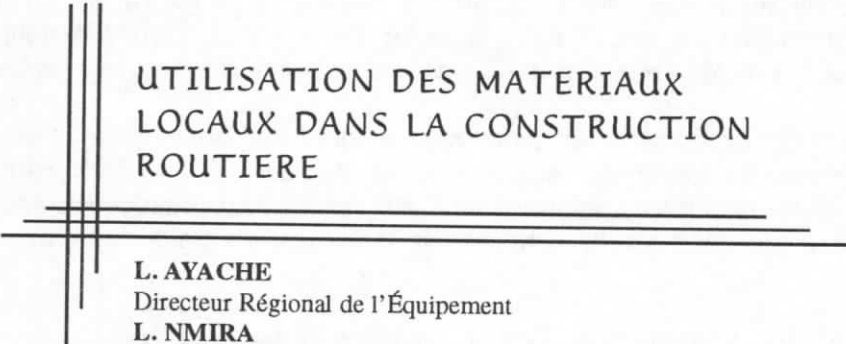




UTILISATION DES MATERIAUX LOCAUX DANS LA CONSTRUCTION ROUTIERE

L. AYACHE

Directeur Régional de l'Équipement

L. NMIRA

Chef du CERET Du TENSIFT

• Introduction

La pénurie des gisements naturels des matériaux nobles dans la province de Safi a été génératrice d'une volonté de valorisation des matériaux locaux. En effet, les carrières de roches massives exploitées principalement dans le Nord sont très hétérogènes et de qualité médiocre à moyenne. Les matériaux ne répondent pas aux exigences du CPC de point de vue dureté pour leur utilisation dans le domaine routier.

Les seules ressources en granulats de bonne qualité sont les alluvions de l'oued Tensift située à 70 Km, de la ville de Safi.

Cette situation, très préoccupante, a amené la D.T.P. à mener une expérimentation sur le C.T. 6501 entre les PK 0+000 et 18+000 portant sur l'emploi des matériaux locaux après traitement au ciment, en couche de base.

L'objectif de l'expérimentation de la grave améliorée au ciment (G.A.C) est de :

- valoriser les matériaux locaux de la région de Safi du fait de l'indisponibilité des matériaux nobles, conformes au C.P.C des travaux routiers courants.
- introduire et maîtriser la technique de traitement en place des graves au ciment.

Il s'agit d'un traitement au ciment sur place d'une grave en construction neuve, en élargissement et en renforcement avec réalisation de planches témoins en structures souples.

La carrière utilisée, pour la fourniture des matériaux pour cette expérimentation, est située au PK. 19 du C.T. 6501 à proximité de la nouvelle cimenterie de Safi (SIMASFI). Elle est caractérisée par la présence de roches calcaires non dures, de nature marneuse, ayant les caractéristiques suivantes :

- dureté (L.A.) entre 27 et 31%
- résistance à l'attrition en présence d'eau M.D.E. de 30 à 35%

• Suivi de l'expérimentation

Le suivi du comportement de ce nouveau matériau est organisé avec la participation des différents intervenants (DRTP de Tensift, DTP de Safi et CNER - Rabat).

Pour assurer le suivi du comportement des sections traitées dans le temps, un programme de suivi, arrêté par le CNER, consiste à suivre l'évolution des résultats de mesures sur une période de 7 ans (de 1994 à 2000).
(Refer : plan d'action du CNER).

DONNEES GENERALES SUR LES CARRIERES DE LA PROVINCE DE SAFI

1 - GISEMENTS DE MATÉRIAUX

Les principales carrières connues dans la province de SAFI, pouvant alimenter les chantiers des travaux routiers, sont données, avec les caractéristiques géotechniques des matériaux correspondant, par le tableau suivant :

Désignation des carrières	Situation	Réserve	Caractéristiques Géotechniques	
			LA	MDE
CATRAD	PK135 RS121	Abondante	25 à 40	20 à 35
DAOUI	PK134 RS121	Abondante	25 à 40	20 à 35
DRIDRAT	PK3 + 800 CT6502	Abondante	30 à 45	20 à 35
CAB2000	PK129 RS121	Abondante	25 à 40	20 à 35
DAOUI	PK3 CT6506	Abondante	30 à 45	25 à 45
CATRAD	PK46 + 800 CT6501	Abondante	30 à 45	25 à 45
SOCARBA	PK45 CT 6501	Abondante	40 à 45	25 à 45
LAFRIDI	PK42 CT6501	Abondante	40 à 45	25 à 45
SOFAFEC	CT6501 à 4km deSAFI	Abondante	30 à 45	30 à 40
SMA	PK30 RS126	Illimitée	25 à 40	25 à 35
ALI CHLEUH	PK28 RS126	Illimitée	25 à 40	25 à 35
KHMISS N'GUA	PK02 CT6511	Abondante	20 à 35	25 à 35
SEFIANI	PK 276 RP8 O.Tensift	Limitée	< 20	< 15
TLET IGHOUD	CT6521 Tlet Ighoud	Illimitée	15 à 30	15 à 25
SIDI. MOUSSA	PK52 RP12	Abondante	20 à 30	15 à 25
ABOU SOUROUR	PK6 CT6502	Illimitée	> 45	> 40
JBARAT(AMIDANE)	PK45 CT6501	Illimitée	> 45	> 40
OULAD HARROU	PK16 + 500 RS120	Abondante	> 45	> 40
JEDIANE	PK1CT6517 JemaShim	Abondante	> 45	> 40
JEMAA. SHIM	PK206 RP8	Abondante	> 45	> 40

Les seules ressources en granulats de bonnes qualités dans la région de Safi restent les terrasses alluvionnaires de l'Oued Tensift situées à 70 Km du centre de la ville . Leur exploitation massive risque d'entraîner à moyen terme, sinon à court terme, une pénurie de matériaux qualitativement acceptables.

Les caractéristiques géotechniques (LA et MDE), fixées par le C.P.C. pour les assises non traitées et les enduits superficiels, sont comme suit :

	Trafic	L.A.	M.D.E.
G.N.F	To - T1 - T2	< 35	< 25
	T3 - T4	< 40	
G.N.A et G.N.B	To à T4	< 30	< 20
R.S. (enduit superficiel)	To	< 15	< 10
	T1	< 20	< 15
	T2 - T3 - T4	< 25	< 20

En tenant compte des matériaux disponibles et des prescriptions du CPC relatifs aux travaux routiers, il ressort que peu de carrières répondent aux exigences fixées par la réglementation en vigueur.

2 - DISTANCES DE TRANSPORT

Les carrières, pouvant donner des matériaux conformes au CPC, sont situées à l'extrême sud de la Province et par conséquent sont très excentrées par rapport au réseau routier de la DTP dont la densité maximale se trouve au Nord de la Province :

- 82% du réseau routier de la DTP est à une distance > 40 Km de ces carrières.
- 68% du réseau routier de la DTP est à une distance > 60 Kms.
- 36% du réseau routier de la DTP est à une distance > 80 Kms.
- 10% du réseau routier de la DTP est à une distance > 100 Kms.
- Distance maximale.....: 120 Kms.

RISQUES D'ÉPUISEMENT

Les carrières sus-indiquées, de caractéristiques mécaniques conformes au C.P.C ne sont constituées que de galets d'Oued (apports alluvionnaires) peu

renouvelables à cause de la rareté des crues et des obstacles dûs aux ouvrages hydrauliques construits à l'amont. Ce qui, par conséquent, tend à diminuer la réserve de matériaux bruts disponibles pour la fabrication de la grave non traitée.

Rappelons, que ces gisements sont à des distances allant de 40 à 100 Km pour 80% du réseau routier de la DTP, d'où l'incidence sur le coût de la grave et sur les délais d'exécution.

Compte tenu de ce qui précède, une réflexion a été menée pour faire face à la pénurie de matériaux routiers nobles en me trouver des solutions appropriées.

C'est ainsi qu'une première étude de gîtes de matériaux a été faite par la DRTP de Tensift dans le but d'assurer un approvisionnement des chantiers routiers en matériaux dans de bonnes conditions. Cette étude consiste à inventorier et à analyser les ressources de matériaux dans la région qualitativement et quantitativement. Elle a permis de classer les gisements, dans la Province de Safi, en 3 catégories :

- Calcaire à dureté faible (Quantité abondante).
- Gypse (Quantité abondante).
- Ballastières d'Oued peu alimentées par les transports d'alluvions.

Cette situation très préoccupante a amené la DPTP de Safi de mener une expérimentation, sur le CT 6501, portant sur l'emploi des matériaux locaux après traitement au ciment, de la couche de base.

CAUSES ET OBJECTIFS DE L'EXPERIMENTATION

1 - CAUSES À L'ORIGINE DE L'EXPÉRIMENTATION

- La qualité médiocre de la majorité des gisements de la Province de Safi .
- La position des gisements silico-calcaires excentrée par rapport à la province induisant des distances de transport de l'ordre de 100 Km donc une détérioration du réseau existant.
- La non alimentation des gisements alluvionnaires en raison de la construction d'ouvrages hydrauliques (barrages), qui arrête le transit de matériaux à leur aval.

2 - OBJECTIFS DE L'EXPÉRIMENTATION

Les principaux objectifs visés sont :

- l'utilisation optimale des matériaux disponibles dans la Province,
- la diminution du trafic engendré sur le réseau existant, par le transport des matériaux pour la construction de voies nouvelles ou pour leur renforcement, par conséquence, la diminution des frais d'entretien,
- réduire le coût de la réalisation de projets routiers,
- favoriser le progrès technique au sein de notre Département en maîtrisant d'autres nouvelles techniques routières.

C'est ainsi qu'au cours de la réalisation de l'élargissement et du renforcement du premier tronçon du C.T. 6501 entre SAFI et l'Usine CIMASFI (PK. 18 + 500) sur une longueur d'environ 18 Km, il a été évoqué avec la DRCR, le LPEE et l'entreprise GETRATER la possibilité d'aller plus loin dans l'étude de certaines solutions en envisageant le traitement des graves disponibles en abondance sur place, au ciment. Deux modes de traitement sont proposés à savoir :

- traitement en centrale
- traitement sur place.

Ce dernier mode a été retenu pour l'avantage économique qu'il présente.

ETUDE DE FORMULATION

1 - INTRODUCTION

Dans le cadre des travaux de l'élargissement et du renforcement du CT 6501 le L.P.E.E a été chargé d'étudier le traitement d'un tout venant 0/31,5, d'origine calcaire marneux, au ciment destiné à la couche de base, avec des dosages en ciment de 3 ; 3,5 et 4% en poids de matériau sec.

N. B. : Il est à noter que les résultats, ci-dessous, sont extraits du rapport de Laboratoire n° 92-161-9-269 fait à Casablanca le 30/11/92.

a - Consistance de l'étude

Cette étude consiste en :

- l'identification du tout-venant 0/31,5
- l'analyse du ciment CPJ 45 utilisé pour le traitement

- les essais mécaniques (CBR, résistance à la compression simple, résistance à la traction par fondage et module de déformation) pour des durées de conservation de 14 à 28 jours.
- les études de variation entre les diverses valeurs obtenues .
- l'évaluation du comportement mécanique de la grave .

b - Paramètres de dimensionnement

Selon le rapport du LPEE n° 91-258-01-31E-GRI du 24/06/92 réalisé à Safi pour l'élargissement et le renforcement du CT. 6501, au moyen des matériaux non traités et conformes au CPC des travaux routiers, il ressort que :

- la zone climatique est considérée comme une zone non aride,
- le trafic considéré est classé dans la limite supérieure de T2 du manuel de renforcement des chaussées revêtues,
- le sol de plate-forme est de classe S3 à S4 pour la section de route entre PK. 0 et 18 du CT. 6501.
- le corps de chaussée existant est constitué d'une structure traditionnelle en pierre cassée sur blocage d'une épaisseur totale variant de 25 à 35cm.

2 - RÉSULTATS DE L'ÉTUDE

1 • Identification du Tout-Venant

Le tout-venant, objet de l'étude, d'origine calcaire marneux induré a été prélevé de la carrière GETRATER situé au PK 20 + 000 du CT.6501

Les résultats des essais sont reportés sur les tableaux suivants :

a - Tout-venant 0/31,5

N°:	GRA	NULO	MET	RIE	(mm)	ES	I.P.	VALEUR	L.A.	MDE
ECHT	31,5	20	10	6,3	2	0,08		AU BLEU		
1	100	80	45,7	35,8	18,9	5	64		27,3	35,6
2	100	82,7	54	42,8	23	6	61,5	5,4	0,75	29,3
3	100	72,3	42	32,1	16,8	5	62			30,2
4	99,5	83,5	57,8	44,9	23,4	7	62,7			
5	100	82	54,5	43,6	23,6	6	61,65 9		0,87	
MOY	100	80	51	40	21	6	62		8,1	29

Courbes granulométriques (voir annexe 1)

Analyse des résultats

Le matériau identifié présente des granulométries inscrites dans le fuseau GAC 0/31,5 avec un léger déficit de la fraction 0,5/5, des équivalents de sable variant de 59 à 64 avec un indice de plasticité de l'ordre de 5 (conformes), des duretés Los-Angeles comprises entre 27 et 30 et un MDE de 35,6 ; la règle de compensation sur les duretés $(LA + MDE) < 65$ est vérifiée avec la règle des 5 points.

Ces caractéristiques sont donc conformes aux propositions de spécifications de la refonte du Catalogue des Structures Marocaines pour une GAC et un trafic T2.

b - Tout-venant 0/20

Compte tenu des limitations dues à certains appareillages, le tout-venant brut 0/31.5.a été arrêté à 20 mm.

Les résultats obtenus sur ce tout-venant écrêté, sont présentés sur les tableaux et graphiques suivants :

ECHT		GRA	NU LO	ME TR	IE		ES	IP
	20	16	10	6,3	2	0,08		
1	100	93,8	76,1	62,2	32,7	8,9		
2	100	87,6	63,9	48,9	25	7,1		
3	100	92,2	72,4	50,9	29,7	8,4	60	--
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
APRES	PROCTOR							
4	100	94	77,5	64	35	11	63,4	3,4
5	100	93	74,3	60,2	34	9,5		

Courbes granulométriques (voir annexe 1)

Analyse des résultats

Les trois identifications effectuées sur le tout-venant 0/20 présentent des granulométries inscrites dans le fuseau 0/20 de la directive française pour les graves ciments ; le pourcentage des inférieurs à 0,08 mm est compris entre 7 et 9% et le passant à 6.3mm varie de 49 à 62%. L'équivalent de sable est de l'ordre de 60% avec un indice de plasticité de 3. La granulométrie du

matériau réalisée après l'essai Proctor montre une légère évolution surtout au niveau des fines et de la fraction sableuse ; ceci est très caractéristiques de ces matériaux calcaires.

2 • Essais Proctor Modifié et CBR

L'ensemble des résultats présentés, ci-après, sont obtenus sur le matériau écrêté 0/20.

a - Sans traitement

L'essai Proctor Modifié réalisé sur la fraction 0/20 présente les caractéristiques suivantes :

ENERGIE DE COMPACTA	PHASE	DIRECTE		PHASE	IMBIBE		CBR(d) CBR (i)
	10 cps	25 cps	55 cps	10 cps	25 cps	55 cps	
CBR	35	45	151	25	35	151	1 à 1,4

Ces résultats montrent que le matériau présente une faible sensibilité à l'eau: (CBR (d)/CBR (i)) compris entre 1 et 1,4, mais une forte sensibilité à la compacité : 40% à 95% OPM est supérieure à 80% à 98% OPM.

b - Avec traitement au ciment

Les caractéristiques proctor modifié se présentent comme suit :

$$d_{\max} = 2,11 \text{ T/m}^3$$

$$W_{\text{opt}} = 7,4\%$$

Compte tenu de la faible sensibilité à l'eau du matériau on s'est contenté d'effectuer des essais CBR à 3 jours ou + 4 jours d'imbibition. Ces essais

ENERGIE DE COMPACT		CBR	
DOSAGE (%) EN CIMENT	10 COUPS	25 COUPS	55 COUPS
3	--	227	320
3,5	227	340	510
4	--	290	700

CBR réalisés à 3 ; 3,5 et 4% de ciment sont reportés sur le tableau suivant : Avec un dosage de 3% et une compacité de 95% OPM, on atteint un CBR supérieur à 200.

Avec un dosage de 3,5 et 4% de ciment et une compacité de 95% OPM, on atteint un CBR supérieur à 300. On constate donc que la portance CBR croît en fonction de la compacité et du dosage en ciment.

Dans le cas des matériaux traités au ciment dès que le CBR dépasse 100, on considère que ce matériau a un comportement satisfaisant pour une utilisation en GVC (grave valorisée au ciment) et peut, de ce fait, constituer une couche de base pour des trafics inférieurs à T3.

Le graphique donnant la variation du CBR en fonction du dosage du ciment est donné en annexe 1.

• Résistances mécaniques du matériau traité au ciment

L'étude a été menée de façon à tester les résistances du matériau 0/20 en fonction de la variation des paramètres suivants :

- dosage en ciment : 3 ; 3,5 et 4%
- taux de compactage : 95 ; 98 et 100% O.P.M.

Le moulage des éprouvettes a été effectué par la machine "VIBRO. COMPRESSION" à l'OPM - 1 soit 6,5% de teneur en eau.

Des essais ont été également effectués sur le matériau brut 0/31,5 comme il est précisé dans le texte.

a - Résistance à la compression simple

Résistance à 14 jours

Les résistances à la compression simple obtenues sur les éprouvettes f 16 H 32 à 14 j d'âge sont reportées sur le tableau suivant :

Taux de compactage : 98% OPM (0/20)

Résistance à la compression en ciment %	Dosage	Rc (14 j Air) (bar)	Rci (10 j Air + 4j eau) (bar)	Rci/Rc	Teneur en eau moyenne
3%		36-40-36 (m = 37)	32-30-37 (m = 33)	0,9	6,7
3,5%		49-49-43 (m = 47)	41-42-42 (m = 42)	0,9	6,4
4%		47-50-50 (m = 49)	46-43-43 (m = 44)	0,9	6,7

Taux de compactage : 98% OPM (0/20)

Dosage ciment (%)	Résistance à la compression	Rc (14 j Air) (bar)	Rci (10 j Air + 4j eau) (bar)	Rci/Rc	Teneur en eau moyenne
3,5%		30-28-32 (m = 30)	27-29 (m = 28)	0,93	6,4

Taux de compactage : 95% OPM (0/20)

Rappelons que les propositions préconisées par la refonte du Catalogue des Structures du Maroc pour une grave valorisée au ciment (GVC) sont :

- 20 bars < Rci < 50 bars.
- Rci / Rc > 0,5.

Les résultats obtenus montrent que le matériau présente une faible sensibilité à l'eau : ($R_{ci}/R_c = 0,9$) pour les différents dosages en ciment et les taux de compactage de 95 et 98% OPM.

On note que les résistances à la compression simple sont toutes supérieures à 20 bars et atteignent pratiquement la limite supérieure (50 bars) pour 4% de ciment.

Ce matériau peut donc être utilisé en GVC avec un dosage théorique en Laboratoire de 3% de ciment. Il est habituel de prévoir sur le chantier un surdosage de 0,5% de ciment.

Un moulage à 98% OPM et à 3,5% de ciment a été réalisé sur le matériau 0/31,5, ce moulage a donné un Rc 14j Air de 48 bars soit 1 bars de plus que le matériau 0/20.

Résistance à 28j :

Les résistances à la compression simple à 28j avec des dosages de 3 ; 3,5 et 4% (98% OPM) et 3,5% de ciment pour un taux de compactage de 95% OPM ont été réalisées sur le matériau 0/20 et 0/31,5 pour étudier l'influence de ces paramètres sur la résistance en fonction de l'âge et du taux de compactage :

	Matériau 0/20	Matériau 0/31,5
	98% OPM	95% OPM
Dosage (%)	Rc à 28j (bar)	Rc à 28j (bar)
3	51	--
3,5	58	43,5-40 (m = 42)
4	63-70 (m = 66)	--

Ces résultats montrent un gain important en résistance entre 14j et 28j pour un taux de compactage de 98%. Le matériau 0/31,5 dosé à 3,5% de ciment et compacté à 95% OPM présente des Rc 28j supérieures à celles obtenues sur le matériau 0/20 compacté à 98% OPM.

b - Résistance à la traction par "fondage Brésilien"

Les résultats obtenus sur les éprouvettes cylindriques $\varnothing$ 16 H 32 à 28j sont présentés sur le tableau ci-après :

Moulage à 98% OPM (0/20)

Résistance Dosage (%)	RT Brésilien à 28j (bar)	Teneur en eau moyenne (%)
3	6,2-7,2-6,2 (m = 6,5)	6,3
3,5	7,6-7,6 (m = 7,6)	6,3
4	8,7	6,6

(voir graphique 2 - Annexe 1)

Moulage à 95% OPM

	Matériau 0/20	Matériau 0/31,5
Résistance Dosage (%)	Rt Brésilien à 28j (bar)	Rt Brésilien à 28j (bar)
3,5	6,7 et 7,2 (m = 6,9)	10,2 et 9,9 (m = 10)

(voir graphique 2 - Annexe 1)

Pour le matériau 0/20 moulé à 98% et à 95% OPM, les résistances augmentent en fonction du dosage en ciment et du taux de compactage.

Le matériau 0/31,5 dosé à 3,5% de ciment et compacté à 95% présente une résistance à 28j (fondage brésilien) supérieure à celle obtenue sur le matériau 0/20 moulé à 98% OPM, ce qui confirme les résistances de compression simple à 28j.

c - Résistance à la traction directe et des modules sécants à 28j

Les résultats des résistances à la traction directe et des modules sécants à 28j obtenus sur huit éprouvettes de forme dite "en haltère" (hauteur 32cm, extrémités 16cm et 0 partie centrale 14cm) sont résumés sur le tableau suivant :

	95% OPM	98% OPM	98% OPM	100% OPM
Rt moy (bar)	4,7	5	5,4	7,2
E moy (bar)	134000	212000	140000	170000

(voir graphique 3 et 4 - Annexe 1)

On constate que les résistances et les modules augmentent avec les compacités, mais que ces modules obtenus sur les graves 0/31,5 bien qu'ils correspondent à des résistances plus élevées sont eux mêmes inférieurs à ceux obtenus sur le matériau 0/20. Ceci en raison de l'importance prise par le squelette granulaire sur le comportement mécanique.

Partant des résultats obtenus, on peut donc établir des abaques permettant de visualiser l'influence des paramètres dosage en ciment, teneur en eau, compacité sur les performances mécaniques (voir Annexe 2).

A partir de ces abaques, on peut évaluer les chutes des résistances produites par des valeurs de teneur en eau (W ch %) et de compacité (°d dh) constatées réellement sur chantier et s'écartant plus ou moins des conditions optimales de mise en oeuvre.

4 • Exploitation des résultats

a - Etude des variations des différents paramètres

L'étude des variations des différents paramètres étudiés permet de faire ressortir les constatations suivantes :

- une augmentation sensible des résistances en fonction de l'âge, du dosage en ciment, le taux de compactage et le D max du matériau,
- une augmentation des modules en fonction de la compacité mais une diminution en fonction de la grosseur du matériau Dmax.

Les valeurs suivantes permettent de quantifier l'importance de cette évolution :

RÉSISTANCES

- Accroissement des résistances R_c en fonction de l'âge de l'ordre de 25 à 40%, selon les dosages en ciment et le taux de compactage.
- Accroissement de 30% des résistances (R_c , RT) par point d'augmentation du dosage entre 3 et 4%.
- Gain de 40 à 50% en R_c à 28 jours en passant de 95 à 98% de l'O.P.M, ce gain est réduit à 10% pour les essais de traction.
- Gain notable de l'ordre de 40% en R_c et RT avec les dimensions Dmax du matériau, ce gain n'est que de 8% en R_t .

MODULES

- Gain de 55% pour le matériau 0/20 en passant de 95 à 98% de l'O.P.M, ce gain n'est que de 20% pour le matériau 0/31,5 entre 98 et 100% de l'O.P.M.
- Chute de module de 33% en fonction des dimensions Dmax du matériau (0/20 et 0/31,5) et ceci en raison de l'importance prise par le squelette granulaire sur le comportement mécanique.

On constate donc une augmentation des résistances en fonction du Dmax du matériau associée à une diminution des modules. Ce phénomène est favorable pour un bon comportement mécanique dans le corps de chaussée en cas d'utilisation d'une grave 0/31,5.

Les différents paramètres étudiés sont présentés dans les graphiques 1-2-3 et 4 de l'annexe 2.

b - Comportement mécanique

Les chaussées semi-rigides en grave-ciment travaillent en flexion et supportent des contraintes de traction importantes. La qualité du matériau lié est caractérisée par le couple de valeur (R_t ; E_t) à 360 jours et surtout par son indice qualité élastique I.Q.E. qui permet de donner une estimation directe de la performance du matériau lié.

Le comportement mécanique de la grave calcaire traitée au ciment (G.A.C.) se fera donc à partir :

- De la comparaison des caractéristiques (R_t ; E_t) à 360 jours avec celles requises par la refonte du catalogue des structures pour les G.A.C. ; ce couple de valeur (R_t ; E_t) à un an sera estimé à partir du couple (R_t ; E_t) obtenu à 28 jours par les relations suivantes:

$$R_t 28j = 0,6 \times R_t 360 \text{ jours.}$$

$$E_t 28j = 0,65 \times E_t 360 \text{ jours.}$$

- A partir des valeurs obtenues, on peut évaluer le comportement mécanique de la grave calcaire au ciment à 28 jours et l'estimer à 360 jours d'une part, par son I.Q.E et d'autre part, en comparant ces paramètres (R_t, E_t) avec les spécifications requises pour les G.A.C.

Pour l'estimation des valeurs à 360 jours, les relations suivantes généralement admises (à vérifier d'après les valeurs à 90 jours), ont été utilisées. $R_t 28j = 0,6 \times R_t 360j$ $E_t 28j = 0,65 \times E_t 360j$

L'indice qualité élastique I.Q.E est déterminé en fonction de (R_t , E_t) :

En ce qui concerne le type de GAC, les calculs présentés ci-après, donnent pour un dosage de 3,5% :

	0/20		0/31,5	
	98%	95%	100%	98%
R_t (bars)	5	4,7	7,2	5,4
E (bars) 10^6	2,1	1,3	1,7	1,4
I.Q.E 28j	40 à 45cm	45cm	33cm	40cm
I.Q.E 360j	32cm	33cm	24cm	28cm

	0/20		0/31,5	
	98%	95%	100%	98%
28 jours	< type 2	< type 2	type 2	< type 2
360 jours	type 2	type 2	type 2	type 2

L'analyse des résultats obtenus permet de faire ressortir les constatations suivantes :

- La grave 0/31,5 traitée à 3,5% de ciment et compactée à un minimum de 98% de l'O.P.M. pourra atteindre les I.Q.E généralement admis : 20 à 26 cm pour une grave ciment.
- Le compactage à 100% de l'O.P.M du matériau 0/31,5 permet de lui conférer des caractéristiques mécaniques d'une G.A.C type 2 même à 28 jours.
- Les couples de valeurs (Rt ; Et) à 360 jours pour les matériaux (0/31,5 à 98% de l'O.P.M et 0/20 à 95% de l'O.P.M), sont conformes aux exigences d'une G.A.C type 2.

5 • Formulation retenue

Le matériau calcaire 0/31,5 (de la carrière GETRATER) tel que soumis à l'essai et traité au ciment permet d'atteindre des performances satisfaisantes. Pour cela, il faut exiger un compactage d'au moins 98% de l'OPM, des teneurs en eau voisines de 6% et un dosage de ciment voisin de 3,5% en poids de matériau sec.

CONTRÔLE DE MISE EN ŒUVRE

Les premiers résultats statistiques obtenus sur les paramètres (Teneur en eau, dosage en ciment, compacité) sont reportés ci-après :

• Teneur en eau :

- Nombre de valeur : 84
- X : 6,43%
- Ecart type : 0,55
- Coefficient de variation : 8,5%
- Valeur maxi : 7,5%
- Valeur mini : 5,3%
- 86% de mesures sont comprises entre 6 et 7%

- Dosage en ciment :
 - Nombre de valeur : 26
 - X : 15 Kg/m²
 - Ecart type : 1,095
 - Coefficient de variation : 7,3%
 - Valeur maxi : 16%
 - Valeur mini : 12%
- Taux de compactage :
 - Nombre de valeur : 18
 - X : 96,88%
 - Ecart type : 1,71
 - Coefficient de variation : 1,76%
 - Valeur maxi : 99,5%
 - Valeur mini : 93%
 - Nombre de valeur > 95% : 94%
 - Nombre de valeur, 95 < IC < 98 : 78%

Au vu de ces résultats, l'on peut être surpris par les valeurs relativement faibles du coefficient de dispersion de dosage en ciment ainsi déterminé, par rapport au chiffre de 20% cité comme valeur moyenne des coefficients de dispersion des épandeurs à dosage volumétrique, par la recommandation pour le traitement en place publiée en 1972 par le L.C.P.C. et le S.E.T.R.A. Aussi faut il rappeler les réserves qui doivent nuancer ces résultats :

- Il s'agit de dispersion mesurée dans le sens longitudinal (non prise en compte des dispersions dans le sens en travers).
- Il s'agit de matériel en bon état de fonctionnement servi par un personnel minutieux et expérimenté.
- Il s'agit surtout de la dispersion observée après le réglage de l'épandeur (planche d'essai).

Par contre, il faut signaler que le taux de compactage enregistré reste dans l'ensemble voisin de 95% de l'O.P.M. mais inférieur au taux exigé à savoir un minimum de 98% de l'O.P.M. Le dépouillement de l'ensemble des résultats se fera une fois que toutes les données de contrôle seront disponibles.

CONSISTANCE DE L'EXPERIMENTATION

Cette expérimentation consiste en l'élargissement et le renforcement du C.T. 6501 sur 11,708 Km en grave traitée au ciment et 6,214 Km en matériau non traité.

Les sections concernées sont données par le tableau suivant :

Sections traitées (GAC) PK-PK	Longueur (ml)	Section classiques (GNA) PK-PK	Longueur (ml)
0+000 - 2+471	2471		
		2+471 - 2+671	200
2+671 - 2+954	283		
		2+954 - 3+202	248
3+202 - 8+449	5247		
		8+449 - 8+743	294
8+743 - 9+518	775		
		9+518 - 12+540	3022
12+540 - 15+240	2700		
		15+240 - 17+690	2450
17+690 - 17+922	232		
	11.708		6.214

Soit au total 17922m (environ 18 Km).

STRUCTURES DES PLANCHES EXPÉRIMENTALES

Sections		Long (m)	Type d' Intervention	Structures de	chaussées	N° profil type	Type de drainage
N°	P.K - P.K CT6501			Structures adoptées			
1	0+000 - 2+471	2471	Elarg. 2x1,5m + Renf.	[20 GNF+20 GAC] + 20 GAC		1	
2	2+471- 2+671	200	Idem	[20 GNF+ 20 GNA*] + 20 GNA*		5	
3	2+671- 2+954	283	Idem	[20 GAC +20 GAC] + 20 GAC		2	
4	2+954 - 3+202	248	Idem	[20 GNF + 20 GNA*] + 20 GNA*		5	
5	3+202- 8+449	5247	Idem	[20 GNF+20 GAC] + 20 GAC		1	
6	8+449- 8+743	294	Idem	[15 GNA*+15 GNA**] + 15 GNA**		6	Couche drainante
7	8+743- 9+518	775	Idem	[20 GNF + 20 GAC] + 20 GAC		1 (*)	
8	9+518- 12+540	3022	Idem	[15 GNA* + 15 GNA*] + 15 GNA*		3	Couche drainante
9	12+540- 15+240	2700	Idem	[20 GNF+20 GAC] + 20 GAC		1	
10	15+240- 17+690	2450	Idem	[15 GNA* + 15 GNA*] + 15 GNA*		3	Couche drainante
11	17+690- 17+922	232	Chaussée neuve	30 GAC		4	

GNA* : Mélange de matériaux, à 30% en GNA conforme et à 70% en GNA en calcaire non dure (non conforme)

GNA** : GNA à 100% matériaux en calcaire non dur

GAC : Grave améliorée au ciment en calcaire non dur

GNA, GNF : Matériaux conforme au CPC

(*) : La planche n° 7 est prise comme planche d'essai

NB: Les planches traitées au ciment (GAC) sont celles correspondantes aux numéros impaires

Les profils en travers types susmentionnés sont donnés par le tableau ci-après:

PROFILS EN TRAVERS TYPES DES PLANCHES EXPÉRIMENTALES (PK : 0 + 000 - 18 + 000)

N° 1

	20 GAC		20 MS
20 GNF	Chaussée	20 GNF	Accot
	existante		

N° 2

20 MS	20 GAC		20 MS
Accot	20 GAC	Chaussée	20 GAC
		existante	Accot

N° 3

	15 GNA*		20 MS
15 GNA*	Chaussée	15 GNA*	MD
	existante		

N° 4

15 MS	30 G A C		15 MS
Accot			Accot

N° 5

	20 GNA*		20 MS
20 GNF	Chaussée	20 GNF	Accot
	existante		

N° 6

20 MS	15 GNA**		20 MS
MD	15 GNA*	Chaussée	15 GNA*
		existante	MD

GNA* : Mélange de matériaux, à 30% en GNA conforme et à 70% en GNA, en calcaire non dur (non conforme).

GNA** : GNA à 100% matériaux en calcaire non dur

GAC : Grave améliorée au ciment en calcaire non dur

GNA, GNF : Matériaux conforme au CPC

1 - MATÉRIEL UTILISÉ POUR LA MISE EN OEUVRE

- Stockage du liant : 1 silo étanche horizontal d'une capacité de 25 tonnes.
- Atelier d'arrosage :- 2 Arroseuses de 10 m³
- Atelier de traitement :
 - 1 épandeur de type PANIEN à doseur pondéral asservi (capacité 12 m³).
 - 1 pulvimixer Raco 250 : -largeur de malaxage 2,40m
 - profondeur de malaxage maximum 0,42m

Il est à noter que ce matériel a été importé provisoirement pour ce chantier

- Atelier de compactage : 2 compacteurs vibrants V 5.
- Atelier de réglage : 1 Niveleuse CATMG 140
- Enduit de cure : 1 Répondeuse
- Cloutage : 1 gravillonneur.

2 - MATÉRIAUX ET LIANT UTILISÉS

- Grave calcaire 0/31,5
- Gravillon 4/6 pour cloutage
- Ciment : C.P.J classe 45 de l'usine CIMASFI (ciment du Maroc).
- Enduit de cure : (Emulsion de bitume à 65%)
- Revêtement bicouche (Emulsion de bitume à 65%)
- Gravettes 6/10 et 10/14.

3 - PRÉPARATION,TRANSPORT ET MISE EN ŒUVRE

a - Opération de préparation en carrière

- Le volume de matériaux nécessaire à la réalisation de mise en œuvre d'une journée est préparé la veille (j-1) en carrière:
- Le stock nécessaire est isolé et homogénéisé au bull.
- Un contrôle de teneur en eau est effectué sur ce stock (contrôle rapide).
- Un ajustement à (4 à 4,5%) de teneur en eau est effectué par arrosage puis réhomogénéisation.

b - Opération de transport

- Le matériau ainsi préparé est transporté l'après midi du jour (j-1) sur le chantier pour qu'il soit mis en œuvre le jour j.
- Il est déversé en cordon pour préserver l'humidité.
- Une attention particulière est accordée au transport pour éviter la perte de fines pendant le transport.

c - Opération de mise en œuvre

• Ajustement de la teneur en eau

- En début de journée j et après réglage, il est procédé à une détermination de la teneur en eau du matériau et par conséquent de la quantité d'eau à ajouter pour obtenir Wopt (nombre de passes de l'arroseuse).
- Mise en cordon du matériaux.
- Passage de l'arroseuse (avec scarification entre chaque passe).
- Remise en forme de la surface (niveleuse).

• Traitement

- Epannage du ciment : 15 Kg/m²
- Malaxage (Calage épaisseur 0,20m)
- 1ère passe de R A C O.
Contrôle de la teneur en eau et correction éventuelle. (Par ajout d'eau)
- 2ème passe de R A C O, Prè-réglage à la niveleuse

• Compactage

- 5 passes de compacteur V5 : compacité > 98% de l'O.P.M.

• Produit de cure

- Le produit de cure utilisé est une émulsion de bitume à 65% répandue juste après le compactage.
- Le répandage de liant est effectué avec une répondeuse à un dosage de 300 g/m² de bitume résiduel soit 05Kg/m² d'émulsion .

• Cloutage

- L'épandage, à l'aide d'un gravillonneur, de la grave 6/10 sur le produit de cure (dosage : 6 l/m²).

• Revêtement superficiel

- Le revêtement bicouche est réalisé après le durcissement de la grave traitée (au minimum 10 jours après la mise en œuvre), avec une émulsion de bitume à 65% et des gravettes 6/10 et 10/14.
- Il est à signaler que les sections traitées ont été interdites à la circulation jusqu'à la réalisation du revêtement.
- Des photographies illustrant l'opération de mise en œuvre et du matériel utilisé sont données à l'annexe 3.

DIFFICULTES RENCONTREES

Les principales difficultés rencontrées sont :

- La teneur en eau du matériau traité doit être parfaitement maîtrisée, car ses caractéristiques mécaniques varient de façon très sensible avec cette teneur (Exp ; un excès de 1% de la teneur en eau entraîne une chute de 20 à 30% des performances du matériau).
- Les fourchettes de tolérance en dosage de ciment et en compactage très réduites, imposent un matériel performant et fiable.
- La nécessité d'exécuter toutes les opérations (traitement, arrosage, compactage, enduit de cure et cloutage) avant le début de la prise du ciment.
- L'incidence du vent, lors de l'épandage de ciment, impose que cette opération soit effectuée en temps calme.
- L'interdiction de la circulation sur les sections traitées avant la réalisation du revêtement superficiel qui ne peut être exécuté qu'après un délai de 7 à 10 jours le traitement.

SUIVI DE L'EXPERIMENTATION

1 - PROGRAMME DE SUIVI

Pour permettre d'assurer le suivi du comportement des sections traitées dans le temps, un programme de suivi, arrêté par le CNER, consiste à suivre l'évolution des résultats de mesures, ci-après, sur une période de 7ans (de 1994 à 2000). (Refer : plan d'action du CNER).

- Relevé visuel des dégradations
- Mesure de déflexions
- Mesure d'uni

- Produit R.d
- Carottage
- Trafic (donnée à suivre par la DTP de SAFI)

2 - RÉFÉRENCES DE MESURES

a - Relevé Visuel des dégradations

Au niveau du relevé visuel, les dégradations à relevé sont :

- Arrachement
- Epaufrement
- Resuage
- Fissuration
- Affaissement
- Nids de poules

b - Mesure de Déflexions

La déflexion est essentiellement un indicateur de mauvaise qualité d'une chaussée à assise traitée.

En effet, certaines natures de dégradation (par exemple une fracturation de l'assise en mailles larges) ne sont pas mises en évidence par la déflexion.

Les niveaux usuels des déflexions sur assise traitée aux liants hydrauliques sont mentionnés dans le tableau, ci-dessous, (Guide pour l'auscultation des chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques (semi-rigide) LCPC 1979).

c - Mesure d'uni (au BUMP INTEGRATOR)

L'appréciation de l'uni au BUMP INTEGRATOR est celle préconisée par le CNER. Cette appréciation est rappelée dans le tableau ci-dessous

Tableau n° 1
Appréciation de l'uni

NOTE	TO	TRAFIC T1	T2	T3 - T4
A	< 2000	< 2300	< 3000	< 3200
B	2000 ≤ - < 2500	2300 ≤ - < 2800	3000 ≤ - < 3500	3200 ≤ - < 3700
C	2500 ≤ - < 3000	2800 ≤ - < 3300	3500 ≤ - < 4000	3700 ≤ - < 4200
D	≥ 3000	≥ 3300	≥ 4000	≥ 4200

TABLEAU N° 2

Chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques signification des mesures de déflexion

Chaussées épaisses Epaisseur totale supérieure à 60 cm (1) ou Assise traitée supérieure à 30 cm			Autres chaussées Epaisseur totale inférieure à 60 cm (1) ou Assise traitée inférieure à 30cm		
Déflexion en un point inférieure à 20/100mm	Déflexion en un point comprise entre 20/100 et 40/100mm	Déflexion en un point supérieure à 40/100mm	Déflexion en un point inférieure à 40/100mm	Déflexion en un point comprise entre 40/100 et 60/100mm	Déflexion en un point supérieure à 60/100mm
Risque peu probable de problèmes dans l'assise traitée	Risque peu probable de problèmes dans l'assise traitée : hétérogénéité dégradations localisées interfaces...	Mauvaise assise traitée: portance et rigidité insuffisantes, dégradations par décohésion	Risque peu probable de problèmes dans l'assise traitée	Risque peu probable de problèmes dans l'assise traitée: toutes dégradations possibles	Mauvaise assise traitée : décohésion
(1) y compris l'ancienne chaussée dans le cas d'un renforcement					

d - Produit Rd

- Principe de l'essai

En un point donné de la chaussée, on mesure la déformation provoquée par une charge de 6,5 tonnes qui se déplace par rapport au point de mesure. Cette charge est constituée par le jumelage du déflectographe Lacroix.

La mesure permet de tracer la ligne d'influence qui traduit les variations de la déformation de la chaussée en fonction de la distance du point de mesure à charge mobile. On en déduit la déflexion maximale (d) et le rayon de courbure (R) au sommet de la ligne d'influence.

- Références pratiques

L'expérience acquise en France a permis un étalonnage des valeurs de $R.d$ sur les assises traitées courantes. Une présentation graphique bilogarithmique $\log d$ et $\log R$ a été dégagée dans laquelle on distingue des zones réputées bonnes, douteuses ou mauvaises.

Le produit Rd est particulièrement utile, il renseigne sur les zones fragiles. En effet de telles zones se traduisent par une diminution du rayon de courbure beaucoup plus rapide que l'augmentation de la déflexion. D'où l'utilité de ce critère beaucoup plus sensible que la déflexion seule pour détecter les zones fragiles.

e - Carottage

f - Trafic

En ce qui concerne le trafic, la DTP de Safi dispose d'un compteur au PK 39 du CT 6501. Les trafics enregistrés avant et après l'opération de traitement sont :

en 1992	812 v/j
en 1993	950 v/j

- Rapport LPEE n° 91 - 258 - 01 - 31E - GR / du 24/6/92 fait à SAFI
- Rapport LPEE N° 92161 9 269 du 30/11/92 (CERET - Casablanca).
- Rapports de suivi de la réalisation de l'expérimentation (DTP de Safi).
- Revue Marocaine du Génie Civil n° 47 du mois de Novembre 1993.
- Rapport N°1 de suivi de l'expérimentation de la Grave Traitée au Ciment sur le CT 6501 établi par le CNER en Octobre 1994.
- Rapport N°2 de suivi de l'expérimentation de la Grave Traitée au Ciment sur le CT 6501 établi par le CNER en Juin 1996.

1 • Identification des graves calcaires

Courbes granulométriques : Tout-venant 0/31,5

Courbes granulométriques : Tout-venant 0/20

Courbe proctor

2 • Etude de variation des différents paramètres

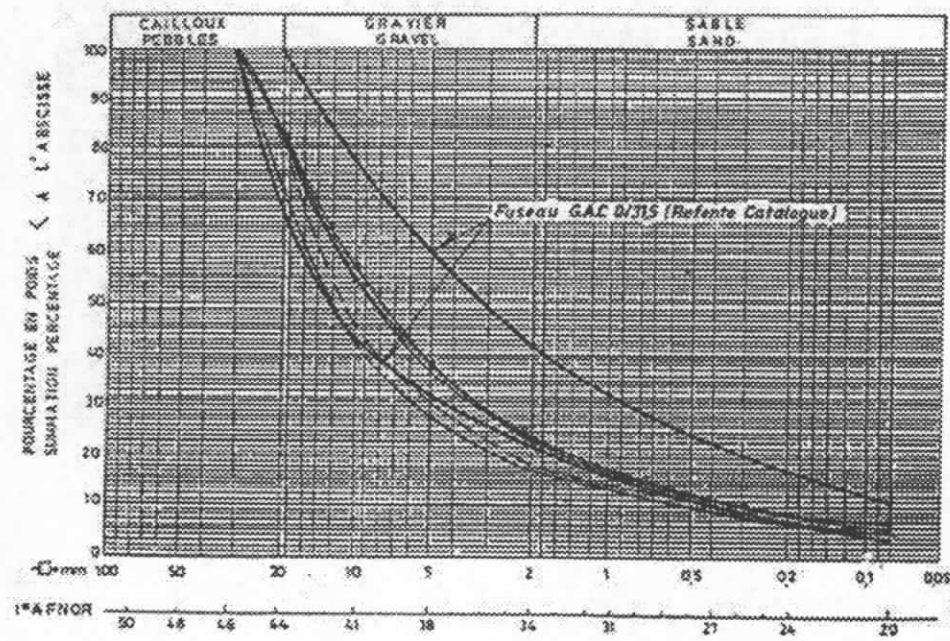
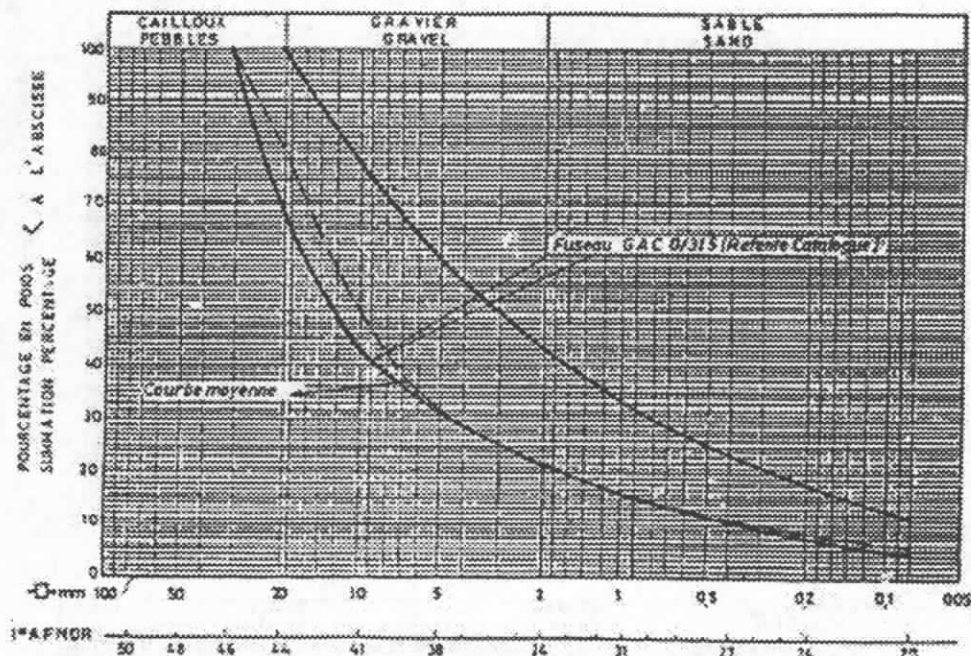
Variation du CBR en fonction du dosage en ciment

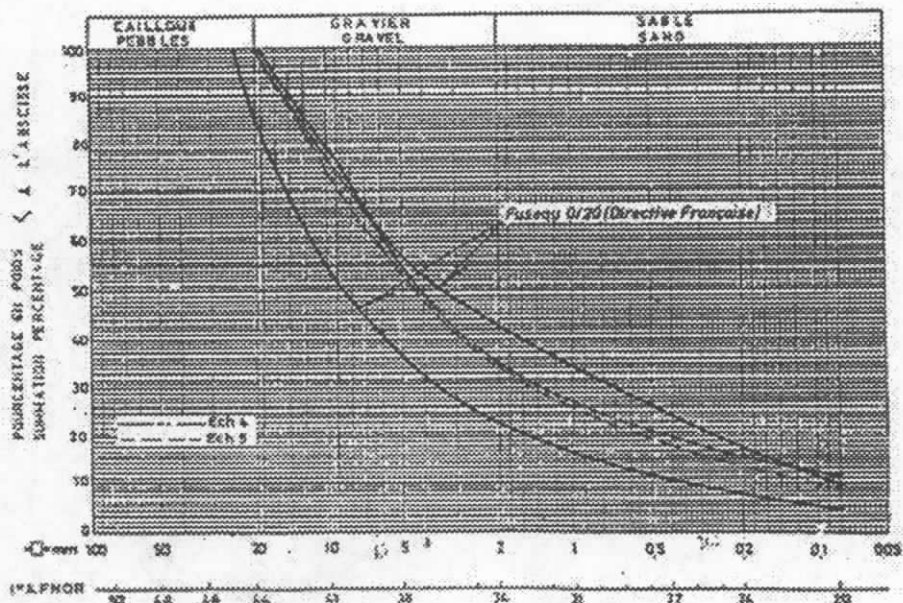
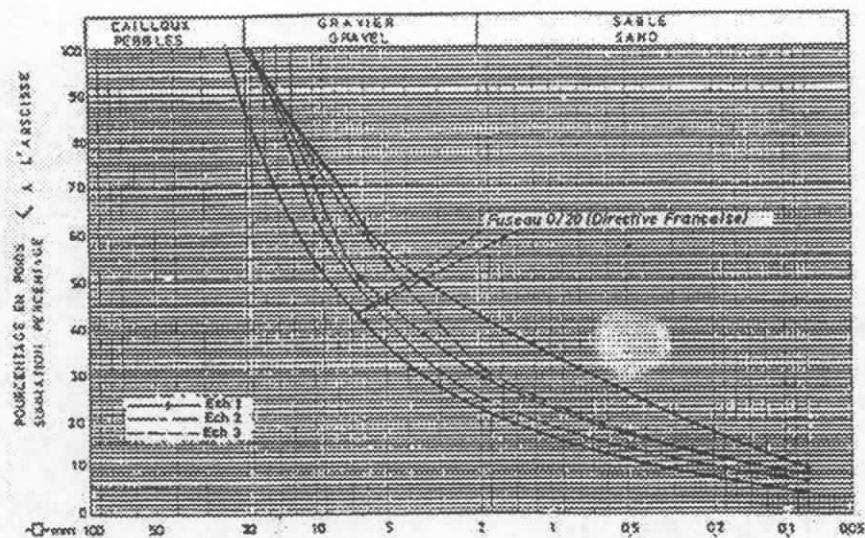
Variation de la résistance à la compression

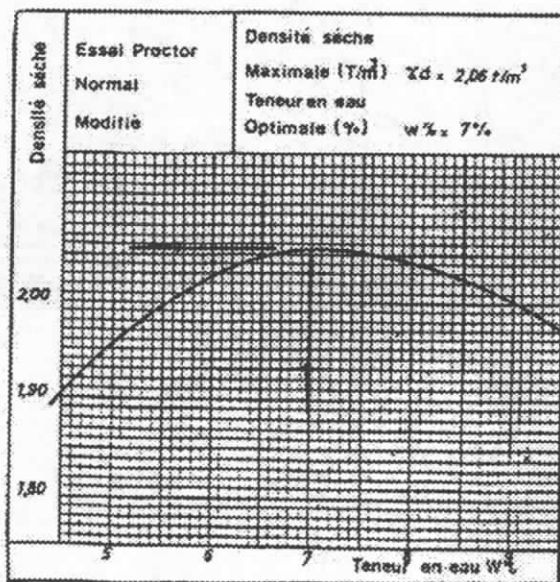
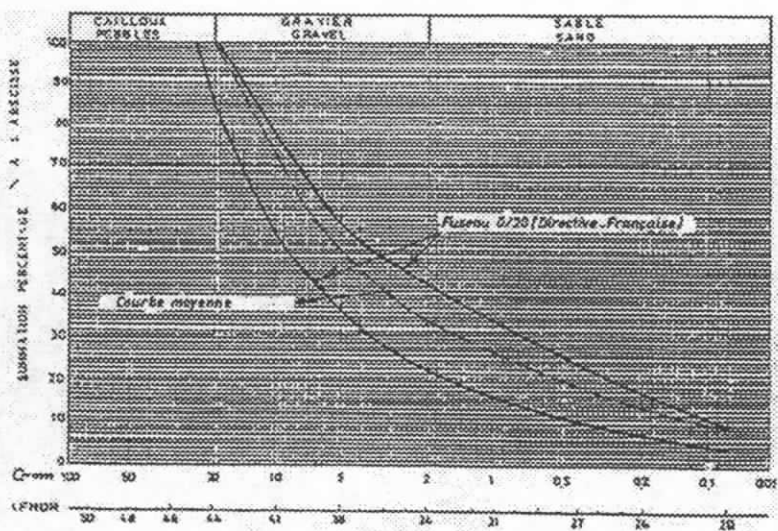
Variation de la résistance à la traction par fondage Bresilien

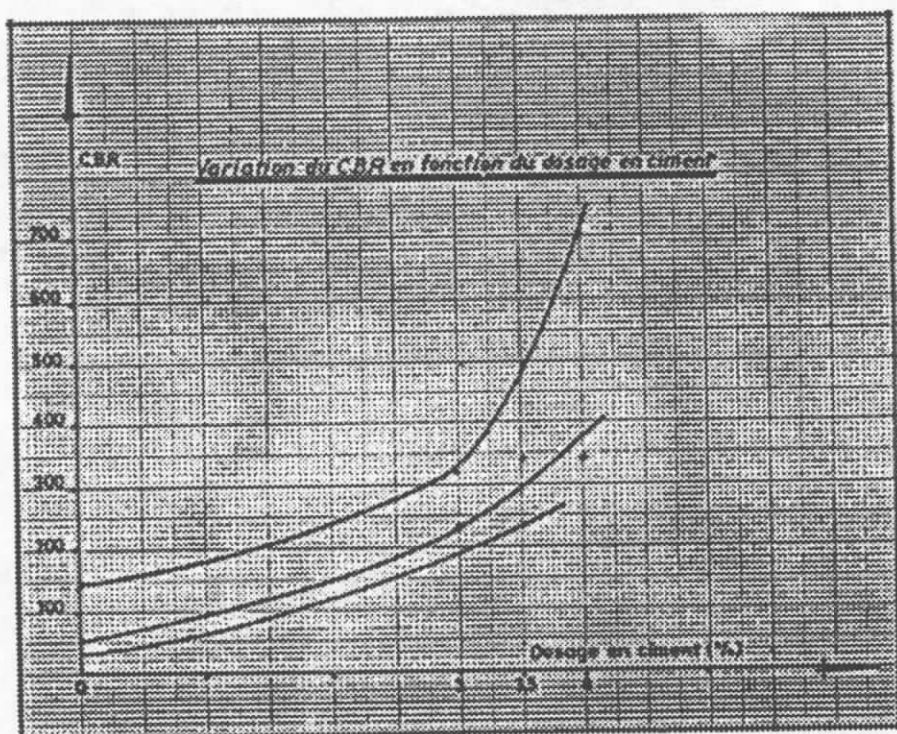
Résistance à la traction directe et des modules sécants à 28 j.

Identification des graves calcaires









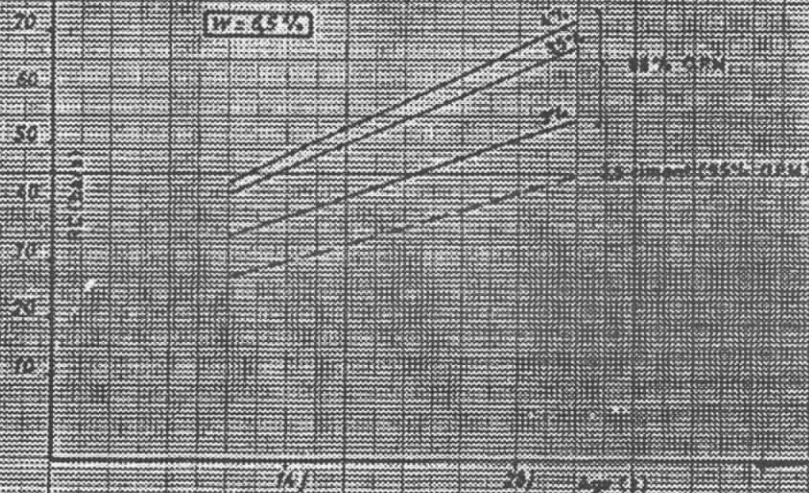
CT 6501

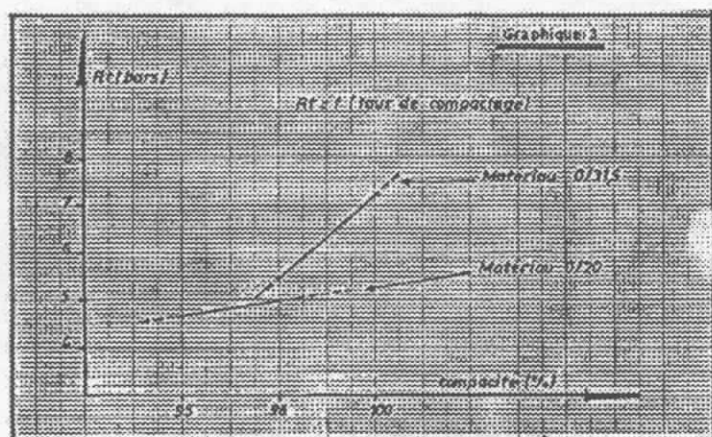
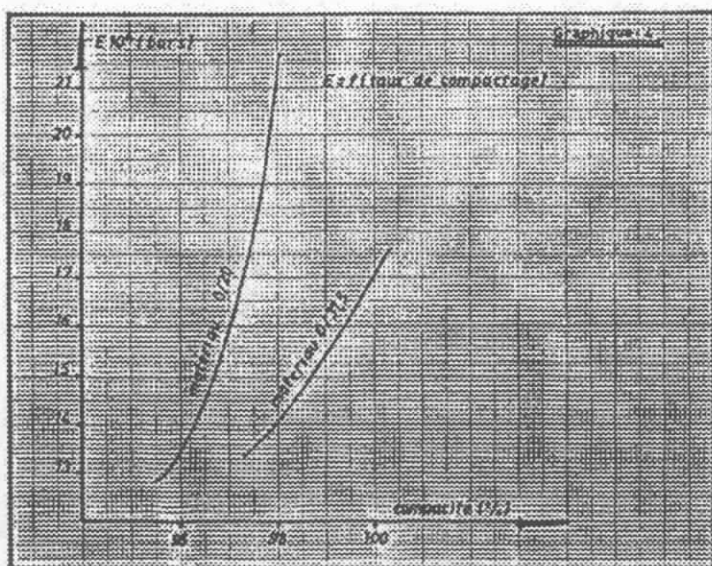
Graphique - 1

Variation de la résistance à la compression simple
en fonction du dosage en ciment, du taux de compactage
et de l'âge.

sur matériau 0/20

$W = 65\%$





Resistance à la traction par l'essai de Brésil en fonction
du dosage en ciment du taux de compactage et du ϕ max. du matériau

Graphique 2

