements hydrauliques réalisés ou à réaliser ne seront plus en mesure, par suite de l'affaiblissement de leurs apports, de permettre le renouvellement des plages de matériaux et plus grave encore, les bancs de carrière exploitées et non régérées seront comblées par des limons et les ressources existantes seront conta-

minées par ces dépôts en « lentilles » difficilement décelables pour les réexploitations futures.

1.6.2. Les autres carrières de concassage

a) Les carrières qui ont connu ou connaissent une exploitation sont au nombre de 20 et se situent pour la plupart au Nord et Nord-Est et Safi. Ce sont les carrières de :

- | | |
|--|-------------------------|
| 1—Sidi Khlil (Chahid) ⁽¹⁾ | 11—Jemaa Sahim |
| 2—Sidi Khlil (C.T.R.A.) ⁽²⁾ | 12—Boualem Chay Kachtat |
| 3—Had Harara | 13—Tnine Ahmar |
| 4—Tleta Bouaris | 14—Khmis N'ga |
| 5—Dar si Aissa | 15—Iguaguen |
| 6—Ouled Smiro | 16—Mouissat |
| 7—Tleta Bouguedra | 17—Mouissat |
| 8—M'guifer Tleta Bouguedra | 18—Louihat |
| 9—Jeddiane | 19—Ouled Hmid |
| 10—Huijeb | 20—Lafissa |

b) Les carrières de Sidi Khlil (Chahid et C.T.R.A.)

Elles se situent au Nord de Safi et présentent le même « faciès » des Calcaires et Dolomies compactes et dures avec des variations lithologiques importantes.

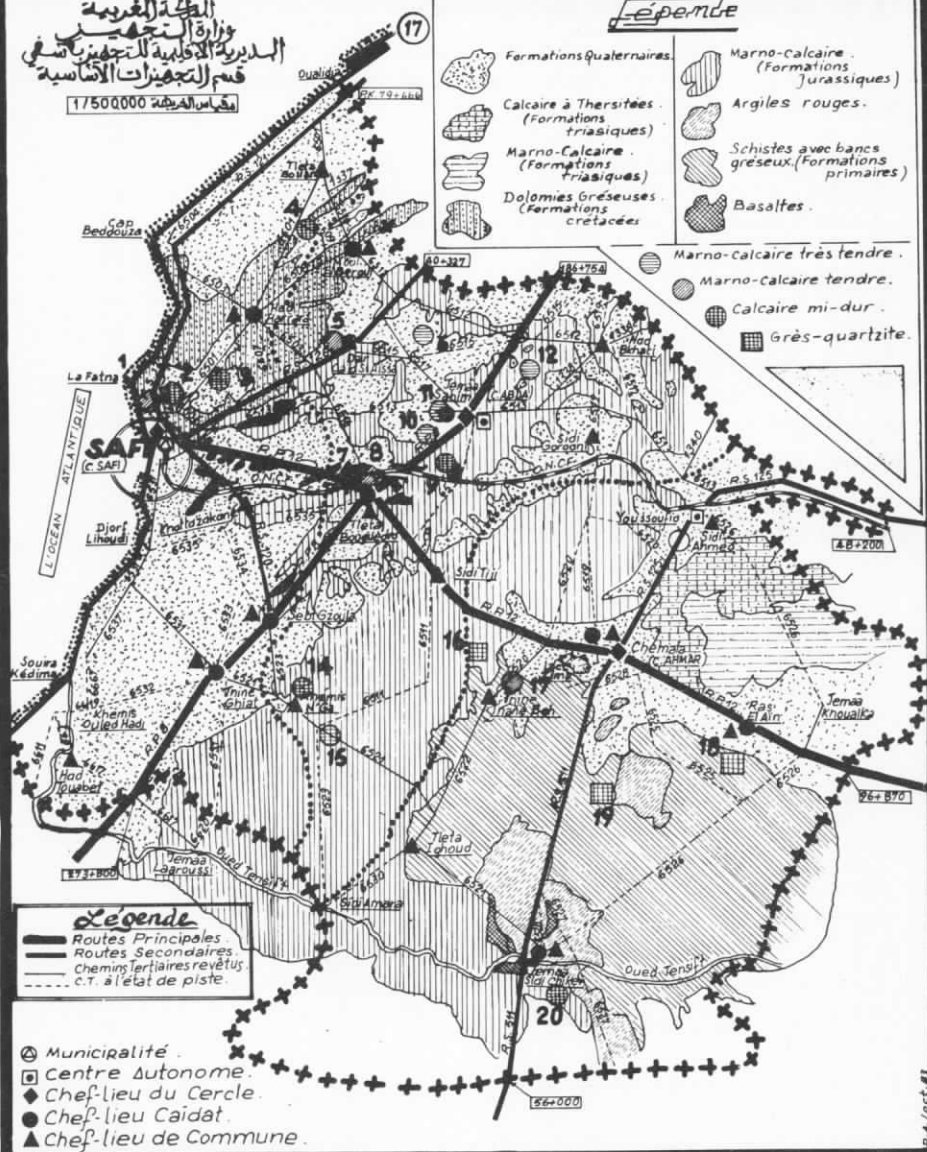
الطبعة الجديدة
وزارة التجهيز
البلدية والإقامة للتجهيز
قسم التجهيزات الأساسية

مقياس الخريطة 1:750,000

الطبعة الجديدة

- | | |
|--|--|
| Formations Quaternaires. | Marno-calcaire (Formations Jurassiques) |
| Calcaire à Thersites (Formations triasiques) | Argiles rouges. |
| Marno-Calcaire (Formations triasiques) | Schistes avec bancs gréseux (Formations primaires) |
| Dolomies Gréseuses (Formations crétacées) | Basaltes. |

- | |
|-----------------------------|
| Marno-calcaire très tendre. |
| Marno-calcaire tendre. |
| Calcaire mi-dur. |
| Grès-quartzite. |



Les fronts de taille peuvent varier de 1 à 5m mais ces formations sont souvent altérées et corrodées en surface avec des cavités et fissures à remplissage terreux.

Les prélèvements effectués pour essais donnent en moyenne :

PROVENANCE	CLASSE	PROPRETE %	FORME %	LOS ANGE- LES %	OBSERV.
CHAHID	12,5/25	0,9	11,3	17,4	
CTRA	12,5/20	1,1	12,8	17	

Cependant, leur hétérogénéité handicape sérieusement leur exploitation ainsi que la qualité des matériaux surtout pour les granulats destinés aux axes très circulés.

c) Les autres carrières :

- Des exploitations éparses sont artisanalement mises en valeur au Nord et au Sud de Safi et fournissent des matériaux analogues ou de moindres qualités.
- D'autres carrières de moindre importance sont exploitées mais ne fournissent souvent que des matériaux de qualité médiocre, pour la plupart des marno-calcaires tendres ou des dunaires.

I.6.3. Les Recherches en cours

Les besoins en matériaux de construction ayant des qualités géotechniques acceptables tant pour les travaux de génie civil que routiers commencent à faire défaut ou connaissent des augmentations de prix très élevées en rapport avec les frais de transport (T.V. d'Oued Tensift).

La Direction Provinciale de l'Équipement a entamé des travaux de mise à jour et de recherche de nouvelles possibilités de matériaux pour faire face : (4)

- à l'exécution de nombreux travaux prévus par le plan Quinquennal 81-85.
- à utiliser les matériaux locaux et éviter les transports coûteux qui grèvent les prix de ces matériaux à pied d'œuvre.

Le L.P.E.E. de Casablanca, chargé d'une étude de reconnaissance des possibilités en matériau de la région, a réalisé une mission

préliminaire et a fourni le premier rapport dont les résultats peuvent être résumés ainsi :

L'axe Youssoufia - Chemaia traverse un affleurement de calcaires du Crétacé Inférieur, mais les possibilités offertes semblent réduites.

Les Calcaires à Thersitees qui surmontent les formations phosphatées au niveau de la découverte de l'O.C.P. se présentent sous forme de série de Calcaires Dolomitiques durs dits « Facies à Thersitees » en bancs continus avec des pendages variables. Ils passent progressivement des calcaires purs moins durs aux calcaires dolomitiques siliceux. Les recherches et les essais géotechniques en cours semblent encourageants,

Le Dermo-Trias a connu une activité volcanique qui a produit surtout des basalts qui n'ont pas résisté à l'altération au cours des temps. Cependant, les formations Basaltiques de part et d'autre du Tensift aux abords de la RS 511 semblent moins altérées et les recherches seront orientées vers cette formation.

Le socle Cambro-Ordovicien (primaire), généralement schisteux et très altéré donne naissance à quelques bancs creux peu épais mais continus, au droit des Ouled Hmida de part et d'autre de la RS 511 (PK 20 à 25). D'autres bancs de grès quartzistes ou volcaniques ont été mis à jour lors de recherches minières antérieures.

Les Calcaires du Jurassique, qui surmontent les argiles et basalts altérés du Dermo-Trias apparaissent au Jebel Aguef à l'Est du PK 51 de la RS 511 et au Sud du Tensift avec une puissance de 1 à 2 m. L'essai Deval sec est de 10,6 %.

Une autre mission du L.P.E.E. précisera davantage :

- les caractéristiques géotechniques de chaque site
- ses possibilités potentielles
- les conditions d'exploitation

Cependant d'ores et déjà, les prochaines années connaîtront des déficits importants et la construction ou le réaménagement de certaines voies peu circulées nécessitant des matériaux moins nobles que les Graves, peuvent être envisagés par le traitement au Gypse, en particulier pour les axes se trouvant à proximité des affleurements.

ANNEXE DU RAPPORT
MINISTRE DE L'EQUIPEMENT
DIRECTION PROVINCIALE
DE L'EQUIPEMENT DE SAFT

- RECENSEMENT DES CARRIERES DANS LA PROVINCE DE SAFT -

CARRIERES DE PIERRES, GRAVETTES ET SABLES

N°s Ord. DPE	Date de l'auto- résolution	Noms et Prénoms de l'exploitant	Exist. de plans	Emplacement de la carrière-Route ou C.T.	Pk.	Lieu dits	Observ.
SA/173/321	17.1.79	SODIMIS	"	C.T. 6512	-	TELETA BOUGUEDRA	
SA/173/226	27.3.61	CHAHID MOHAMED	"	R.P. 12	PK. 40	DOUAR DNOUBAT	
" 327	2.10.79	COSPI	"	Créusement CT. 6516 R.S. 126	-	EL MOULHA	
" 323	15.6.79	ATIF AHMED	"	C.T. 6501	48+300	DOUAR KOUASMA	
" 271	2.4.71	C.T.R.A	"	C.T. 6501	6	CARRIÈRE LICO	
" 268	24.2.71	ZIGUANI ABDELKEBIR	"	1km Nord CT. 6501	3km 700	AZIB BELLA	
" 280	15.6.72	MOUMINE LAHCEN	"	6km CT. 6502	-	DR. ZAOUAT REGRAQUI	
" 303	7.2.77	DERAI OMARISTECAB 2.0001	"	C.T. 6502	PK. 482507	DR. TIDLIT	
" 307	6.10.77	TARIK MOHAMED	"	3km 800 CT. 6502 400 m NORD	C.T. 6502	EL BRIDIT	
" 310	15.5.78	S.SAB	"	2km Sud CT. 6501	-	STDI M'SAHEL	
" 305	13.8.77	DOU & CHEKKOURI	"	CT. 6506 à 700m côté Nord	-	DR. BOURSAS	
" 264	6.1.75	SAANANE DOU	"	C.T. 6502	-	DR. AZIB BELA	
" 296	17.2.76	HAIDANE Abdelkam	"	5km 300 de SAFT vers Had Haraza	CT. 6501 à l'ensud		
" 258	10.7.69	MOUMINE LAHCEN	"	C.T. 6501	7	DR. DARKAOUA Sidi	
" 297	17.2.76	BOUAB AHMED	"	"	45+000 46+000	ADDETAKHANE DR. JBARATE	
" 277	6.3.72	CASTELLANO PAUL	"	Ouest CT. 6501	17	DR. MNADLA	

....

- CARRIERES DE PIERRES, GRAVETTES ET SABLES (Suite 2)

N°s Ord. DPE	Date de l'autorisation	Noms et Prénoms de l'exploitant	Exist. de Plans	Emplacement de la carrière - Route ou C.T.	P.K.	Lieux dits	Observat.
SA/173/281	9.1.73	DOUGANI AHMED	Oui	Nord CT. 6506-Ouest 6501	-	DERB NATDA	
" 273	9.7.71	FHALNI ABDELAZIZ	"	C.T. 6501 Nord	3+600	" "	
" 255	14.7.71	LAHRICHI H. LACHMI	"	C.T. 6501	4	" "	
" 261	5.3.70	BENKIRANE SAIDA	"	" "	6	" "	
" 256	17.3.67	SAANANE DOU	"	C.T. 6502	6	SAFI à LALLA FATNA M'HAMED	
" 257	13.8.69	SOLLA JUAN	"	" "	54	DOUAR OULED SIDI FARES	
" 243	23.2.65	NOUMRI HAMID	"	7Km CT. 6501		" ROUAMCHA FKIRINE	
" 177	25.1.65	LENKHOUDEM OMAR	"	RS. 126 à 50m EST	4	vers HAD HARARA	
" 322	2.10.79	ZIOUANI ABDELKEBIR	"	R.S. 121	22+000	SAFI à SIDI BOUCHTA	
" 311	2.6.78	Enf. NAVACH&DOUMALI	"	" "	8+200	SIDI KHLIL	
" 309	22.3.78	ATIF AHMED	"	C.T. 6501	47+700	SAFI vers OUALIDIA DOUAR KOUASNA	
" 319	31.10.78	NAVACH AHMED	"	R.S. 121	8+00	SIDI KHLIL	
" 301	24.11.76	Enf. OMAR & LENKHOUDEM	"	800m NORD EST R.S. 121	7+300	SAFI vers OUALIDIA SIDI KHLIL	
" 299	29.11.76	CHKILITA & VAHVA	"	R.S. 121 EST	8+600	" "	
" 289	22.6.74	CASTELLANO PAUL (SOTRAS)	"	1Km 700 Est R.S. 121	8+200	" "	
" 291	19.11.74	CHAHID MOHAMED	"	RS. 121 OUEST	8+400	SIDI KHLIL	
" 288	22.6.74	SOMATREX	"	600m EST R.S. 121	8+500	CHAABAT AHEMRI SIDI KHLIL	
" 275	27.12.71	Enf. LARBI BEN GHALI	"	Est RS. 121	7+300	" "	.../...

- CARRIERES DE PIERRES, GRAVETTES ET SABLES - (Suite 3)

N°s Ord. D.P.E	Date de l'auto- risation	Noms et Prénoms de l'exploitant	Exist. de plans	Emplacement de la carrrière- Route ou C.T.	P.K.	Lieux dits	Observation
SA/173/259	18.8.69	CHAHID MOHAMED	Ouï	R.S.121	9	SIDI KHLIL	
" " 264	21.7.76	BOUNOUARA OMAR	"	RS.120à 1Km00	16+500	-	
" " 332	16.5.89	NAOUMI ALLAL	"	600m SUD RP.12	55	DOUAR ZAOUAT SIDI KANOUNE	

II• Le Gypse de Safi

II.1. Les formations et les sites

1.1. Généralités ⁽⁵⁾

Le Gypse ou Sulfate de Calcium est abondant dans la nature sous 2 formes :

- Hydrate, monoclinique = Le Gypse
- Anhydre orthorhombique = L'Anhydrite

Les gîtes importants sont les gîtes sédimentaires qui, pour la plupart semblent résulter de l'évaporation de masse d'eau salée en milieu continental ou en milieu marin, près des continents.

Suivant la Température et la Composition Initiale de la solution-mère, le Gypse ou l'Anhydrite se déposent,

Minéralogie et Propriétés physiques ⁽³⁾

Le gypse : ($\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), se présente :

—en masse terreuse ou saccharoïde, en agrégats fibreux ou en cristaux limpides

- densité = 2,32
- dureté = 2 (par définition)
- chaleur spécifique = 0,273 entre 12° et 100° C

T °C	0	10	25	30	40	75	100° C
Gypse dissous (g/litre)	1,756	1,926	2,085	2,095	2,108	1,88	1,69

L'anhydrite : (Ca SO_4) :

- en minéral généralement blanc.
- en masses saccharoïdes ou en agrégats lamellaires dont les éléments sont en disposition radiale ou parallèle
- densité = 2,98
- dureté = 3 à 3,5
- chaleur spécifique = 0,175 entre 0 et 100° C.

Gypse = anhydrite + eau

II.1.2. Caractères généraux des niveaux à gypse

Position stratigraphique ⁽⁶⁾

Partout où l'observation du toit du Gypse est possible, on constate qu'il n'atteint jamais la limite entre le Jurassique et le Valanginien.

Les gisements de Gypse se situent donc à des distances comprises approximativement entre 200 à quelques mètres en dessous du Jurassique.

Etendue des niveaux

Les niveaux de Gypse ont partout une extension horizontale très supérieure à leur puissance. (6)

Ces étendues dépassent très souvent plusieurs kilomètres.

Puissance des niveaux à Gypse

Suivant les éléments disponibles actuellement, les puissances des gisements variant de 40 à 100 m, s'offrent à l'exploitation.

II.1.3. Les exploitations de Gypse (voir carte)

Les sites de gypse anciennement exploités ou en cours d'exploitation sont nombreux et leurs ouvertures semblent avoir été guidées par des impératifs de transport de commercialisation, dus au faible prix de vente du matériau brut

A la date du 30 Juillet 1983, **40 carrières ont été** autorisées, dont la plupart sont soit abandonnées soit exploitées de manière artisanale.

Cependant on peut distinguer :

- Carrière de **Youssoufia**
- Carrières de Mouissate dont la plupart se situent à sidi Tiji aux abords de la RP 12.
- Carrière de la Route Secondaire 120 (carrière Contreillas, Compagnie Marocaine etc...)

II.1.4. Estimation sommaire des réserves de Gypses

Les estimations sommaires qui vont suivre ont été établies par Mesieurs J.L.MAZEAS et M. NATAF du service des études des gîtes - Minéraux - Rabat.

— Région des mouissates méridionaux (Arbaa Sidi Laaroussi)

- affleurement sur 65 km
- puissance 40 à 60 m.
- estimation (densité 2) de la réserve = 5.000.000.000 tonnes

— Région de Sebti G'zoula

- affleurement sur 4 km²
- puissance : 40 à 60 m
- estimation de la réserve = 500.000.000 T.

— Région de Youssoufia (Ouest Youssoufia)

- affleurement sur plusieurs km²

- puissance : supérieure à 100 m.
- estimation de la réserve supérieure à : 500.000.000 T.

—Région de Sidi Ahmed Tiji

- affleurement sur l'axe Oulad Bouguedra - Sidi Kanoun Jbel bou Saafa - Sidi ahmed Tiji jusqu'au Draa Adoune.
- puissance supérieure à 40 m.
- estimation des réserves supérieure à : 500.000.000 T.

—Région de Safi

- affleurements sur plus de 1 km²
- puissance comprise entre 30 et 100 m
- estimation des réserves supérieure à : 50.000.000 T.

Soit au total une réserve de : 6.550.000.000 T.

II.4. Utilisation du gypse à l'état brut ⁽⁷⁾

Le Gypse à l'état brut est très utilisé comme matière première pour l'Industrie et l'Agriculture dans :

- La peinture : Le Gypse très pur est utilisé sous forme de poudre très fine (9 à 20 microns) comme pigment blanc.
- Les cimenteries : Le gypse est utilisé comme retardateur et régulateur de prise dans les proportions de 2 à 3 % (exprimée en SO₃).

ROYAUME DU MAROC
MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT
DIRECTION PROVINCIALE
DE L'ÉQUIPEMENT DE SAFI

RECEMENT DES CARRIERES DANS LA PROVINCE DE SAFI
- CARRIERES DE GYPSE -

N° d'ordre	N° d'ordre DPE	Date de l'autorisation	Noms et Prénoms de l'exploitant	Existence des plans	Emplacement de la carrière Route ou C.T.	PK.	Lieux dits	OBSERVAT
1	SA/173/330	21.3.80	BOURZAMA Ahmed	Où	R.P.12	30+500	Douar Ouled KHAI	
3	SA/173/335	2.10.79	GYPSOTIJI	"	R.P.12	-	Dt. Ouled KHAI S.TIJI	
4	SA/173/328	20.10.79	"	"	"	-	"	
5	SA/173/326	9.7.79	SOMAD	"	RP.12 à 3km	43+300	Douar OULED MESSAOUD	
6	SA/173/318	23/10.79	LAISSAOUI MOHAMED	"	RP.12 à 800m	42+000	SIDI TIJI	
7	SA/173/308	21.10.77	Ent. YOUNESSI et OUAHED RAÏSSER	"	1 km300 Nord RP12	41	"	
8	SA/173/306	25.8.77	"	"	500m PK.3+500 CT.6511-RP.12	39+500	"	
9	SA/173/298	13.10.76	LARHDIR ABDERRAHIM.....	"	Sud à 2km piste vers RS.120-RP.12	14+400	-	
10	" /275	29.11.71	TAOUS SALAH	"	1km800Nord PK.40 R.P.12	40	Dt. OULED MESSAOUD	
11	" /294	25.12.75	TAOUS et BONINI	"	800m Ouest PK.42+400 RP.12	42+400	"	
12	" /271	10.4.71	ILLANE ABDELLATIF	"	Nord R.P.12	15	vers Sh.T. BOUGUEDRA	
13	" /292	12.2.75	AZIZI SAMIR MOULAY DRISS	"	4km Est PK.41 R.P.12	41	-	
14	" /300	9.9.76	DOU et CHEKKOURI	"	R.P.12	41	EL QUATIA SIDI TIJI	
15	" /265	15.6.70	CASTELLANO PAUL	"	R.P.12	42+400	DOUAR OULED MESSAOUD	
16	" /279	22.6.72	LOUMANI ET LAHCEN	"	Sud 1km400-RP12	41+500	SIDI TIJI	
17	" /2469	7.12.64	ENT. LORENZI	"	R.P.12	52	S.TIJI Dt. J'DOUR	
18	" /272	1.6.71	Cte MAROCAINE	"	1km piste EL Ouacita -R.P.12	41	SIDI TIJI	
0	" /274	27.10.71	JOUNDI(SOMATREX)	"	Ouest PK.13+300 R.P.12	14km200	DOUAR LEBATIR vers TLETA BOUGUEDRA	

- CARRIERES DE GYPSE - (Suite 2)

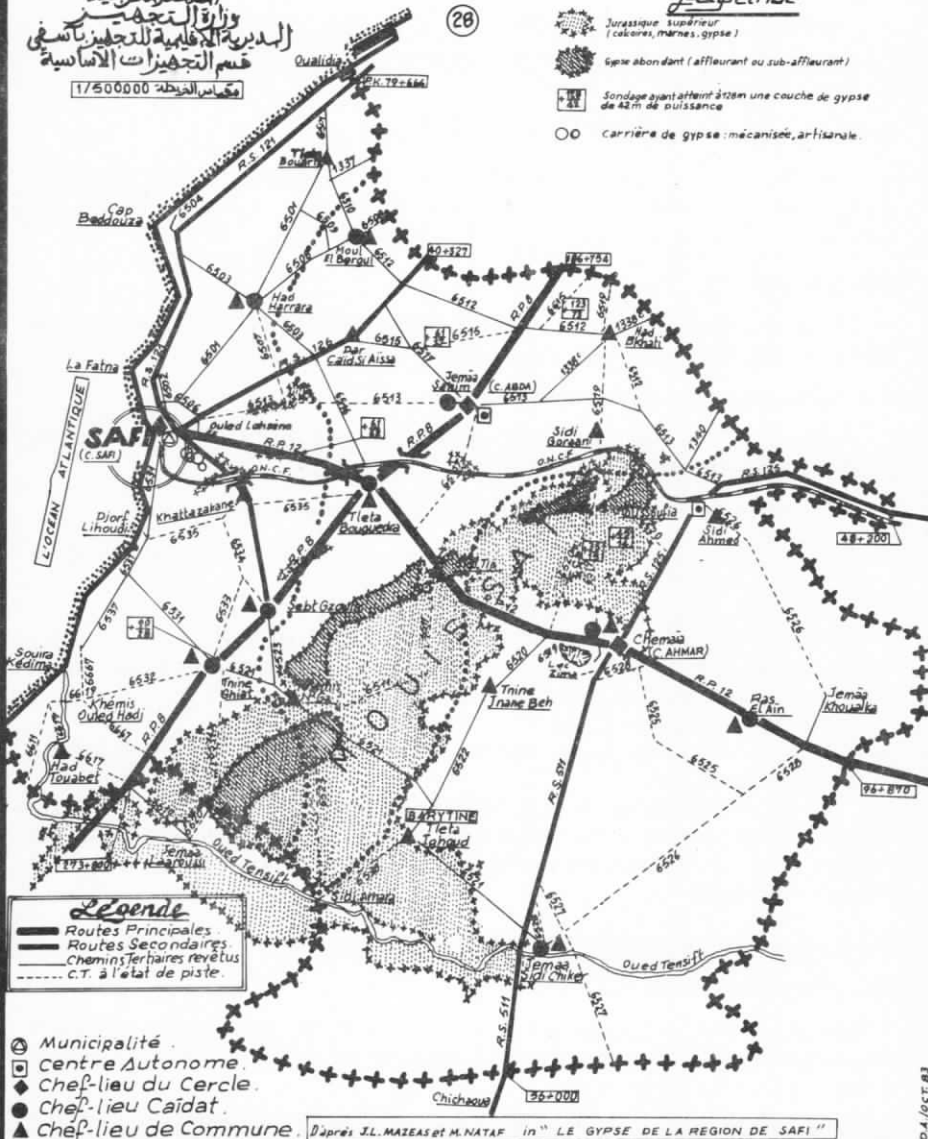
N° dans le classe	N° ord DPE	Date de l'autorisation	Noms et Prénoms de l'exploitant	Exist. de plans	Emplacement de la carrière - Route ou C.T.	P.K.	Lieux dits	Observations
39	SA/173/290	25.11.74	LOUMANI & LAHCEN	Oui	500m Ouest PK.11+500	11+500	DOUAR HCINE vers VOUSOUFIA	
55	" 313	21.6.78	BENHIMA ABDELMAJID	"	Km3 Nord RS.120	13	DOUAR BRAHMA	
56	" 329	26.9.79	ABOUCHI BOUJERNOUN	"	RS.120-5Km800 NORD	5+500	GHIRSA M'GHAOUIR	
57	" 317	10.10.78	LEMKHOUDEN OMAR	"	4Km800 RS.120	4+800	DOUAR GHOUIRFAT	
58	" 314	21.6.78	BENCHKROUN HAMAD	"	R.P.12	111	SIDI TIJI	
59	" 316	28.6.78	LOUMANI HASSAN	"	2Km300 RP.12	39+400	" "	
60	" 315	21.6.78	GHANBOURI Haj ABDERRAHMAN	"	4Km800-RS.120-10Km R.SAFT-S. G'ZOULA	-	DOUAR O. HANATA	
61	" 304	5.5.77	LARHDIR Abdennahim	"	2Km500 -RS.120	10+200	DOUAR BRAHMA	
63	" 267	15.1.71	CHAHID MOHAMED	"	5Km800 Nord RS.120	5+600	" "	
64	" 287	6.10.73	SAANANE DOU	"	SUD 3Km500 NORD "	6+500	DOUAR LAHMIDATE	
65	" 286	28.12.73	TAOUS SALAH	"	R.S.120	5+800	G'MIRSA M'GHAOUIR	
66	" 282	20.9.72	GHANBOURI Med(Ent)	"	4Km500SUD-RS.120	10+500	M'GHAOUIR	
67	" 263	22.4.70	MESSAOUDI MOHAMED	"	R.S.120	3+500	BLADAT KOU DIA	
68	" 295	18.3.76	ENT.SEFFIANI&LAAROUBI	"	5Km80 Nord RS.120	5+800	G'MIRSA	
69	" 285	6.10.73	" MAATOUF KHALIFA	"	SUD 1Km200 NORD	5+500	Dt. BRAHMA M'GHAOUIR	
70	" 278	19.5.72	CASTELLANO PAUL	"	SUD 5Km800 RS.120	5+600	" "	
71	" 228	26.4.61	STE ROVALE DE TRAV	"	KM12-RS.120	5+600	" "	
72	" 200	27.9.70	SOMATREX	"	5Km800 NORD "	5+600	" "	
73	" 254	25.6.66	JEAN CONTREIRAS	"	5Km600 R.S.120	5+600	Vers SEBT BG'ZOUA	
74	" 331	16.5.80	SAANANE DOU	"	5Km800 R.S.120	5+500	" "	
75	" 335	8.12.80	ESSABRY MAHJOUBA	"	CT.6511-allant à DJENAA SAHIM	70+000	DOUAR OULED KHAL-FAALLAH-DJENAA SAHIM	

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التجهيز والنقل
قسم التجهيزات الأساسية
مقياس الخريطة 1:500000

(20)

Legende

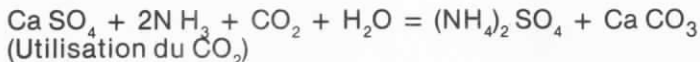
- Jurassique supérieur (calcaires, marnes, gypse)
- Gypse abondant (affleurant ou sub-affleurant)
- Sondage ayant atteint à 42m une couche de gypse de 42m de puissance
- carrière de gypse: mécanisée, artisanale.



D'après J.L. MAZEAS et M. NATAF in " LE GYPSE DE LA REGION DE SAFI "

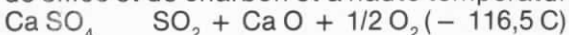
—Le Sulfate d'ammonium (engrais)

Il est produit par la réaction



—L'acide sulfurique :

A 180° C le Gypse transformé en Anhydre donne en présence de silice et de charbon et à haute température :



II.5. Les plâtres

Par cuisson et par paliers de température (130 à 135° C), on obtient **diverses qualités de plâtres**, utilisées dans le Génie Civil.

II.6. Le Gypse : Matériau routier ?

Comme il a été souligné précédemment (cf. 1, 5, 5,,), le Gypse **offre-t-il une alternative** comme matériau routier ?

Compte-tenu des éléments énoncés précédemment :

- possibilités limitées de la région en matériaux de qualités géotechniques satisfaisantes.
- prix élevés des matériaux de l'Oued Tensift
- hétérogénéité des carrières locales au Nord de Safi
- distances de transport importantes pour le traitement des voies de la partie Ouest (Chemaia, Sidi Tiji, etc...)
- trafic supporté peu élevé
- longueur importante à traiter, suivant des « aménagements économiques ».

Cette Alternative devait être envisagée et faire l'objet d'une étude approfondie, accompagnée d'essais sur des sections de routes afin de tester les possibilités offertes par cette solution moins onéreuse.

III• Les résultats partiels actuels

III.1. Position des problèmes

• Comme énoncé précédemment, les sols de fondation qui sont le plus souvent des argiles limoneuses ou des limons argileux et tireux se caractérisent par :

- une très grande sensibilité à l'eau ($I_p = 11$ à 28)
- de très faibles portances (C.B.R. = 3 à 7)

sont à l'origine des 2 principaux problèmes routiers :

—nécessité de mettre en place des couches de matériaux relativement épaisses pour un corps de chaussée, souvent peu circulé, mais devant néanmoins par ses qualités géotechniques :

- faire face à d'importantes déformations
- « suppléer » au sol de fondation très sensible à l'eau et de faible portance.
- mettre en place un matériau « miracle » pouvant assurer :
 - une liaison durable chaussée-accotement sans donner lieu rapidement à une dénivelée entre le bord de la chaussée et l'accotement.
 - une circulation « accidentelle » mais agressive sur les accotements, sans perte de matériaux, tout en assurant **un drainage** correct de la chaussée et de l'accotement lui-même.

• **La solution idéale** serait de mettre en place :

- une couche anti-contaminante
- une couche de forme
- un corps de chaussée approprié
- après « décaissement », des matériaux sélectionnés pour accotement suivant les structures du catalogue marocain des accotements.

• Le coût d'une telle solution serait **démessuré** en regard des services à assurer ; et des solutions moins onéreuses doivent être trouvées, **en fonction des matériaux disponibles** dans les régions.

• Dans cet ordre d'idée, la D.P.E. de Safi a exécuté sur la RP 12, entre les PK 26 + 000 et 41 + 000 des accotements de 2 à 2,5 m de large en Gypse résultants des déchets de carrières (gypse + marne) sous forme de macadam.

III.2. Les résultats partiels de la D.P.E. de Safi

Deux expériences ont été tentées sur les accotements de :

- la RP 12 du PK 26 au PK 41 $l = 15.000 \text{ m}$
- la RP 8 du PK 241 au PK 241 + 250 $l = 250 \text{ m}$

III.2.1. Traitement des accotements de la RP 12

a) Conditions d'essai

- dénivelée initiale de 10 à 20 cm entre bord de chaussée et accotement
- décapage pour désherbage sur quelques zones de très faible superficie (pas de réglage).
- transport et rapandage à la niveleuse **des déchets de carrières** de gypse de Sidi Tiji composés de :
 - éléments de 0 à 100 (gypse),
 - gangues (marnes) de couverture des carrières, (20 à 40 %)
 - réglage à la niveleuse,
 - compactage au cylindre lisse de 6 T, sans eau,

- période des travaux : Octobre, Novembre 1979 et 1980 :
 - Exécution après temps pluvieux
 - Température de 15° à 25° C.
- trafic 700 V/j

b) Résultats obtenus

Les résultats obtenus peuvent être appréciés comme suit :

- bonne liaison entre la chaussée et l'accotement, qui a permis d'éviter l'effritement irrégulier des bords du corps de chaussée et « l'habituelle » dénivelée.
- meilleure tenue de l'accotement, malgré quelques aspérités apparentes.
- bonne tenue face à la circulation muletière très importante dans cette zone :
 - Cette circulation animale est déportée vers l'accotement alors qu'avant traitement, la chaussée était empruntée par les charettes.
 - meilleure tenue que l'accotement en tuf, le gypse offrant une meilleure résistance aux sabots.
- peu de départ de matériau, l'action de l'érosion éolienne, importante sur les accotements en tufs, devient presque nulle sur les sections en gypse.
- très peu de départ de matériau du bord du talus du fossé.
- dépassements et croisements éventuels, avec passage sur l'accotement peuvent être effectués sans grand danger.
- économie très appréciable sur le coût de l'entretien des accotements.
- par **temps de brouillard**, le gypse blanc, marque pour l'usager, par contraste, la limite de la chaussée.
- le drainage de surface s'effectue facilement vers les fossés (un drainage par rêtes de poissons peut le rendre plus performant, même en profondeur).

III.2.2. Traitement des accotements de la RP 8

a) Les conditions d'essais :

- La section du PK 241 + 000 au PK 241 + 250 de la RP 8 ; est sujette à des **Submersions** fréquentes.
- Après la submersion du mois de **Décembre 1981** ; la circulation sur cet axe a été interrompue, et les **accotements emportés** par la crue ont été traités de la manière suivante :

- mise en place de blocage 0/100 de carrière sans compactage, $e = 30$ cm
- mise en œuvre de gypse, (déchets de carrière de Sidi Tiji) en 2 couches :
 - 1^{ère} couche de 10 à 15 cm, compactée au cylindre lisse, sans eau d'apport et sans réglage.
 - 2^{ème} couche de 15 à 20 cm, compactée sans eau, au cylindre lisse.
- couverture, jusqu'au niveau de la chaussée par une couche de T.V. de la carrière de Sidi Khlil (calcaire dolomitique) une épaisseur de 5 à 10 cm et compactage au cylindre lisse, sans eau d'apport.

- largeur d'accotement traitée 3,00 m.
- Trafic est estimé à 1.400 V/j avec 50 % de poids lourds.

b) Les résultats obtenus :

Les résultats obtenus sont encore plus satisfaisants sur ce tronçon en comparaison avec le tronçon traité de la RP 12. Cependant, le coût est plus élevé en raison des apports supplémentaires en blocage et T.V. de carrière ; et les résultats ne pourront être significatifs qu'après plusieurs années.

III.3. Expérience Algérienne

LES CHAUSSEES EN SABLES GYPSEUX DES ACCES AUX FORAGES PETROLIERS

Les éléments qui vont suivre ont été empruntés à une étude réalisée par : **M^r JOSE CARLOS de O.S. HORTA** parue dans la revue « Technica » (Revista de Engenharia) de l'Instituto Superior Tecnico à Lisbonne - Portugal .

4° Le gypse utilisé

Le sulfate de calcium s'hydrate et se cristallise dans le système monoclinique pour former le minéral appelé Gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

— Propriétés

- faible dureté : il est rayé à l'ongle,
- en présence d'eau :

$\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

(Anhydrite)
(Gypse)
- l'hydratation s'accompagne de **gonflement (30 à 50 %)**
- le gypse est soluble dans l'eau (quelques grammes par litres mais cette solubilité peut atteindre 7g/l en présence de 120 g/l de Na Cl dissous

—Conséquence pour l'utilisation des Sables Gypseux

Le sable gypseux n'est utilisable qu'en zone de faible pluviométrie (inférieure à 100 mm/an) et la teneur en eau peut être tenue inférieure à 5 % (absence de nappe phréatique).

—Provenance

Le sable gypseux utilisé semble provenir d'encroutements gypseux formés à différentes époques du quaternaire, par dépôt de gypse dans des sols à partir de nappe phréatique séléniteuse sables éoliens ou sédiments lacustres.

—Les sables gypseux au laboratoire

Il faut tenir compte :

- pour les encroutements « neufs », de la transformation de la grave, après compactage en sable.
- pour les encroutements « anciens », exposés à des infiltrations, extraction en sable.
- L'essai de laboratoire s'attachera à :
 - identifier les sables dont la teneur en gypse est supérieure à 70 %.
 - définir le C.B.R. (dans les conditions d'utilisation)
- réaliser des essais de compression simple (dans les conditions normales d'utilisation).

—Les sables gypseux sur chantier

- la **mise en œuvre** des sables n'a pas posé de problèmes particuliers :
 - Teneur en eau (P. Modifié) inférieure à 10 %
 - 2 couches superposées et compactées séparément, ne donnent pas lieu à une liaison entre elles.
 - Eviter l'imprégnation en présence de sel (Na Cl) (affinité NaCl et hydrocarbures), dont la proportion doit rester inférieure à 0,5 %.
 - Eviter l'imbibition partielle ou complète de la chaussée (faiénçage par perte de cohésion).
- Les chaussées en sable gypseux semblent avoir une rigidité qui les rapproche des chaussées **semi-rigides**.

—La Fissuration thermique et hygroscopique

L'exposition aux agents atmosphériques provoque après quelques années ; indépendamment du trafic :

- des fissures transversales qui progressent vers l'axe
- des fissures longitudinales

qui intéressent la couche de base et de roulement.

Cette fissuration semble liée à la fois aux conditions thermi-

ques et hygroscopiques et à l'équilibre Gypse et Anhydrite en présence :

En été :

- Température comprise entre 38 et 57 ° C.
- Faible humidité de l'air

ce qui entraîne l'instabilité du Gypse et produit des fissures, à partir des accotements en premier et ensuite vers l'axe, par suite de diminution de volume.

— Les Gonflements

Les gonflements sont dus à des mouvements d'eau qui dissout les fines gypseuses à certains niveaux et les déposent à d'autres niveaux, lors de l'évaporation.

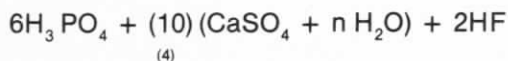
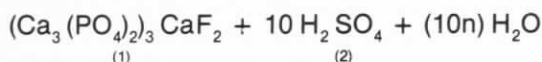
A la partie inférieure de la couche de base, se trouve une couche de quelques centimètres, enrichie en gypse, mais décompactée et très foisonnée, suite à la cristallisation des fines aiguilles, écartant les graines.

La solubilité du Gypse et sa force de cristallisation sont donc la cause directe de ces gonflements. La cause indirecte en est l'infiltration et les mouvements de l'eau dans la chaussée. On pourra éviter ces dégradations en agissant sur leurs causes directes.

III.4. Les phosphogypses

Le Phosphogypse ou Sulfate de Calcium (plus impuretés diverses) est le sous-produit obtenu après traitement du minerai de Phosphates par de l'Acide Sulfurique pour obtenir l'Acide Phosphorique nécessaire à l'industrie des Engrais.

III.4.1. Réaction



III.4.2. Proportions en poids (Tonnes)

4 T de Phosphates + 2,5 T Acide Sulfurique
donnent

1T d'Acide Phosphorique + 5 T de Phosphogypse

le tonnage de Phosphogypse produit est supérieur au tonnage de Phosphate introduit.

Les procédés de traitement du Phosphate naturel avec comme valeurs de n (voir réaction) : 2 (di), 1/1 (hemi) ou 0 anhydraté.

donnent des concentrations d'acide de 30 à 65 %.

Ce sous-produit industriel résultant de la production des Industries Chimiques de Safi et rejeté actuellement à la mer peut être estimé à 5.000.000 T et son éventuelle réalisation devrait être envisagée.

III.4.3 Utilisation éventuelle des Phosphogypses

A—En France

a) En France, où la production de Phosphogypse est aussi très importante et concentrée en Bassein les rejets en rivières, puis en mer, ont provoqué de vives réactions notamment du secteur des pêches maritimes.

—Un programme d'essai et de recherches pour l'utilisation de ce sous-produit :

- en remblai (routier, portuaire etc...)
- dans les assises de chaussées traitées aux liants hydrauliques ou ponzzolanique (laitiers granulés ou cendres volantes)
- pour la fabrication d'un « phosphociment », à partir du granulé moulu, de phosphogypse et de soude ou de chaux.

—Un programme d'essai et de recherches d'utilisation phosphogypse en terrassement :

- Le programme de recherches a porté sur :
 - la définition des caractéristiques géotechniques du phosphogypse et de sa compressibilité
 - l'étude d'un terri et d'un remblai expérimental
- Une expérimentation est effectuée pour :
 - l'utilisation du Phosphogypse en accotement
- traitement du Phosphogypse au ciment pour une réutilisation en couche de forme.

b) Les résultats des essais et des études en laboratoire ont été groupés dans le Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées n° Spécial VII de Novembre 1978 et les conclusions provisoires montrent que, moyennant un certain nombre de précautions de mise en œuvre, de teneur en eau et de dispositions de géométrie, le phosphogypse peut être employé tant en assises, en accotements routiers, qu'en remblai de hauteur importante.

B—Au Maroc

Les Industries Chimiques de Safi, après traitement des Phosphates naturels de Youssoufia ; le Phosphogypse résultant de la fabrication de l'Acide Phosphorique, est directement rejeté en mer.

Les qualités de Phosphogypse produites atteignent annuellement 5.000.000 T et le tonnage est en progression annuelle de 10 à 20 %.

IV• Les Campagnes d'essais 83-84

Suite aux expériences tentées pour l'utilisation du Gypse, pour le rechargement et la stabilisation des accotements des :

RP 12 : section Bouguedra - Sidi Tiji

RP 8 : section PK 241 au PK 241 + 250

La D.P.E. de Safi se propose, après accord, de M^r le Directeur des Routes et de la Circulation Routière, de procéder à la nouveaux essais, pour tester les possibilités qui pourraient être offertes par l'utilisation du Gypse en tant que matériau routier.

Cette campagne d'essais sera menée par la D.P.E. de Safi et le C.N.E.R. avec la collaboration du L.P.E.E. de Casablanca et la mise en œuvre des planches d'essais sera assurée par la Société C.T.R.A.

Les programmes établis devraient permettre d'assurer :

—Un choix judicieux des sections à tester :

- Proximité des affleurements
- trafic connu
- sols de fondations représentatifs

—Un planning des essais dans le temps et dans l'espace qui permettent.

- la détermination des caractéristiques des sols avant les essais.
- le suivi de :
 - la mise en œuvre
 - les prises des mesure et des échantillons
 - le dépouillement et l'exploitation rationnelle des résultats

1—Les itinéraires et les sections choisies :

Les itinéraires et les sections choisies sont les suivants :

—C.T. 6.511

Sidi Tiji - Khemis N'ga : PK 0 + 050 - PK 0 + 450 (400 ml)
Trafic = 150 à 200 V/j

—RS120

Safi - Sebt G'zoula : PK 10 + 300 - PK 10 + 600 (300 ml)
Trafic = 1.200 à 1.600 V/j

2—Les sections et les essais programmés :

Les essais programmés et les sections concernées sont reportés sur les tableaux suivants :

- C.T. 6511 : TABLEAU DES SECTIONS D'ESSAI -

SECTIONS	E S S A I S				OBSERVATIONS
	C. FONDATION	C. B A S E	ACCOTEMENTS	T A L U S	
m	L m	Matériaux et épais- seurs	L 3 m Matériaux et épais- seurs	L 4 Traitement	
200m	L		25 GYPSE	25	.
			25 GYPSE	25	.
			25 GYPSE+ CUT-BACK	25	+ C.B.
	200	GYPSE 0/40 concassé	25 GYPSE+ CUT-BACK	25	+ C.B.
			25 GYPSE + TUF		.
			25 GYPSE+TUF+C.B.		+ C.B.
200m			25 GYPSE+TUF+C.B.		+ C.B.
			33 GYPSE + MARNE	33	.
	200	GYPSE 0/40..80%	33 GYPSE + MARNE	33	.
		MARNE.....20%	33 GYPSE+MARNE+C.B.	33	.
			33 GYPSE+MARNE+C.B.	33	G+M+C.B.
			33 GYPSE+MARNE+TUF	33	.
200m			33 GYPSE+MARNE+TUF		.
			33 GYPSE (0/100)+M		
			33 "		
			33 G(0/100)+M+C.B.		
	200	GYPSE 0/100:80%	33 "		
		MARNE.....:20%	33 G(0/100)+M+TUF		
200m			33 G(0/100)+M+TUF		
	200m	SECTION " TEMOIN "	100m GYPSE (0/100)		.
		(BASE = G.N.B)	50 m GYPSE (0/100)+C.B.		.
			50 m GYPSE(0/100)+C.B.		GYPSE(0/100)+C.B.

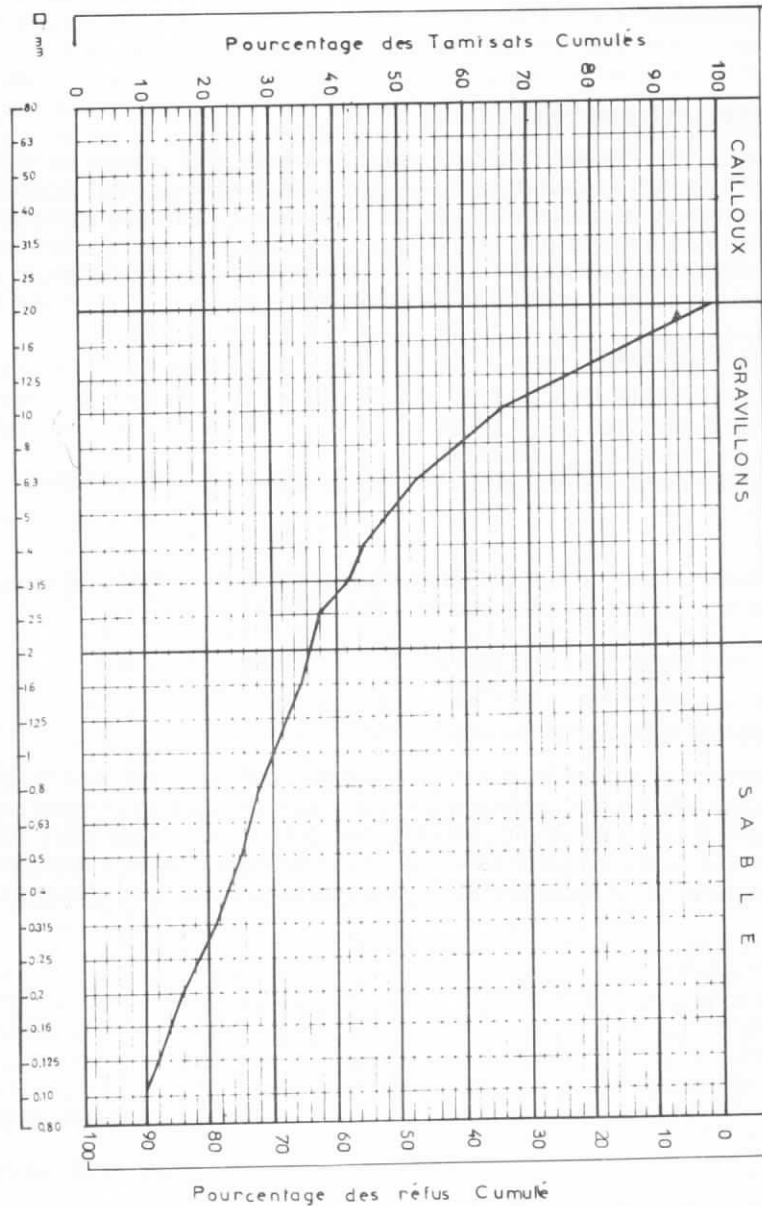
- R.S. 120 : TABLEAU DES SECTIONS D'ESSAIS -

SECTIONS	E S S A I S					OBSERVATIONS	
	C. FONDATION	C. B A S E		ACCOTEMENTS			T A L U S
		L _m	Matériaux et épais.	L _m	Matériaux et épais. L4		
m							
200m	G.N.F.	50m	GYPSE(0/40) +MARNE 80% 20%	25	GYPSE + MARNE	25	
		50m	GYPSE(0/40) +M+CHAUX	25	GYPSE + MARNE	25	
				25	G+M+C+C.B.	25 + C.B.	
		50m	G (0/100) + MARNE 80% 20%	25	G+M+C+CUT-BACK	25 + C.B.	
				25	G + M +TUF	25	
		50	G(0/100) +M+CHAUX	25	G + M +TUF	25	
50	G(0/100) +MARNE			25	G+M+C+CUT-BACK	25 + C.B.	
				25	G+M+C+CUT-BACK	25 + C.B.	
50	G(0/100) +MARNE	100m	G.N.B.	50	GYPSE+MARNE	50	
50	G(0/100) +M+CH.			50	GYPSE+MARNE+C.B.	25 + C.B.	

Gypse 0/20

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Fig N°2

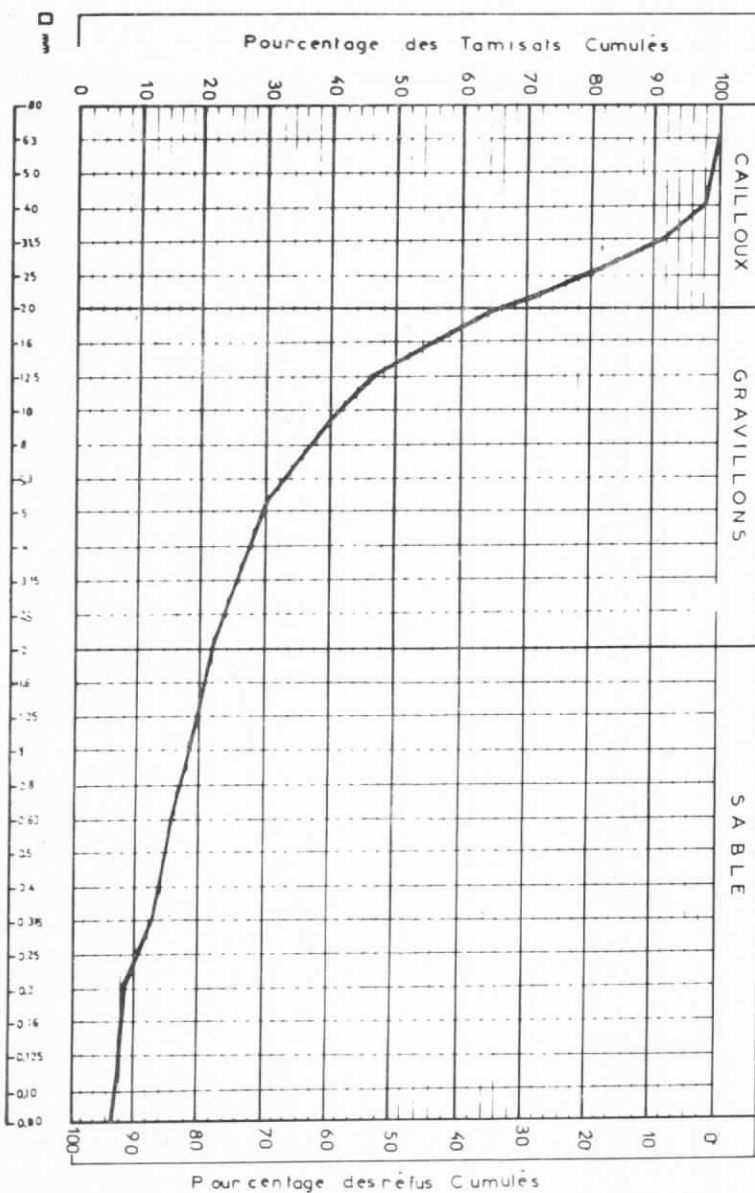


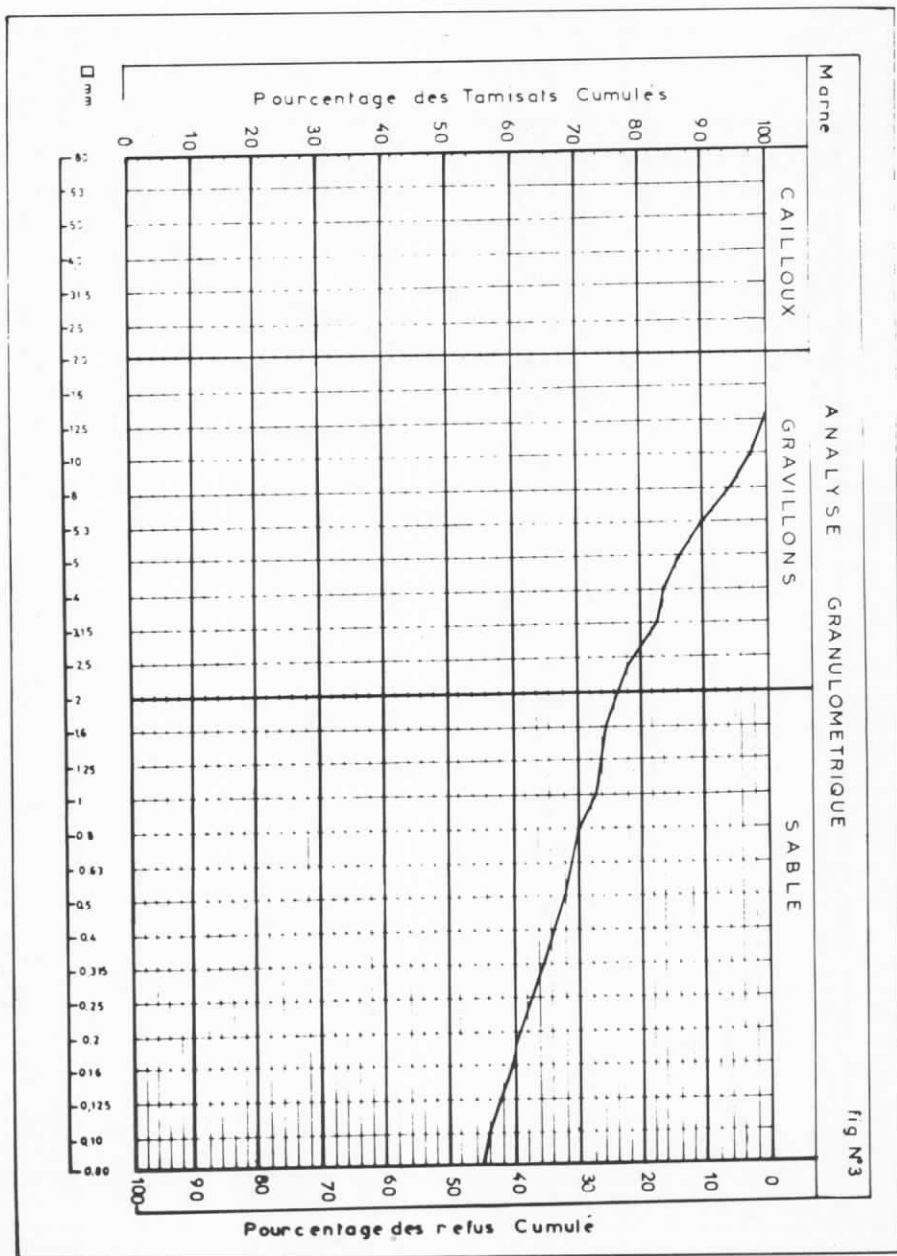
Gypse 0/40

ANALYSE

GRANULOMETRIQUE

fig N° 1





COURBE GRANULOMETRIQUE CHAUX

Fig N 4

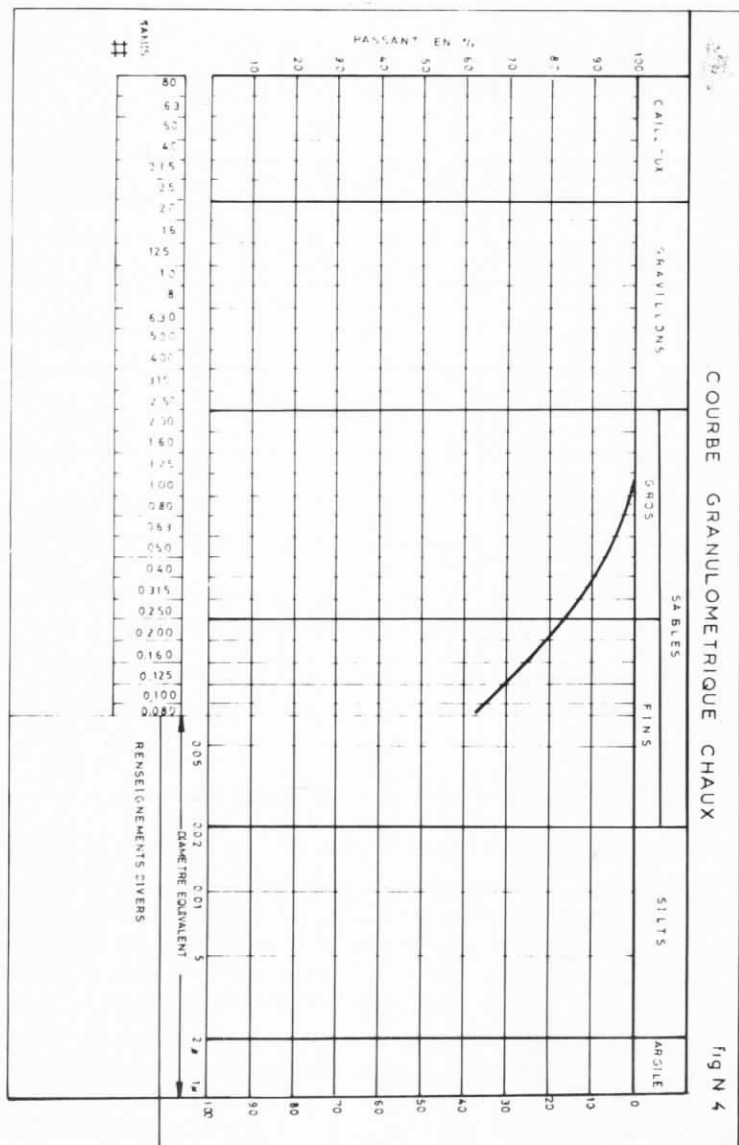


Tableau récapitulatif :

NATURES DES MATERIAUX	MAXIMA PROCTOR POIDS VOLUMETRIQUE SEC EN T/m ³	TENEURS EN EAU OPTIMALES EN %
GYPSE	2004	4,50
MARNE	1854	13,40
80% GYPSE - 20% MARNE	2028	6,50
60% GYPSE - 40% MARNE	1973	7,80
80% GYPSE - 20% MARNE + 4% CHAUX	1945	7,22
60% GYPSE - 40% MARNE + 4% CHAUX	1887	7,94

Après examen des courbes Proctor l'on peut constater que :

- le gypse seul et le mélange gypse 80 %, marne 20 % obtiennent pratiquement un P.V.S. du même ordre de grandeur, et qu'il est normal que le mélange nécessite un peu plus d'eau.
- pour le mélange gypse 60 % et marne 40 % le P.V.S. diminue et la teneur en eau augmente, ce qui est logique.

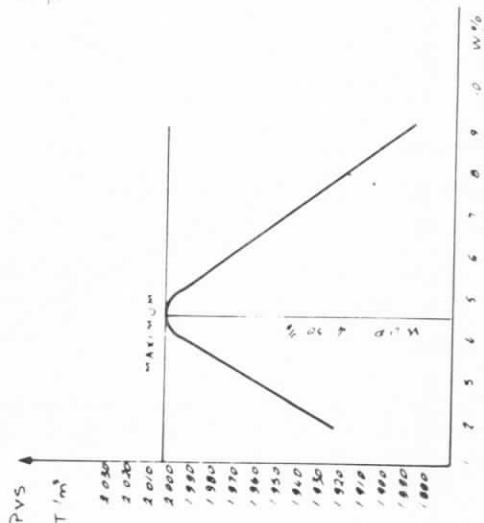
Pour les mélanges avec ajout de 4 % de chaux, la chute de densité est d'autant plus marquée que le pourcentage de marne est élevé, cette chute de densité résulte de l'effet de la chaux sur l'argile, ce phénomène est connu et n'appelle pas de commentaires particuliers.

L'ensemble des résultats est cohérent, remarquons cependant que si les P.V.S. du gypse et du mélange 80 % gypse et 20 %

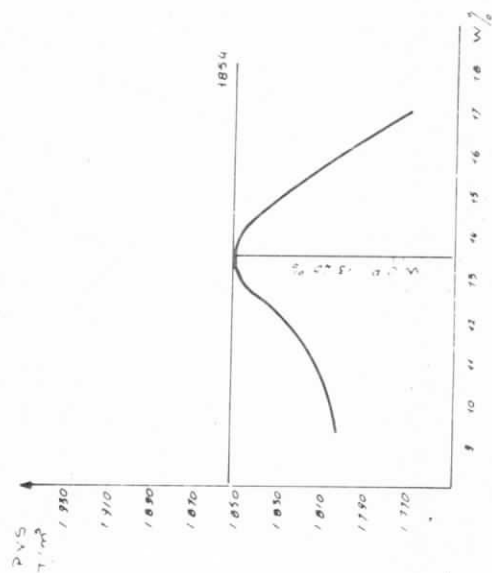
marne sont similaires, l'on peut néanmoins supposer que le mélange sera en pratique plus fermé et plus imperméable à l'eau.

Courbe PVS - w₀ %

Giosz

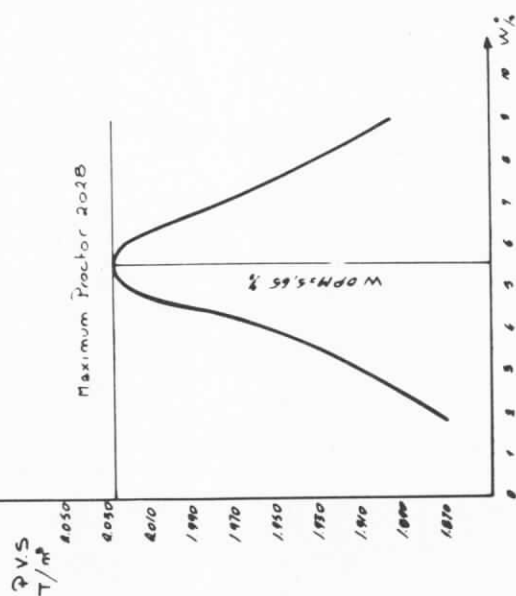


Marne

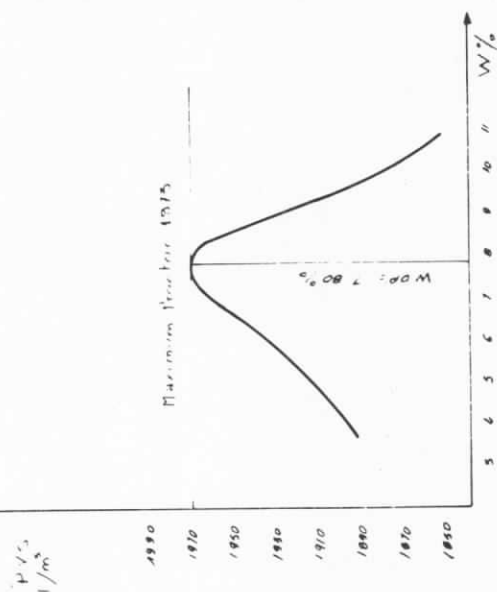


Courbe Proctor Modified

Melange 80% Gypse 20% Marnes

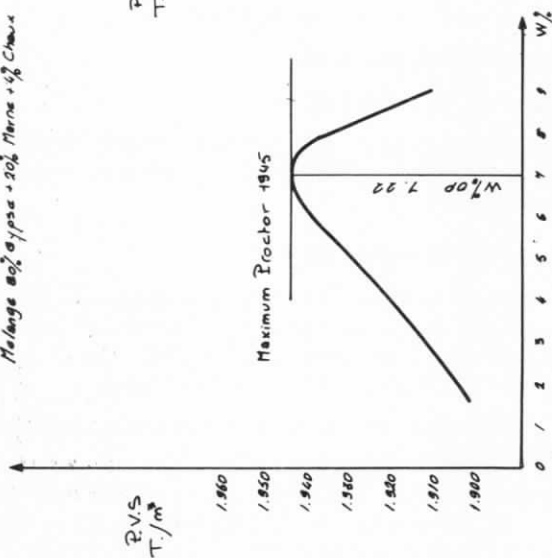


Melange 60% Gypse 40% Marnes

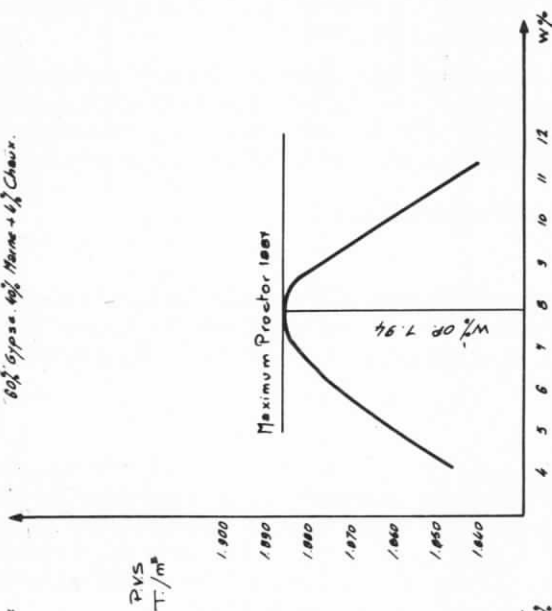


Gourbe Proctor Modifié

Melange 80% gypse + 20% Marne + 0% Chaux



80% gypse + 60% Marne + 6% Chaux



I.4. Essais de gonflement

Afin de faciliter l'examen des résultats d'essais nous divisons ceux-ci en 3 groupes distincts :

- 1—les essais sur les matériaux de base initiaux gypse et marne
- 2—les essais sur les matériaux en mélange gypse et marne
- 3—les essais sur les matériaux en mélange gypse - marne mais avec en plus un ajout de 4 % de chaux.

Groupe I : Matériaux initiaux :

Marne :

La marne seule après un minimum de 4 jours d'immersion gonfle considérablement ; seuil maximum est de l'ordre de 2 cm pour une éprouvette C.B.R. ce produit rentre dans la catégorie des sols très gonflants.

Gypse :

Le gypse seul fait preuve d'un gonflement qui peut être considéré comme faible de l'ordre du 0,5 mm sur éprouvette C.B.R. après saturation complète (voir tableau récapitulatif des mesures de gonflement) soit le cas le plus défavorable qui puisse se présenter. Ce matériau ne devrait pas poser de problèmes particuliers du moins en ce qui concerne le gonflement.

Groupe II : Mélange Gypse Marne :

Mélange gypse 80 % marne 40 % :

On constate en gros que le gonflement est similaire pour l'essai gypse seul (comparer les essais à 28 jours d'immersion gypse seul et gypse marne 80 %, 20 %).

Mélange gypse 60 % marne 40 % :

L'influence de la marne est très affirmée, elle apparaît de façon nette déjà après 4 jours et s'accroît après 28 jours d'imbibition, ce mélange devient dangereux à utiliser car il est susceptible d'être cause de désordres sur le plan gonflement.

Groupe III : Mélange Gypse Marne plus chaux dosée à 4 % du mélange :

La démarche suivie est légèrement différente, en effet, il faut disjoindre l'effet immédiat de la stabilisation à la chaux de l'effet à moyen et long terme, résultant des réactions des phénomènes de durcissement dans le temps.

C'est pourquoi nous avons effectué des essais de gonflement non seulement directement après la fabrication, mais aussi après une conservation d'une durée de 28 jours à température ambiante

de 25° à peu près. Ce délai nous permet déjà d'observer l'influence du processus de « cimentation » dû à la présence de la chaux.

Mélange 80 % gypse 20 % marne et 4 % chaux :

Si directement après la fabrication l'influence de la chaux sur le gonflement est à considérer comme nulle et comparable aux essais effectués sans ajout de chaux, il n'en est pas de même si l'on mesure les gonflements après un délai de 28 jours de conservations ; l'effet de la « cimentation » de la chaux est spectaculaire, le gonflement est nul, le processus de solidification est très avancé, il est vraisemblable que la composition chimique des matériaux mis en présence explique cette réaction ; d'autres essais décrits dans un paragraphe suivant confirment cette observation.

Mélange 60 % gypse 40 % marne et 4 % chaux :

L'influence de la marne subsiste encore, après durcissement de 28 jours, le gonflement est très faible.

I.5. Examen des résultats C.B.R.

Note préliminaire :

Il convient d'attirer l'attention sur le fait que des valeurs C.B.R. extrêmement élevées perdent toute signification en tant que telles ; et c'est d'autant plus vrai quand la lecture à 5 mm est possible ; en pratique cela veut dire que le matériau se comporte au moment de l'essai comme un solide dans lequel un poinçonnement est impossible à réaliser.

Ces cas vont se rencontrer lors de ces essais, ce n'est pas une raison pour les négliger et ne pas en tenir compte car en soi ce comportement est une indication significative.

Groupe I : Matériaux initiaux :

Gypse :

Les valeurs C.B.R. sont très élevées et se situent à la limite de la perte de signification en ce qui concerne l'essai directement exécuté après fabrication, la diminution décroissante des valeurs obtenues après des séjours respectifs de 4 et 28 jours sous eau est logique, il faut cependant noter que les valeurs absolues restent très élevées, la portance, même dans des conditions sévères reste excellente, le problème qui subsiste reste le comportement dans le temps.

Marne :

Si à la teneur en eau optimale (essais directement après la fabrication de l'éprouvette) la valeur C.B.R. est bonne, cette valeur tombe pratiquement à zéro après un séjour dans l'eau, dans ce cas un séjour d'une durée de 4 jours suffit. Ce comportement est normal pour une argile. Ce matériau pris isolément à l'état pur est bien sûr à rejeter pour toutes utilisations routières.

Groupe II : Matériaux en mélange :

Mélange de 80 % gypse 20 % marne :

La valeur obtenue directement après la fabrication est bonne, un séjour de 4 à 28 jours sous eau n'apporte pas de sensible modification de la valeur initiale, notons cependant qu'après 4 jours et 28 jours sous eau l'enfoncement à 5 mm est possible, l'influence de la marne est faible, à ce dosage le mélange témoigne d'une bonne tenue à l'eau et de valeurs C.B.R. relativement élevées.

Mélange 60 % gypse 40 % marne

La valeur initiale (essai direct) est bonne, mais après un séjour de 4 et 28 jours à l'eau l'influence de la marne est clairement perceptible, le seuil de la quantité de marne admissible est considéré

comme dépassé, par conséquent le mélange ne sera pas retenu pour une planche d'essais.

Groupe III : Mélange + 4 % de chaux :

Note :

A première vue il semble que l'ajout de chaux, pour autant qu'un délai de surcissement suive la fabrication, crée un processus de solidification assez spectaculaire, ceci étant dû vraisemblablement à une réaction gypse - chaux - marne particulièrement active, il est évident aussi que la grande partie de la réaction se fait entre argile et chaux, l'ensemble de ces réactions est donc particulièrement complexe.

80 % gypse 20 % marne + 4 % de chaux :

Les mêmes remarques que précédemment sont d'application pour ce mélange, le fort pourcentage de marne incite cependant à manifester des réserves.

Commentaire Général sur les résultats C.B.R. et leurs conclusions :

La solution la plus sécurisante et la plus économique, quant à l'utilisation de ce matériau en technique routière semble être le mélange 80 % gypse + 20 % marne.

Les mélanges gypse-marne + chaux ouvrent de belles perspectives, mais cette solution est pour le moment écartée pour les raisons techniques et financières et à cause de l'absence d'une chaux de fabrication industrielle dans la région. Il semble que c'est cependant dans cette voie que les investigations devraient être poursuivies quelques essais ont été programmés dans cette voie.

/ TABLEAU RÉCAPITULATIF DES ESSAIS C.B.R. /

Type d'Essais	Renforcement à :	GROUPE I		GROUPE II		GROUPE III	
		Marne	Gypse	Mélange 80% G 20% M	Mélange 60% G 40% M	Mélange 80% G 20% M + 4 % chaux.	Mélange 60% G 40% M + 4 % chaux.
Immédiatement après la fabrication.	2,5 mm 5 mm	101 98	214 .	96 114	100 113	186 .	204 .
4 jours imbibition après la fabrication.	2,5 mm 5 mm	0,19 0,25	189 .	77 98	69 78	233 .	229 .
28 jours imbibition après la fabrication.	2,5 mm 5 mm		110 126	86 113	33 44		
28 jours de conserva- tion + 4 jours imbibition.	2,5 mm 5 mm					.	214 .
28 jours de conserva- tion + 28 jours imbibition.	2,5 mm 5 mm					.	250 .
G : Gypse. M : Marne. . : Essais rendus impossible du fait de la dureté du matériau.							

I.6. Essais d'imprégnation :

Dans le cas d'une G.N.A. ou G.N.B. conventionnelle, le pouvoir d'accrochage d'une émulsion acide de bitume ou d'un cut back, est parfaitement connu par les praticiens et la mise en œuvre bien codifiée. Il nous a semblé intéressant, bien que de façon sommaire, de procéder à l'examen de l'efficacité d'une imprégnation, soit par émulsion de bitume soit par cut back sur un gypse et un mélange gypse 80 % marne 20 % compacté à l'O.P.M.

Mode opératoire utilisé :

Les matériaux sont compactés dans des moules C.B.R. qui peuvent se séparer en 2 parites :

- l'émulsion a été dosée à 1,400 kg/m²
- le cut back a été dosé à 1,400 km/m²

Les produits sont soigneusement et régulièrement répartis sur la surface des éprouvettes.

Les éprouvettes sont alors exposées à l'air (soleil) durant 3 jours. Ensuite elles sont placées sous eau de telle manière que l'eau pénètre dans le corps de l'échantillon par la base.

Après 8 jours (*) les éprouvettes sont sorties de l'eau et chaque éprouvette est séparée en deux parties, l'on obtient 2 coupes de l'échantillon.

Sur une demi éprouvette l'on observe l'aspect et la profondeur de la pénétration, sur l'autre à l'aide d'une spatule l'on examine l'accrochage (**).

Commentaire des examens :

Au vu des examens l'on constate de façon très nette que l'émulsion présente un manque d'efficacité, l'imprégnation est quasi nulle et le bitume résiduel s'enlève sous forme d'une couche mince sans adhérence ceci étant valable pour les deux types de matériaux.

Par contre l'on peut dire que l'imprégnation au cut back donne des résultats satisfaisants. L'on doit donc rejeter toute imprégnation ou traitement à l'émulsion de bitume pour ce genre de matériaux, il peut également, mais ce n'est qu'une hypothèse, se produire des réactions défavorables entre la poussière de gypse et l'émulsion celle-ci étant légèrement acide.

L'on peut considérer que le cut back donne satisfaction et qu'il y a intérêt à le surdoser légèrement et qu'une attention toute particulière doit être apportée sur le chantier à ce stade d'exécution.

(*) : durée variable en fonction du degré de saturation de l'éprouvette

(**) : cette méthode assez sommaire, est susceptible d'amélioration.

I.7. Résultats d'essais de compression simple sur éprouvettes Anglaises :

Une petite étude complémentaire a été faite dans l'intention de cerner les mécanismes de réaction d'une chaux sur les deux mélanges gypse-marne étudiés dans la première phase, la chaux étant dosée à 4 % par rapport au mélange, la granulométrie des composants étant ramenée à 5 mm maximum.

L'étude consiste à fabriquer des éprouvettes anglaises à densité et teneur en eau optimale Proctor modifié, celles-ci sont ensuite écrasées en compression simple à respectivement, 0 jours / 1 jours 28 jours de conservation sous parafine à température ambiante, d'autres éprouvettes sont écrasées après avoir été conservées durant 1 et 28 jours plus un séjour dans l'eau de 4 jours, chaque lecture sur le diagramme représente la moyenne de 10 éprouvettes.

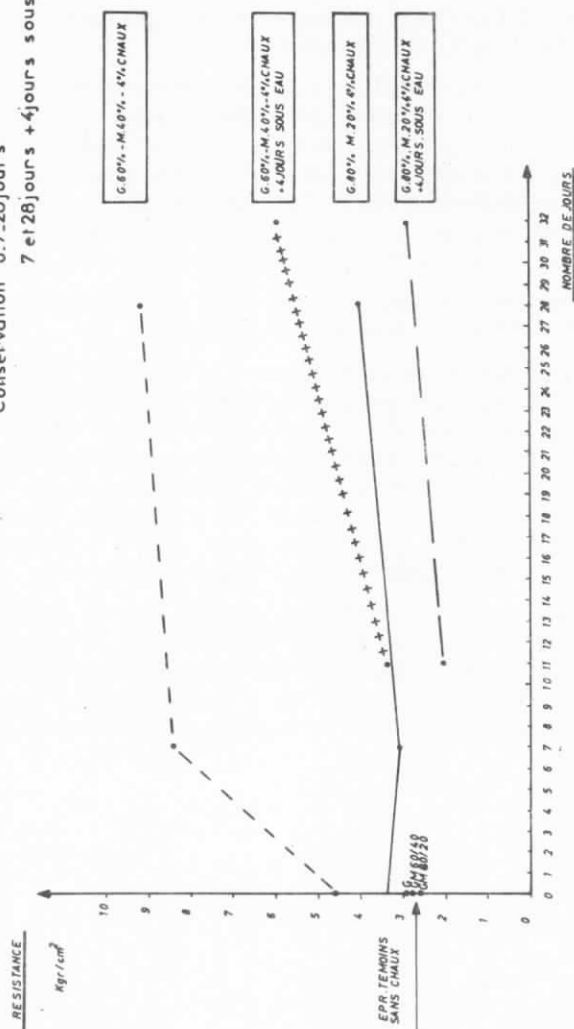
L'examen des résultats reportés sur le diagramme en annexe permet de tirer les conclusions suivantes :

L'influence de la stabilisation à la chaux apparaît clairement, elle est plus marquée avec le mélange comportant le plus de marne (40 %) ce qui ouvre des perspectives très intéressantes, mais demande vérification sous forme de sections d'essais en grandeur nature, la réaction finale n'étant certainement pas identique avec des granulométries différentes et des mélanges sur chantier, d'autre part un seul pourcentage de chaux a été testé ce qui est insuffisant dans le cadre d'une étude approfondie.

Il convient également de souligner la très bonne tenue à l'eau des éprouvettes et noter que l'influence de l'âge (durée de durcissement) est prépondérante, ce qui en pratique entraînerait la programmation de ce genre de chantier après l'hiver (saison des pluies) de façon à favoriser au maximum la période de durcissement.

Compression simple sur éprouvettes anglaises dosées à 4% de chaux

Conservation 0.7-28 jours
7 et 28 jours + 4 jours sous eau



G. Gypse
M. Marne

I.8. Conclusions générales :

La sélection des matériaux à tester sur chantier se porte sur du gypse et un mélange gypse 80 % marne 20 %. Les résultats de gonflement et C.B.R. convergent dans ce sens. C'est un résultat intéressant compte tenu du fait qu'en carrière le gypse est obligatoirement mélangé avec une faible proportion de marne. L'utilisation de ce mélange en technique routière reviendrait beaucoup moins chère que le gypse pur, ne nécessitant aucun tri en carrière. Néanmoins les essais démontrent qu'une teneur en marne trop élevée aurait une influence défavorable à la fois sur le gonflement et sur les résultats C.B.R., tout particulièrement dans le cas d'une saturation du matériau. A titre d'exemple l'on constate qu'en passant de 20 % de marne à 40 % les résultats C.B.R. après 28 jours d'immersion accusent une chute d'environ 2/3.

Comme on sait, l'ennemi principal du gypse est l'eau, d'après la documentation que nous possédons, les chaussées en sable gypseux dans le Sahara ont des durées de vie de 10 à 20 ans, ceci malgré les fissurations très fréquentes, mais qui ne portent pas atteinte à la portance de la chaussée, les précipitations étant inférieures à 100 mm dans ces régions. Les endroits les plus dégradés coïncident avec des points d'eau, des palmeraies, ou des régions où la nappe phréatique est peu profonde. En effet à ces points bas humides il se forme des faiencages et des flaches sous l'effet du trafic. Ces dégradations s'expliquent par une perte de cohésion des assises due à la dissolution du gypse. Ceci n'est d'ailleurs pas en contradiction avec les essais de laboratoire où l'on sait que les éprouvettes composées d'un mélange à forte proportion de gypse, se délitent sous l'imbibition prolongée. En ce qui concerne le mélange gypse marne (0/40) et (0/100) que l'on expérimente, il devrait être moins sensible à l'eau que les sables gypseux, les surfaces spécifiques étant beaucoup plus faibles, la solubilité du gypse est du coup plus faible aussi. La précaution que l'on prend pour des chaussées réalisées avec un tel matériau c'est de les construire en léger remblai, de telle sorte qu'elles puissent évacuer rapidement les eaux de surface lors d'un orage, le drainage devant être particulièrement bien soigné.

Des perspectives intéressantes existent dans le domaine de la stabilisation à la chaux du mélange gypse marne, qui devrait supporter des trafics plus importants. En effet les valeurs C.B.R. sont très fortes, l'enfoncement est dans la plupart des cas impossible, le matériau stabilisé devenant trop dur ; le gonflement est nul et les résistances à la compression, simples sur les passants à 5 mm pour un mélange gypse 80 % + marne 20 % + 4 %, se situent aux environs de 4 bars, après imbibition de 28 jours.

IL faut surtout rappeler que l'ennemi de ce matériau est l'eau

et qu'avec un ajout de chaux et après un vieillissement, ces éprouvettes restent intactes. Donc contrairement au mélange sans chaux précédent, celle-ci devient pratiquement insensible à l'eau.

Donc à notre sens, les meilleurs résultats tirés de l'étude de laboratoire, c'est que la mélange gypse-marne stabilisé à la chaux serait peut être la solution pour la construction de nouvelles routes dans ces régions pour des trafics déjà plus importants.

Il faut signaler que les mélanges gypse-marne ont déjà été testés par la D.P.E. de Safi sur les accotements de la RP 12 et se sont bien comportés mis à part quelques érosions en surface ; des pistes servant à l'évacuation du gypse de carrière ont également été réalisées avec un tout-venant de gypse et ont eu un bon comportement dans le temps offrant une bonne surface de roulement.

II • Programme des experimentations
sur les :

- C.T. 6.511
- RS 120

II.1. Introduction

Cette expérimentation se fera sur le C.T. 6.511, actuellement c'est une route à l'état de piste qui relie la RP 12 et le douar Hnichatt du PK 0 au PK 10.

Cette route a fait l'objet l'objet d'une étude du L.P.E.E. qui a préconisé pour son dimensionnement une structure de RS + 20 G.N.B. Vu la qualité moins bonne du gypse dans toutes nos expérimentations de ce matériau en couche de base, on a prévu une épaisseur de 30 cm de gypse ou gypse marneux.

A la suite des résultats de laboratoire obtenus sur le gypse et les mélanges gypse-marneux, nous avons retenu pour l'expérimentation de gypse seul et le mélange gypse 80 % et marneux 20 %.

Ces matériaux ont eu les C.B.R. très élevés même après 28 jours d'imbibition sous eau et des gonflements très faibles également après 28 jours sous eau. Les essais à la compression simple sont corrects. C'est ainsi que nous avons proposé de réaliser différents tronçons expérimentaux de 200 m de long chacun dans lesquels ces matériaux sont testés en couche de base et en accotements.

Dans ces derniers il a été proposé de tester soit du gypse pur (G), soit un mélange gypse marneux, soit du gypse surmonté de tuf, soit enfin un mélange gypse marneux surmonté de tuf, dans certains tronçons une imprégnation au cut-back a été prévue.

II.2. Données de base

A—Présentation générale :

Le tracé reconnu en l'absence de plans détaillés est celui de la piste existante. Jusqu'au PK 2 + 200, zone qui nous intéresse pour l'expérimentation, la route possède une plateforme de 10 m avec une couche de roulement en calcaire gypseux.

B—Topographie

Le tracé au point de vue topographique du PK 0 au PK 2 + 200 se déroule sur une plaine très plate et la route est au niveau du terrain naturel avec de très faibles déblais ou remblais n'excédant par 1 m.

C—Géologie

Le début de ce tracé qui nous intéresse se déroule sur les limons rouges superficiels et les limons inférieurs du plateau des Doukkalas

Climatologie - végétation

Les précipitations annuelles moyennes de la région de Safi sont légèrement supérieures à 300 mm qui est la limite entre les zones arides et non arides.

C'est une donnée importante, en effet la faible pluviométrie et le faible trafic que devra supporter cette route, font que le gypse, bien qu'il ait des caractéristiques mécaniques médiocres, ne devrait pas poser de problèmes pour la tenue de cette route.

Trafic

Dans son étude pour le dimensionnement de la chaussée traditionnelle, le L.P.E.E. a opté pour un trafic T_4 pour l'année de mise en service soit entre 50 et 200 véhicules/jours. On peut constater que sur le début du tracé PK 0 au PK 3 environ la route sert à l'évacuation des matériaux gypseux extraits en carrière, donc pour la plupart, des poids lourds ; au delà du PK 3, le trafic ne peut être que celui de desserte locale des douars.

Sols de plateforme :

Pour la partie qui nous intéresse, soit le début du tracé, le sol est un limon brun à marron, qui est fin classé Ap-Lp (argile en plastique ou limon peu plastique) il est classé 52 dans la classification du C.S.T.C.N.

Il a 60 % d'éléments inférieurs à 80 microns et un indice de plasticité moyen ($I_p = 10$).

Les résultats obtenus sur ces limons pour des essais proctor et C.B.R. sont les suivants :

S O L S	ESSAIS PROCTOR		CBR 0 95% DE L'OPN
	T/m ³	WOPT %	
LIMONS BRUN A MARRON	1,96	12	15

II.3. Programme

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 accotements en gypse 0/40 concassé.

(voir schéma de l'implantation) (voir fig. a)

Ce programme comprend, comme nous le verrons par la suite, différentes expérimentations sur les accotements de ces 4 sections.

Remarques :

Pour un trafic T_4 et un sol variant de S_2 à S_4 , le catalogue des structures prévoit en zone aride RS + 20 G.N.B.

Donc il ne prévoit pas de couche de fondation, c'est ce qui a été préconisé par le L.P.E.E. pour la chaussée conventionnelle initialement prévue ; donc la couche de base reposera directement sur l'assise compactée.

Section 1 : Gypse 0/40 :

C'est une section de 200 m de long, dans laquelle la couche de base sera réalisée en gypse pur 0/40 concassé sur une épaisseur de 30 cm (voir fig. b)

La densité O.P.M. obtenue au laboratoire servira de guide compte tenu des conditions différentes sur chantier. De toutes les façons la densité et l'atelier de compactage sera décidé à la suite de la planche d'essai prévue en début de chantier. Une imprégnation de la couche de base au cut back à raison de 1,4 km/m².

Il est prévu avant la mise en œuvre de la couche de roulement par un bicouche.

En ce qui concerne les accotements de cette section, les premières 100 m seront réalisés de part et d'autre de la chaussée en gypse 0/40 dont 50 m seront imprégnés au cut-back. Les autres 100 m ; dont 50 m également seront imprégnés au cut-back.

Les tufs auront les caractéristiques suivantes :

Ip supérieur à 12 et après compactage on doit obtenir au minimum 20 % d'éléments supérieurs à 80 microns.

Section 2 : Couche de base en mélange artificiel gypse concassé 0/40 80 % et mare 20 %

La couche de base de cette section de 200 m également est prévue en mélange de gypse concassé 80 % et de marne 20 % sur une épaisseur de 30 cm. (voir fig. c)

La densité à atteindre sera fixée lors de la planche d'essai, celle obtenue à l'O.P.M. au laboratoire servira de guide. Une imprégnation au cut-back à raison de 1,6 km/m² est prévue avant la mise en œuvre d'un bicouche.

Pour les accotements de cette section il est prévu du gypse marneux comme celui de la couche de base sur 30 cm également et sur les 2/3 de la longueur dont la moitié sera imprégnée au back.

Pour le 1/3 qui reste, il est prévu du gypse marneux surmonté de 10 cm de tuf de part et d'autre de la chaussée. Les deux matériaux gypse et marne sont amenés sur le lieu de mise en œuvre de façon séparée dans les proportions adéquates.

Section 3 : Couche de base en mélange naturel de gypse 0/1 80 % et marne 20 %

Le programme de cette section est exactement celui de la 2^{ème} section. La seule différence c'est que les matériaux ne sont plus amenés séparément et mélangés sur place mais le mélange gypse marneux de cette section est celui de la carrière à l'état naturel qui a été concassé pour obtenir du 0/100. En effet il faut rappeler que le front de taille en carrière est constitué de gypse pur alterné par des couches de marne, donc le matériau livré en carrière est un mélange de gypse et de marne (voir fig. d).

On tentera pour ce matériau d'obtenir approximativement 80 % de gypse et 20 % de marne contrairement à la section précédente où les proportions sont fixés sur le chantier.

Section 4 : Chaussée traditionnelle accotements en gypse concassé 0/40

La couche de base est constituée de 20 cm de G.N.B. surmonté d'un bicouche, dimension préconisée par le L.P.E.E. sur les 10 km de cette route. Tous les accotements de cette section sont constitués de gypse pur concassé 0/40 dont la moitié soit 100 m sera imprégnée au cut-back à raison de 1,4 km/m² ; la compacité à atteindre sur cette section est la même que celle de la section n° 1 (voir fig. e).

Rappel des compacités et teneurs en eau optimales obtenues en laboratoire

ESSAIS PROCTOR MODIFIÉ		
NATURE	D EN T/m ³	TENEUR EN EAU %
GYPSE	2.005	4,6
MELANGE GYPSE 80% MARNE 20%	2.030	5,6

Ces résultats sont donnés à titre indicatif car ils ont été obtenus en laboratoire, par essai proctor modifié sur des granulométries obligatoirement très éloignées de celles réellement mises en œuvre. Les compacités de mise en œuvre seront déterminées lors de la planche d'essai.

II.1. Essais

Couche de forme

Avant de passer à l'exécution des couches de base des différentes sections et après nivellement et compactage de la couche

de forme, des essais de densité in-situ et de portance à la plaque de 50 cm ou à défaut de 200 cm seront réalisés.

Couche de base

Pour toutes ces sections trois séries d'essais seront réalisées :

1 série

Elle a lieu directement après le nivellement et avant le compactage, elle consiste en 5 prélèvements destinés au contrôle granulométrique.

2^{ème} série

Elle a lieu directement après le compactage, elle consiste en 1 essais de densité in-situ et mesure d'épaisseur
1 essais de plaques de 150 cm ou a défaut de 200 cm
1 prélèvements pour granulométrie.

3^{ème} série

Elle consiste en la vérification de la quantité de cut-back épandu, a lieu à raison de deux essais par section à des emplacements choisis au hasard.

Deux prélèvement seront effectués sur les accotements en gypse 0/40 de la section n° 4 avant et après compactage pour voir l'évolution de ce matériau après compaction. Deux essais de densité et d'essais de plaques seront réalisés également sur accotements de cette section.

Fig. 6

SECTIONS EXPERIMENTALES CT 6511

PROGRAMME D'EXPERIMENTATION

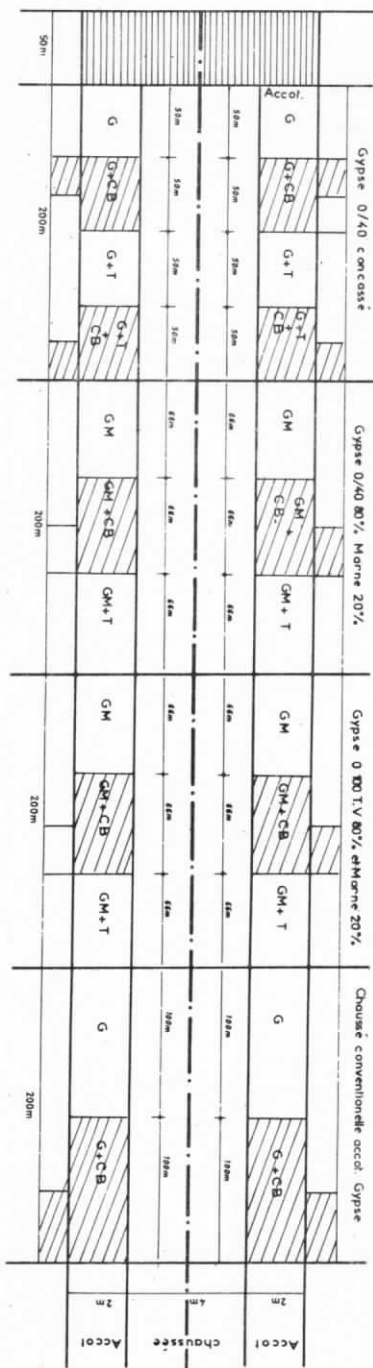
SECTION 1

SECTION 2

SECTION 3

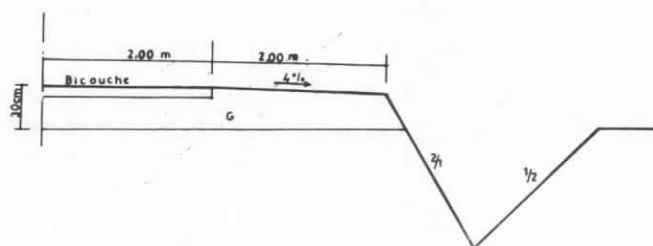
SECTION 4

G Gypse
 CB CUI-BACE
 T COUVERTURE TUF 15cm
 GM Gypse Marse

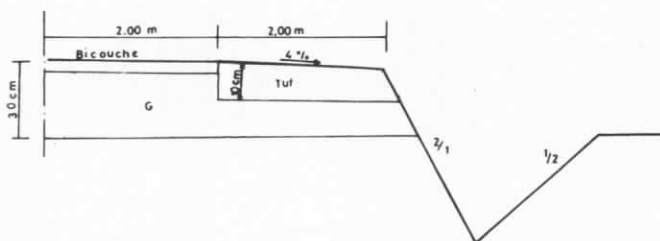


Echelle: Longueur: 1cm = 20m
 Largeur: 1cm = 1m

SECTION N° 1



— Couche de base et accotement en gypse 0/40 concassé

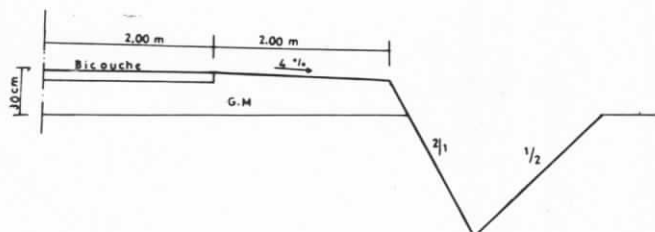


— Couche de base en gypse 0/40

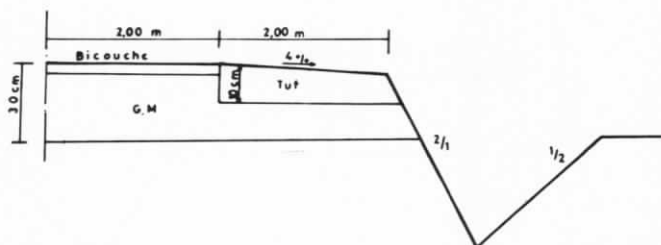
— Accotement en gypse 0/40 surmonté de 10 cm de tuf

fig : b

SECTION : 2



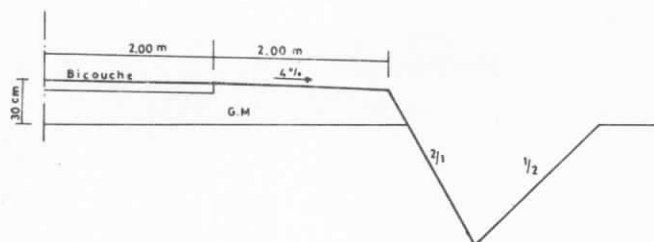
- Couche de base et accotement en gypse 0/40 concasse, maineux; mélange artificiel effectué sur chantier



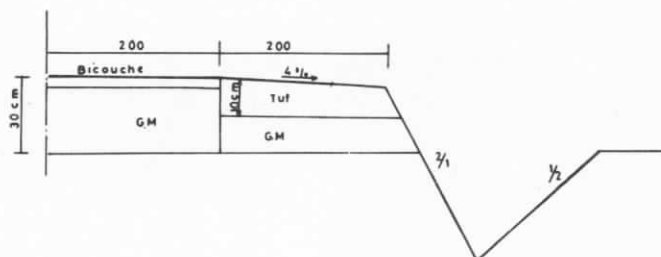
- Couche de base en gypse maineux mélange effectuée sur chantier
- Accotement en gypse maineux surmonte de 10 cm de tuf

fig:c

SECTION N° 3



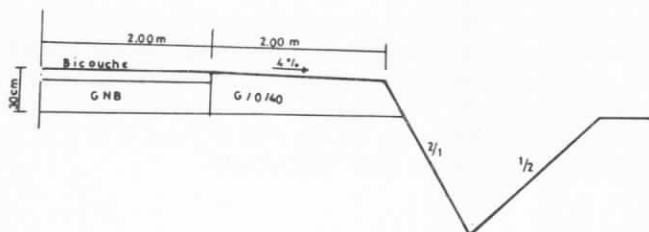
- Couche de base et accotement en gypse marneux 0/100 mélange naturel de carrière



- Couche de base en gypse marneux de carrière
- Accotement en gypse marneux de carrière surmonté de 10 cm de tuf

fig: d

SECTION N° 4



— Couche de base en GNB

— Accrolement en gypse 0/40 concassé

fig:e

RS 120

nous avons profité de la réalisation d'une surélévation sur la RS 120 sur une distance de 700 m pour tester le mélange gypse marne stabilisé à la chaux en couche et en couche de fondation. Le trafic sur cette route étant assez fort, 900 véhicules/jour, il est préférable d'utiliser un mélange stabilisé à la chaux qui augmente les performances mécaniques de ce matériau et surtout qui le rend beaucoup moins sensible à l'eau. IL a été décidé de réaliser un remblai sur une épaisseur de 0,70 m à 1,40 m par un matériau d'apport ou par le sol sur place pour surélever la route. Le dimensionnement préconisé par le L.P.E.E. est 20 cm G.N.F. + 20 cm G.N.A. + RS pour toute la section. Sur ces 700 m nous choisissons 2 sections l'une de 200 m, l'autre de 100 m ; dans la première, on testerait le mélange naturel gypse-marne 0/40 et 0/100 stabilisé à la chaux ou non en couche de base sur une épaisseur de 20 cm à la place de la G.N.A., en maintenant 20 cm de G.N.F. ; dans la seconde, on testerait le mélange 0/100 stabilisé à la chaux ou on en couche de fondation sur une épaisseur de 20 cm à la place de la C.N.F., en maintenant 20 cm de G.N.A. en couche de base.

Programme

Section 1

En couche de base sur 200 m

sur 50 m gypse marne 0/40

(voir fig. a)

sur 50 m gypse marne 0/40 + 5 % de chaux

(voir fig. b)

sur 50 m gypse marne 0/100

(voir fig. c)

sur 50 m gypse marne 0/100 + 5 % de chaux

(voir fig. d)

Accotements

On reprend exactement le programme de la section n° 1 du C.T. 6.511.

C'est à dire les premiers 100 m seront réalisés de part et d'autre de la chaussée en gypse 0/40 dont 50 m seront imprégnés au cut back. Les autres 100 m seront réalisés en gypse 0/40 surmontés de tuf sur une épaisseur de 10 cm dont 50 m également seront imprégnés au cut back.

Section 2

En couche de fondation sur 100 m

sur 50 m gypse marne 0/100

(voir fig. e)

sur 50 m gypse marne 0/100 + 4 % de chaux

(voir fig. f)

Accotements

sur 50 m gypse marne 0/100

sur 50 m gypse marne 0/100 + cut back

Essais

Comme sur le C.T. 6.511 différents essais seront effectués sur cette section :

- essai de plaques
- essai de densité en place
- prélèvement de matériaux avant et après compactage pour suivre leur évolution

Remarques

—A l'heure actuelle au moment de la rédaction de ce texte, la réalisation de l'expérimentation sur C.T. 6.511, n'a pas encore été entamée mais elle devrait commencer incessamment. Nous pensons qu'au moment du Congrès elle sera achevée et que les premières conclusions pourront être tirées.

—L'expérimentation sur la RS 120 est programmée à une date ultérieure, elle sera réalisée après celle du C.T. 6.511.

(1) : M^r Mohamed LARHZAL in « Le Gypse Jurassico-Cretace de la région de Safi » (Mémoire de D.E.S. Université de Picardie)

(2) : Messieurs J.L. MAZEAS et M. NATAF in « Le Gypse de la Région Safi »

(3) : Messieurs J.L. MAZEAS et M. NATAF in « Le Gypse de la Région de Safi »

(4) : Rapport préliminaire du L.P.E.E. n° 83/180 - 1.003

(5) : Messieurs J.L. MAZEAS et M. NATAF in « Le Gypse de la région de Safi ».

(6) : Messieurs J.L. MAZEAS et M. NATAF in « le Gypse de la région de Safi »

(5) : Messieurs J.L. MAZEAS et M. NATAF in « Le Gypse de la région de Safi », Revue de géographie du Maroc n° 12 - 1967

(6) : Messieurs J.L. MAZEAS et NATAF in « Le Gypse de la région de Safi »

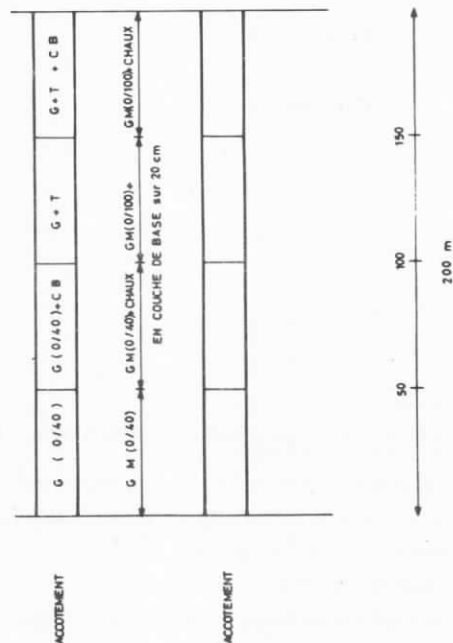
(7) : Messieurs J.L. MAZEAS et M. NATAF in « Le Gypse de la région de Safi »

(8) : Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées n° Spécial VII : « Les Phosphogypses - Utilisation d'un sous-produit industriel en technique routière » Nov. 78.

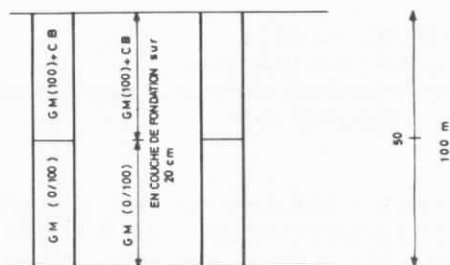
G = gypse
 GM = gypse marne
 G+T = gypse - couverture de 10 cm de tuf
 CB = cul back

SECTIONS EXPERIMENTALES RS. 120

SECTION 1 EXPERIMENTATION EN COUCHE DE BASE ET ACCOTEMENT



SECTION 2 EXPERIMENTATION EN COUCHE DE FONDATION ET ACCOTEMENT



Séction : 1

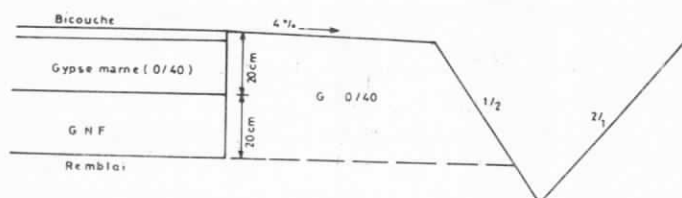


fig: a

COUCHE DE BASE EN GYPSE MARNE (0/40)

ACCOTEMENT EN GYPSE (0/40)

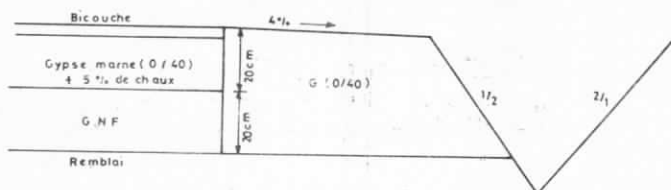


fig: b

COUCHE DE BASE EN GYPSE MARNE (0/40) 5% DE CHAUX

ACCOTEMENT EN GYPSE 0/40 IMPREGNEE AU CUT-BACK

S  ction : 1

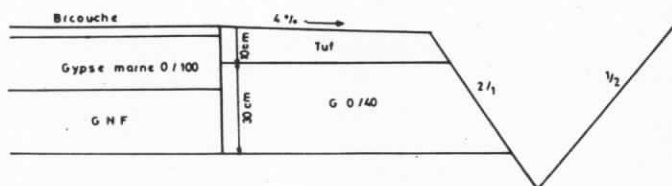


fig c - COUCHE DE BASE EN GYPSE MARNE 0/100
- ACCOTEMENT EN GYPSE 0/40 TUF

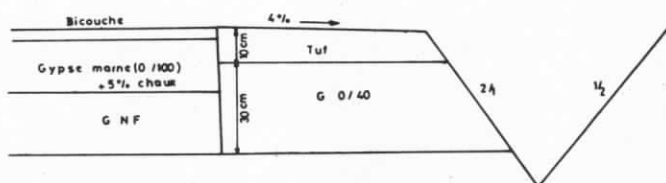


fig:d - COUCHE DE BASE EN GYPSE MARNE + 5 % CHAUX
- ACCOTEMENT EN GYPSE 0/40 SURMONTE DE TUF IMPREGNE AU CUT BACK

S  ction : 2

RS:120

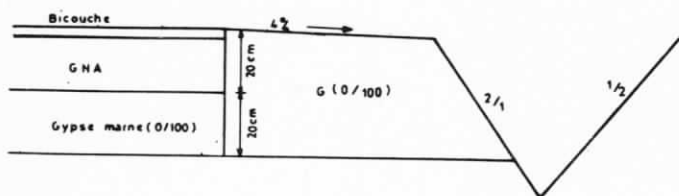


fig.e - COUCHE DE FONDATION EN GYPSE MARNE (0/100)
- ACCOTEMENTS EN GYPSE MARNE (0/100)

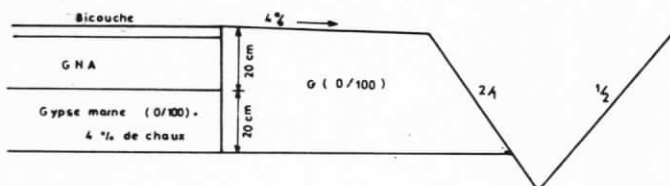


fig.f - COUCHE DE FONDATION EN GYPSE MARNE 0/100 STABILISÉ A LA CHAUX
- ACCOTEMENTS EN GYPSE MARNE 0/100 IMPREGN   AU CUT-BACK