

المملكة المغربية



تحت الرعاية السامية لصاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله
O 54545 5.4454 | O.O | U5445O 5X44A E54CC.A U4O 0E4O .A 5.4I 0004
SOUS LE HAUT PATRONAGE DE SA MAJESTÉ LE ROI MOHAMMED VI

11^{ème} المؤتمر الوطني للطرق المؤتمر الوطني للطرق O.XO.O.U .A.O.E:O | 4004A Congrès National de la Route

SOUS LE THÈME

تحت شعار

Quels rôles de l'infrastructure routière dans le nouveau modèle de développement économique et social du Maroc ?

أية مكانة لتطوير البنية التحتية
الطرقية في تنزيل النموذج
الجديد للتنمية الاقتصادية
و الاجتماعية بالمغرب ؟

Dalle Moghrébine du sud marocain :

- Problématique et Conditions d'exploitation en Génie Civil
- Tenue à l'eau des enrobés

Présenté par:

M. LOUARDI : LPEE

E. EL ABED : LPEE

J. EL MASBAHI : LPEE

- Problématique
- Géologie et hydrologie
- Description de la dalle moghrébine
- Utilisation en enrochements et bétons
- Utilisation en GNT et enrobés
- Problématique de la tenue à l'eau
- Conclusion et recommandations

PROBLÉMATIQUE

Zone sud = Pénurie de matériaux de construction

Carrières conventionnelles : 300 à 500 Km

Pas de carrières potentielle : Ni Roches massives
Ni Ballastières alluvionnaire

Seule alternative : **Dalle moghrébine**

Problème :

- 1- Potentialités métriques non importante (1m de prof max)
- 2- Matériaux relativement légers (2,2 à 2,7 T/m³)
- 3- Matériaux ne répondant pas à toutes les normes du GC

GÉOLOGIE ET HYDROLOGIE (1/2)

□ Géologie :

- 1- Plateforme continentale : Les hamadas (Plateaux calcaire ou gréseux)
- 2- Bassin côtier : Quaternaire Plio-Villafranchien = Plateau moghrébien

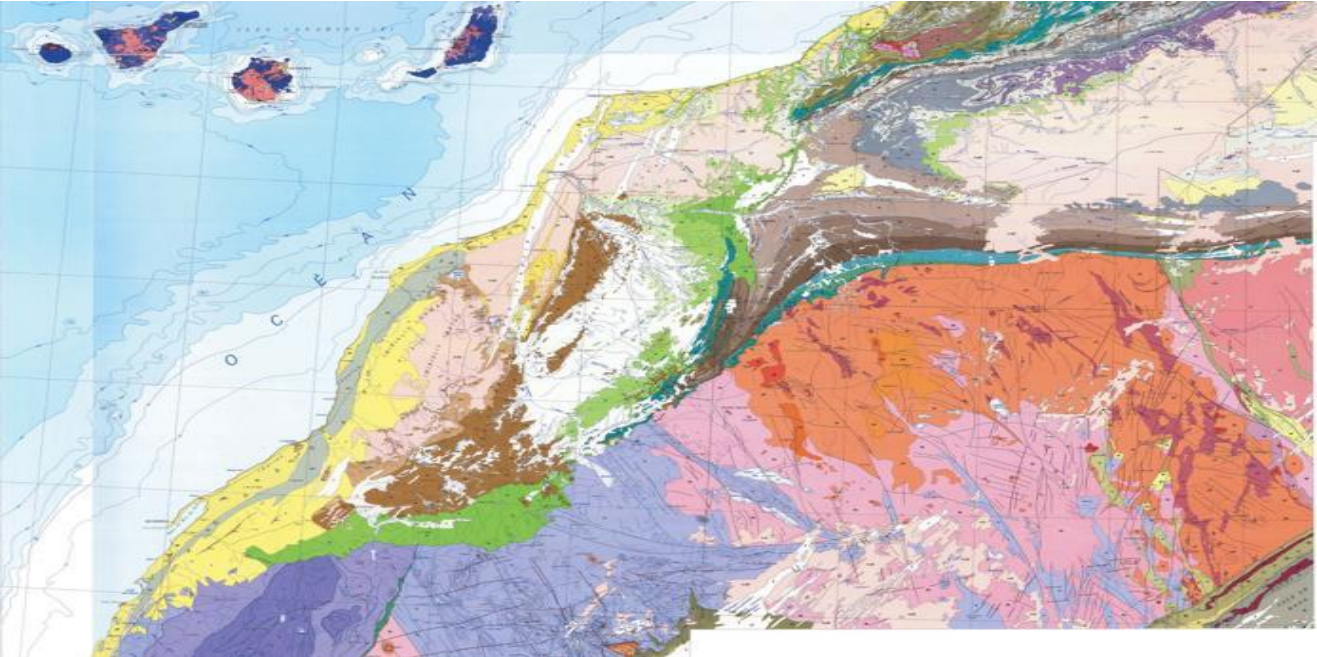
□ Hydrologie :

Affluents et quelques oueds côtiers : Pauvres en matériaux de charriage



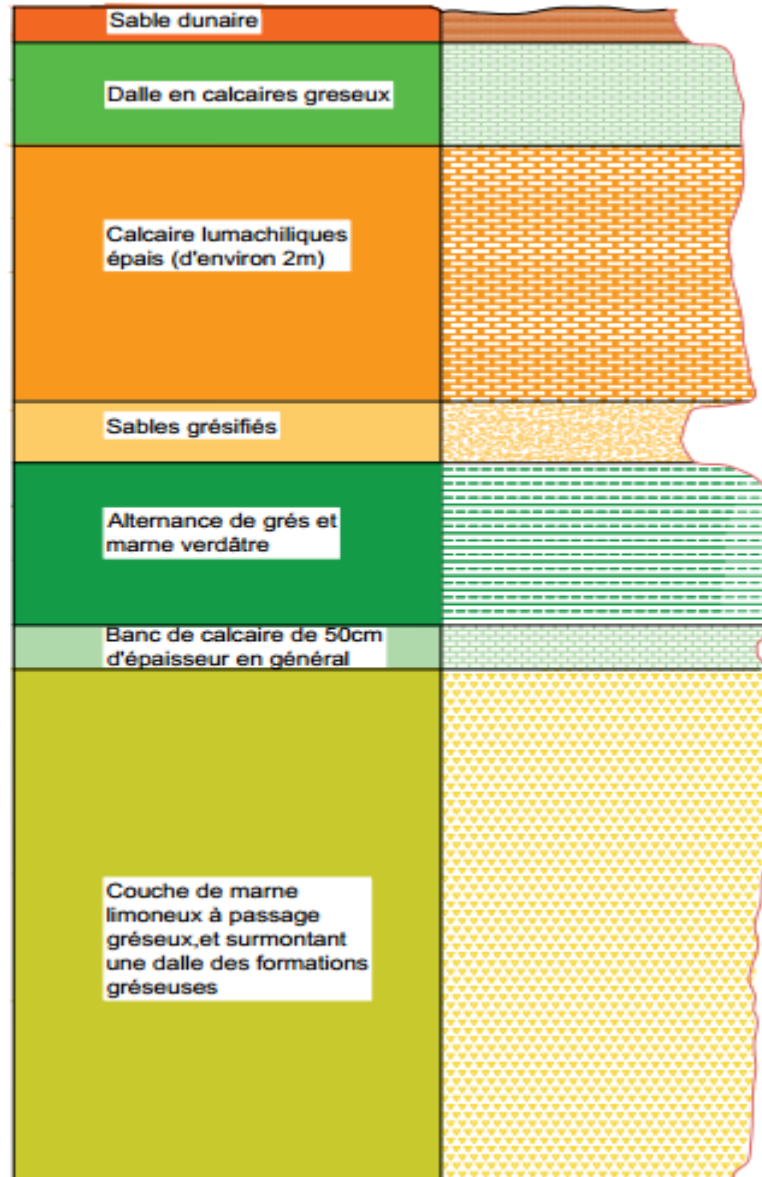
Pénurie de matériaux de
construction

GÉOLOGIE ET HYDROLOGIE (2/2)



Les calcaires gréseux surmontent les sables grésifiés (grès dunaire) ou les marnes vertes

Titre 3 : Description de la dalle moghrébine



Le faciès moghrébin, réputé irrégulier et variable, se présente sous forme d'une **croûte grésocalcaire coquillée** à la base avec une épaisseur exploitable variant généralement entre 0.5 à 1 m.

Elle s'étale depuis TAN-TAN (Coté ouest : Zone d'El Ouatia) et continue jusqu'au sud extrême de notre pays (Laguira)



UTILISATION EN ENROCHEMENTS (1/5)

□ Spécifications :

Caractéristiques	Dureté LA (%)	Résistance MDE (%)	Densité (t/m ³)	Rc (MPa)	Porosité (%)	Altérabilité au MgSO ₄ (%)
Spécifications courantes : norme NM EN 13383-1&2	≤ 30 (Enrochements) ≤ 35 (TV)	≤ 30 (Enrochements) Non requis (TV)	≥ 2.50 (Enrochements) ≥ 2.30 (TV)	≥ 50 (Enrochements) ≥ 30 (TV)	≤ 2	≤ 25 *
Spécifications Port Terfaya	≤ 35	-	≥ 2.35	≥ 26	≤ 2	≤ 18

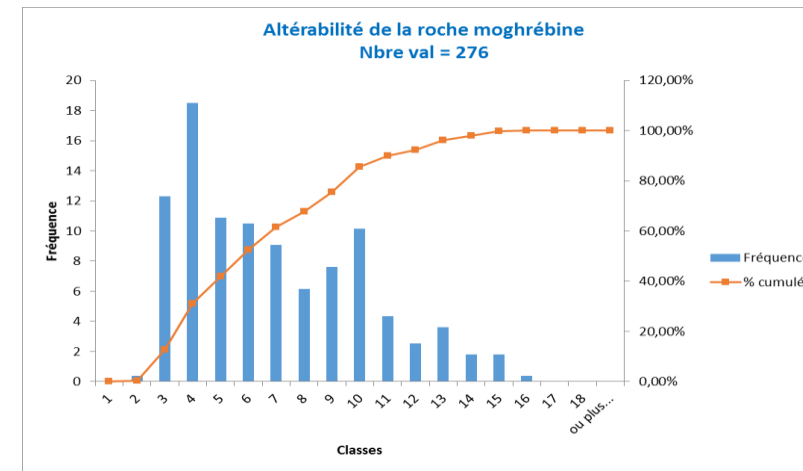
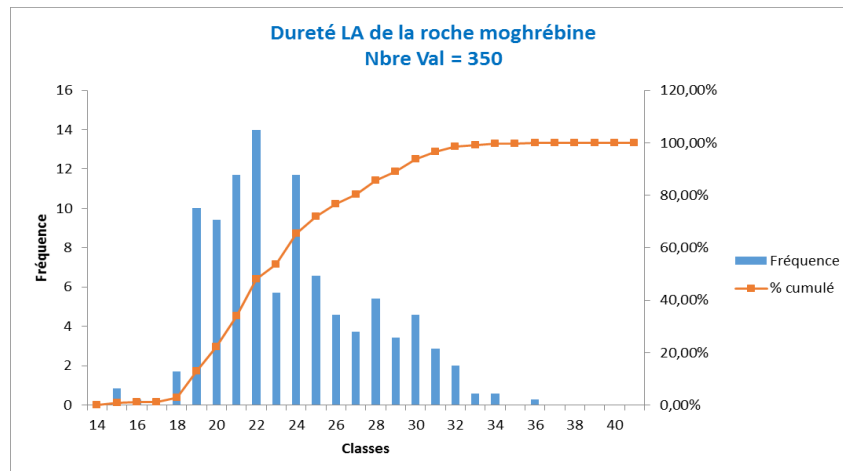
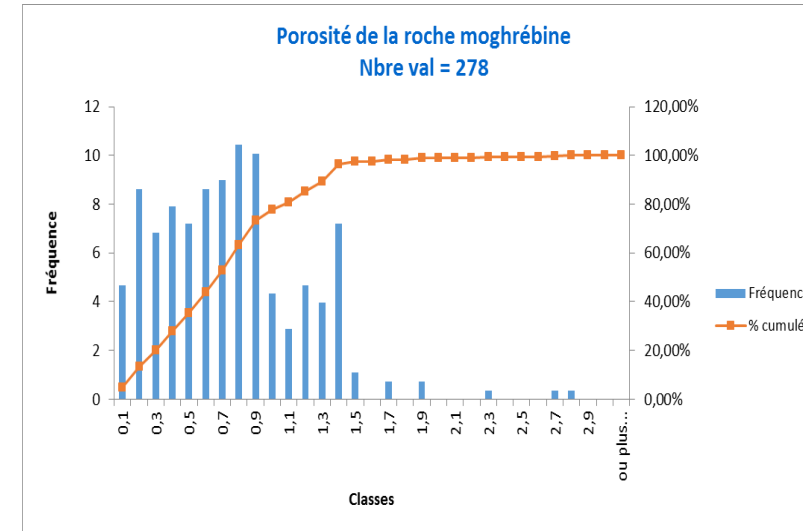
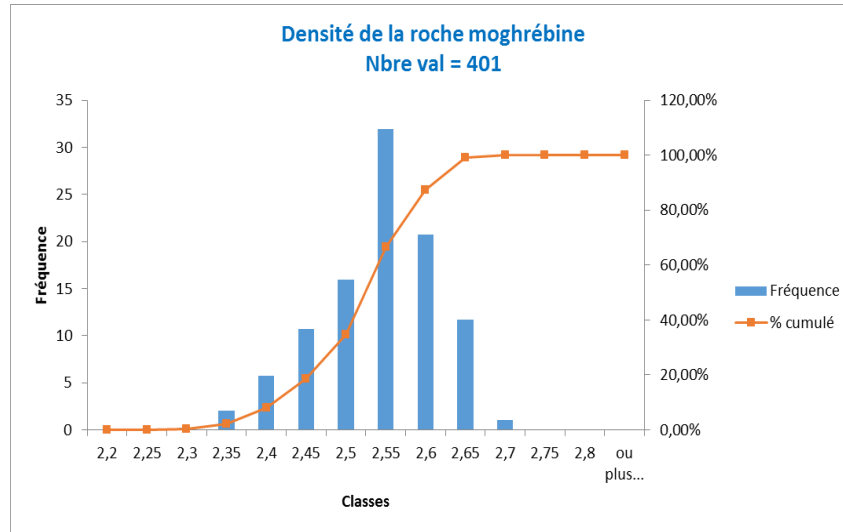
(*) Cet essai n'est pas nécessaire si l'enrochement est destiné à être en permanence submergé.

□ Résultats (Port de Terfaya) :

Caractéristiques	Dureté LA (%)	Résistance MDE (%)	Densité (t/m ³)	Porosité (%)	Altérabilité au MgSO ₄ (%)
Valeurs	15 à 36 94 des val < 30 et 6% des val entre 30 et 36	(*)	2.30 à 2.70 70% des val > 2.50 et 30% des val comprises entre 2.30 et 2.5	0.1 à 2.8 99% des val < 2 et 1% des val comprises entre 2 et 2.8	2 à 16 85% des val entre 2 et 10 et 15% entre 10 et 16

(*) La résistance MDE n'a pas été spécifiée sur le CCTP du chantier du port de Tarfaya

UTILISATION EN ENROCHEMENTS (2/5)



UTILISATION EN ENROCHEMENTS (3/5)

Critères de Durabilité des enrochements (Réf : Guide des seuils de durabilité des enrochements) :

		Quality and durability guide (not intended for specification purposes)			
Criteria	Reference	Excellent	Good	Marginal	Poor
Petrographic evaluation	Trained Petrographer	**	**	**	**
Mass density, ρ_{rock} (t/m ³)	EN 13383-2:2002	>2.7	2.5-2.7	2.3-2.5	<2.3
Water absorption (%)	EN 13383-2:2002	<0.5	0.5-2.0	2.0-6.0	>6.0
Microporosity/Total porosity (%)	Lienhart (2003)	<2	2 to 6	6 to 20	>20
Methylene Blue Adsorption (g/100g)	Verhoef (1992)	<0.4	0.4-0.7	0.7-1.0	>1.0
Compressive Strength (MPa)	EN 1926:1999	>120	120-80	80-60	<60
Schmidt impact index (% rebound)	ISRM (1988)	>60	50-60	40-50	<40
Sonic Velocity (km/s)	EN 14579:2004	>6	4.5-6	3-4.5	<3
Point Load Strength (MPa)	ISRM (1985)	>8	4-8	1.5-4	<1.5
Fracture toughness (MPa.m ^{1/2})	ISRM (1988)	>1.7	1.0-1.7	0.6-1.0	<0.6
Indirect Tensile (Brazilian) Strength (MPa)	ASTM D3967-95a (2004) ISRM (1978)	>10	5-10	2-5	<2
Los Angeles (% loss)	EN 1097-2:1998	<15	15-25	25-35	>35
Micro-Deval (% loss)	EN 1097-1:1996	<10	10-20	20-30	>30
MgSO ₄ Soundness (% loss)	EN 1367	<2	2-10	10-30	>30
Freeze-thaw (% loss)	EN 13383-2:2002	<0.5	0.5-1	1.0-2	>2
Sonic velocity reduced by freeze-thaw (% change) ***	Section 3.8.6	<5	5-15	15-30	>30
Wet-dry (% loss)	ASTM D5313-04	<0.5	0.5-1	1.0-2	>2

UTILISATION EN ENROCHEMENTS (5/5)



UTILISATION EN BETON (1/3)

- **Bétons usuels** : Pas de problème particulier (R_c , Slump, Densité...)
- **Bétons spécifiques** : Bétons lourds pour Blocs artificiels (Acropodes, tétrapodes...):

1- Problématique :

Densité Béton recherchée $\geq 2,4$ voire $2,5 \text{ t/m}^3$

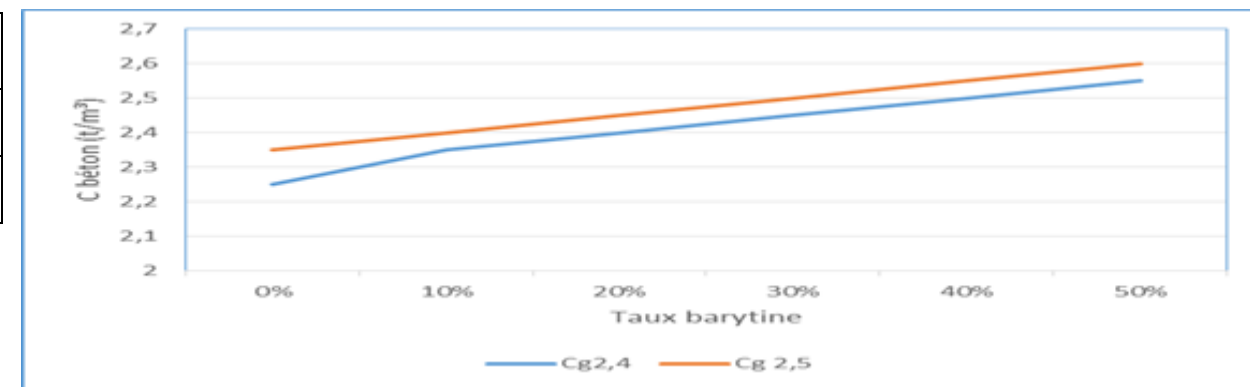
Densité béton courant (gr RM) $\approx 2,35 \text{ t/m}^3$ ($2,33$ à $2,38 \text{ t/m}^3$)

2- Solutions : Utilisations d'ajouts (Barytine : sulfate de baryum)



Taux de barytine/ Poids granulats	00%	10%	20%	30%	40%	50%
Compacité du béton ($\delta_g = 2.4\text{T/m}^3$)	2.25	2.35	2.40	2.45	2.50	2.55
Compacité du béton ($\delta_g = 2.5\text{T/m}^3$)	2.35	2.40	2.45	2.50	2.55	2.60

Tab : Evolution de la densité du béton en fct du % barytine



UTILISATION EN BETON (2/3)

- **Principaux résultats sur granulats** : Val sables : 143 – Val Gr : 137

Granulats	Sables		Gravillons		
Caractéristiques	ES à 10% F	MF	CA	PS	LA
Résultats	75 -96 Moy = 88	2,4 à 3 Moy = 2,8	12 – 24 Moy = 16 et 18	0,2 -1,4 Moy = 0,6 et 0,9	21 – 28 Moy = 24 et 26
Spécifications EN 12620	> 65	1,5 à 2,8	< 30%	< 1,5	< 40

Désignations	Granulats issus de la dalle moghrébine	Sable dunaire
Al ₂ O ₃	1,92	4.35
Fe ₂ O ₃	0,91	1.01
CaO	37,73	22.40
K ₂ O	0,59	1.41
MgO	1,49	1.22
Na ₂ O	0,44	1.64
P ₂ O ₅	0,03	0.18
SiO ₂	23,47	47.30
TiO ₂	0,17	0.11
Perte au feu à 1000° C	32,90	20.4
Teneur en chlorures (%Cl ⁻)	0,013	0.021
Teneur en sulfates (%SO ₃)	0,060	0.050
Teneur en alcalins actifs (%Na ₂ O Equivalent*)	0,0170	0.0063
Teneur en sulfures (%S ²⁻)	0,012	0.01
Teneur en soufre (%S)	0,036	0.030

- Alkali-réaction : Essais à l'autoclave : entre 0,04 et 0,06% <<< 0,15%

UTILISATION EN BETON (3/3)

□ Principaux résultats sur bétons (Port de Tefaya)

Classe Béton	Béton Q 350			Béton Q 370			Béton Q400 (anti-affouillement)		
Caractéristique	Densité (t/m ³)	Rc 7j (MPa)	Rc 28j (MPa)	Densité (t/m ³)	Rc 7j (MPa)	Rc 28j (MPa)	Densité (t/m ³)	Rc 7j (MPa)	Rc 28j (MPa)
Nbre	357	1469	1462	470	1509	1551	28	84	84
Min	2.36	23.0	30.0	2.39	27.9	34.8	2.36	30.5	40.5
Max	2.42	43.0	51.8	2.44	47.8	53.2	2.38	36.0	44.5
Moy	2.39	31.5	40.0	2.41	35.5	44.5	2.37	33.0	42.5
Spécifications CPS	-	-	≥ 27.5	≥ 2.40	-	≥ 27.5	≥ 2.35	-	≥ 30

Désignations	Densité Min (T/m ³)	Densité Max (T/m ³)	Densité Moyenne (T/m ³)
Béton durci Q 370 (88 valeurs) sur éprouvettes labo	2.40	2.42	2.41
Pesage des acropodes 4m ³ (122 éléments)	2.36	2.41	2.38
Pesage des acropodes de 2m ³ (104 éléments)	2.35	2.41	2.38

CARRIÈRES EXPLOITEES POUR LE PROJET DE LA VOIE EXPRESS TIZNIT-LAAYOUNE



a. Choix du site :

- * Choisir l'emplacement du gisement
- * Délimiter la formation à exploiter en procédant à une reconnaissance détaillée et en se basant sur les résultats des caractéristiques intrinsèques de la roche (dureté, masse volumique et porosité).

b. Mode d'extraction des matériaux :

- * Vu l'affleurement de cette dalle en surface, l'exploitation est réalisée à ciel ouvert sans faire appel à une excavation de couche sus-jacente.
- * L'extraction consistait à détacher et à fragmenter les matériaux du massif rocheux au moyen des rippers , pelles mécaniques et brise roche à l'exception d'une seule carrière à Elouatia située au niveau du Pk1245 de la voie express où il a été fait appel à l'explosif.



c . Production des granulats

1. Alimentation du concasseur :

La roche fragmentée (0/800mm) est reprise par des chargeurs ou des pelles hydrauliques et transportée par des camions vers le concasseur primaire.



2 . Fabrication des granulats :

- * Le concassage a pour rôle de réduire la taille des granulats par leur passage au travers de concasseurs.
- * Les concasseurs utilisés sont :
 - Concasseur à mâchoires à ouverture allant à 120 mm.



MODE D'EXTRACTION DES MATERIAUX

- Les cônes (giratoires) et/ou à percussion (marteaux) pour les concassages secondaire et tertiaire



- Le Criblage : Pour répartir au moyen de cribles les granulats par classes granulométriques correspondant aux différentes utilisations.



- L'opération de scalpage ou pré-criblage : est envisagée dans le cas d'un brut impropre pour éliminer les particules fines et améliorer en conséquence la propreté des granulats.

UTILISATION EN MATERIAU DE COUCHE DE FORME

Il n'est pas judicieux économiquement de faire appel à la dalle maghrébine

vu l'abondance d'autres natures de formations détritiques de classe GTR/GMTR D3, CiB3 et CiB5 dans cette région et qui nécessiteraient dans leur élaboration uniquement une opération d'écrêtage des gros éléments.

Dans le cas où on serait contraint de l'utiliser, un concasseur mobile muni d'un crible serait suffisant pour élaborer une grave 0/D convenable pour cet usage.

UTILISATION EN GNF1

Spécifications exigées pour la GNF du projet de doublement de la voie express Tiznit-Laayoune

a. Pour la zone Tiznit / Oued Lwaar :

Caractéristiques	Granularité	Propreté	Dureté	Angularité
Spécifications	Voir fuseau 0/40 ou 0/60 mm de la DRCR	IP<6, ES (0/2)>45 sinon VB < 1,2	LA < 30 et MDE < 25 avec règle de compensation de 5 points	Indice de concassage > 60

b . Pour la zone Oued Lwaar/Laayoune :

Caractéristiques	Granularité	Propreté	Dureté	Angularité
Spécifications	Voir fuseau 0/40 ou 0/60 mm de la DRCR	IP<6, ES (0/2)>45 sinon VB < 1,2	LA < 30	Indice de concassage > 60

Il est remarqué l'absence de spécifications sur la résistance MDE au niveau de la zone **Oued Lwaar/Laayoune** est due à la prise en considération de la climatologie de cette région.

UTILISATION EN GNF1

QUELQUES RÉSULTATS DES ESSAIS D'IDENTIFICATION SUR LA GNF 1

Caractéristiques	Courbe granulométrique	IP	VB _{0/D}	ES	LA	MDE
Nombre de valeur	222	92	102	167	115	50
Minimum	Inscrite dans le fuseau des spécifications du CPS	NM	0,2	31	20	18
Moyenne		NM	0,72	48	24	23
Maximum		NM	1,2	58	38	29
Spécifications	Fuseau 0/40mm	<6	≤ 1.2	≥ 45	≤ 30	≤ 25



Utilisation possible pour les futurs projets autoroutiers

La GNT ne poserait pas de problème particuliers si les fronts sélectionnés sont assez durs

Cependant, il va falloir être très regardant sur la propreté et prévoir un scalpage lorsqu' 'il est nécessaire pour assurer $ES \geq 50\%$ ou $VB\ 0/D \leq 1$.

UTILISATION EN GRANULATS POUR ENROBES BITUMINEUX

Spécifications exigées pour les granulats

a. Sable :

Caractéristiques	Propreté
GB 2 0/14, GB 4 0/14, BBSG 2 0/14 et BBM 3 0/10	ES \geq 55 sinon VB \leq 2

b. Gravillons :

Caractéristiques	Granularité	PS %	Dureté %		Forme %	Angularité	CPA
GB 2 0/14	NM 13.1.210 et NF P 18-545	\leq 2 sinon MBF \leq 10	LA \leq 30	MDE \leq 25	C A \leq 25	Rc \geq 4 (ballastières)	-
GB 4 0/14			-				
BBSG 2 0/14	NM 13.1.214 et NF P 18-545		LA \leq 25	MDE \leq 20*			\geq 0.50*
BBM 3 0/10	NM 13.1.206 et NF P 18-545						

(*) MDE et le CPA ont été proscrits au niveau de la section Oued Lwaar/Laayoune compte tenu de la climatologie de cette région.

UTILISATION EN GRANULATS POUR ENROBES (1/2)

QUELQUES RÉSULTATS DES ESSAIS D'IDENTIFICATION SUR GRANULATS POUR ENROBES

Sable concassé SC 0/4 mm :

Caractéristiques	< 63 µm (%)	ES à (10%)	VB
Nombre de valeurs	82	82	6
Minimum	8,1	56	0,74
Moyenne	12,6	61	0,75
Maximum	17,6	66	0,75
Spécifications	ES ≥ 55 sinon VB < 2		

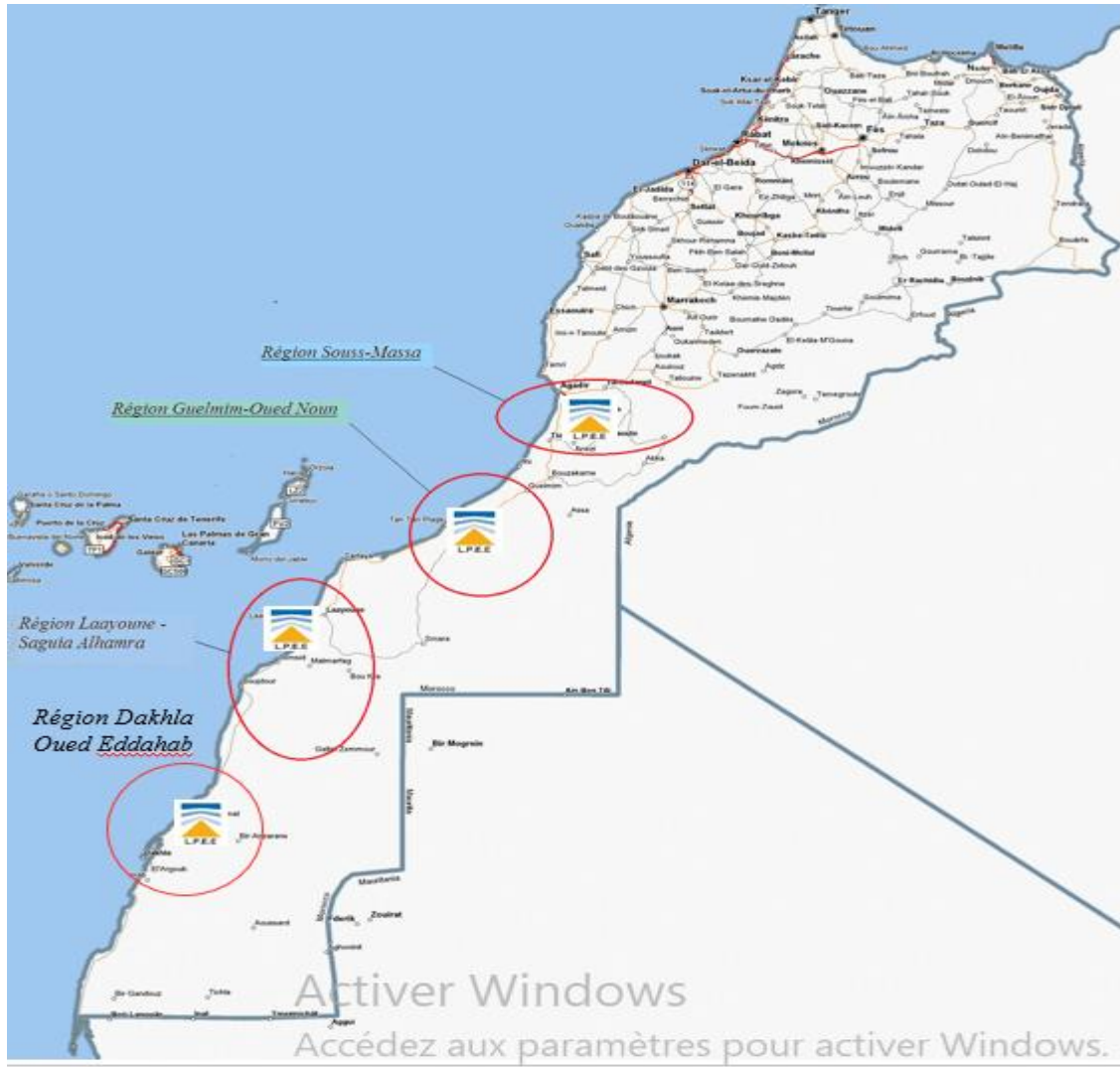
Gravillon G 6/10 mm :

Caractéristiques	P < 63 µm (%)	FI(%)	LA(%)	MDE(%)	MBF
Nombre de valeurs	81	81	43	3	3
Minimum	0	9	18	17	6,7
Moyenne	1	14	24	17	7
Maximum	2,7	22	30	17	6,7
Spécifications	≤ 2 (sinon MBF)	≤ 25	≤ 25 pour BBSG	≤ 30 pour BBSG	≤ 10
			et ≤ 30 pour GB2	et ≤ 35 pour GB2	

Gravillon G 10/14 mm :

Caractéristiques	P <63 µm (%)	FI (%)	LA (%)	MDE (%)
Nombre de valeurs	80	80	61	24
Minimum	0	4	17	14
Moyenne	1,2	10	21	16
Maximum	1,9	11	28	21
Spécifications	≤ 2 (sinon MBF)	≤ 25	≤ 25 pour BBSG	≤ 30 pour BBSG
			et ≤ 30 pour GB2	et ≤ 35 pour GB2

PROBLÉMATIQUE DE LA TENUE A L'EAU



La zone Sud du Maroc est une région à fort potentiel de développement. Ceci engendre une demande accrue en nouvelles infrastructures.

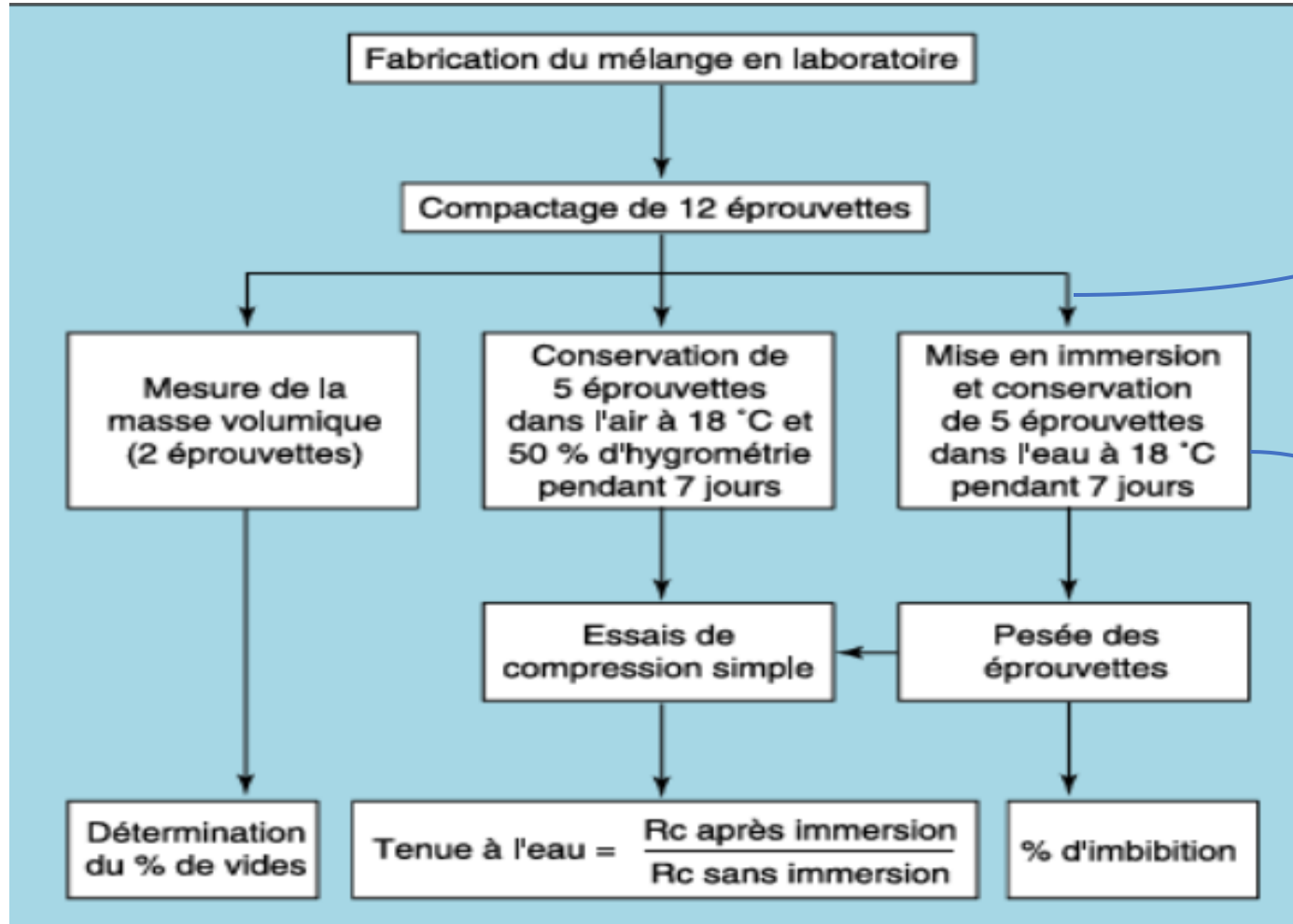
Les enrobés bitumineux à chaud étant des matériaux incontournables dans la construction et l'entretien des routes, il en résulte une production importante de ces matériaux dans la zone en question.

PROBLÉMATIQUE :
les seuils normatives de la tenue à l'eau ne sont pas respectés

ESSAIS DURIEZ

But de l'essai : Vérification de la tenue à l'eau de l'enrobé.

rh/R_s

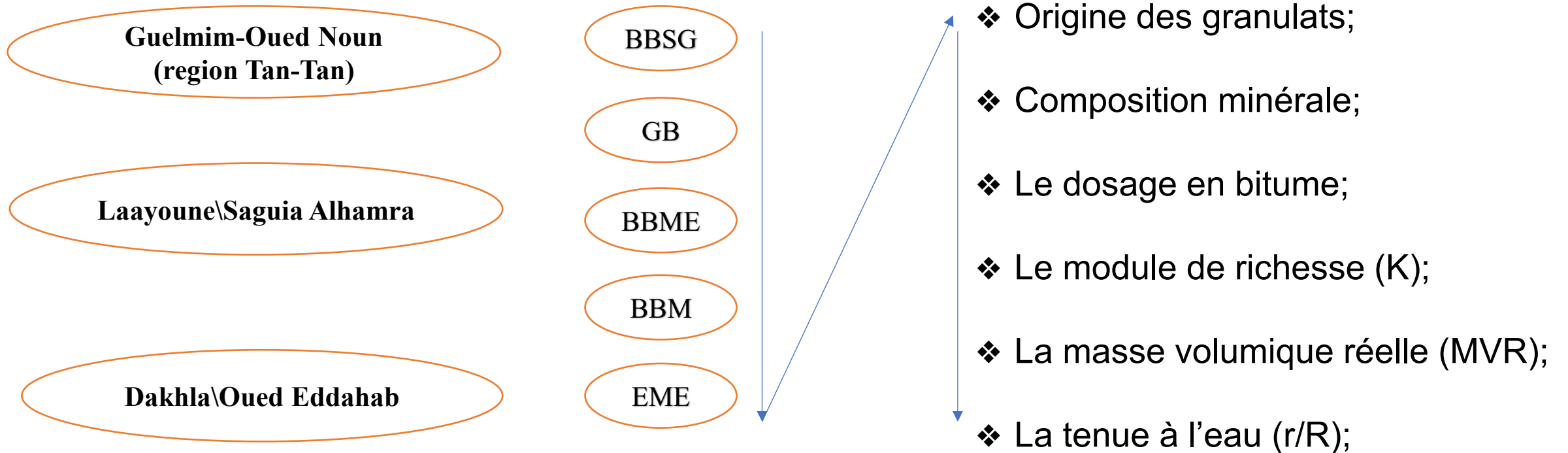


Dégazage
(3h)



RESULTATS DES ETUDES ET CONTROLES REALISES

Le présent travail synthétise les résultats issus d'un échantillon de 50 études de formulation ainsi que les contrôles à la mise en oeuvre des enrobés.



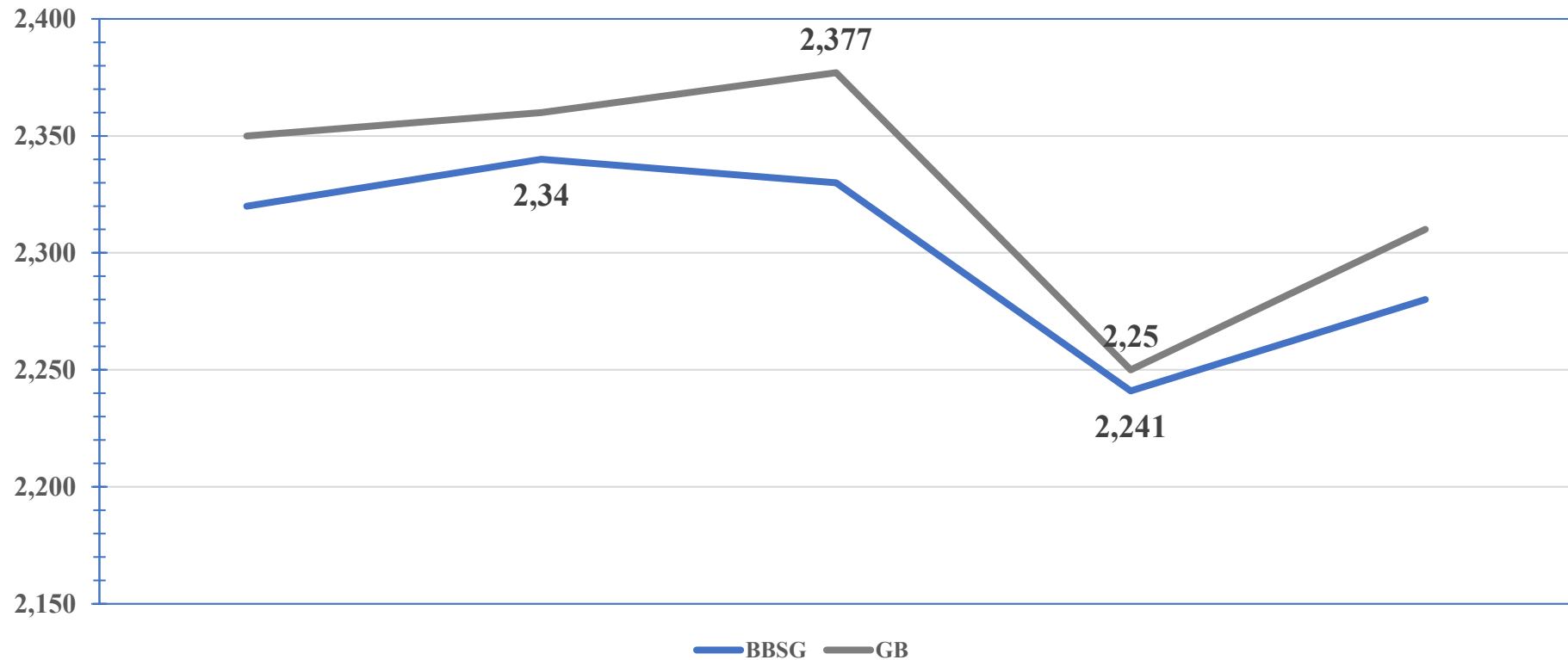
RESULTATS DES ETUDES ET CONTROLES REALISES

Nature	Composition minérale						% en BP
BBSG 0-10	0/4mm	40 - 45%	4/6mm	15 - 30%	6/10mm	20 - 35%	5,5 – 6,1

Nature	Composition minérale							% en BP	
GB 0-14	0/4mm	35 - 45%	4/6mm	20 - 35%	6/10mm	15 - 30%	10/14mm	20 - 30%	4,2 – 5,2

RESULTATS DES ETUDES ET CONTROLES REALISES

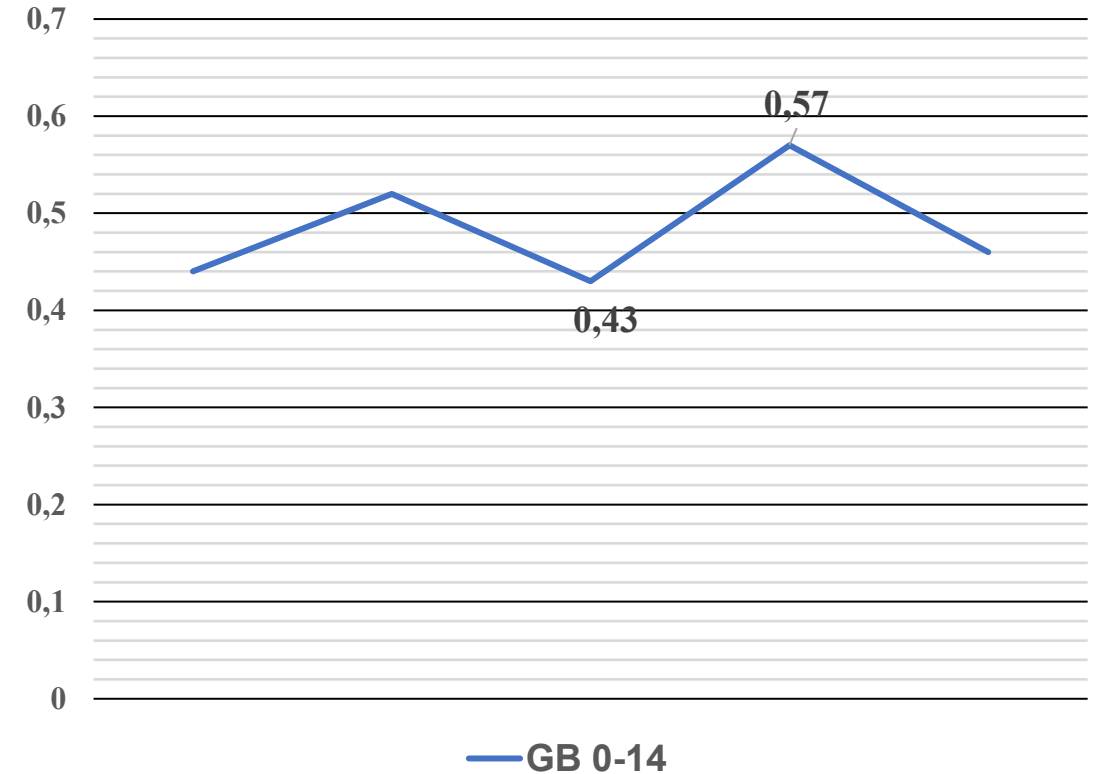
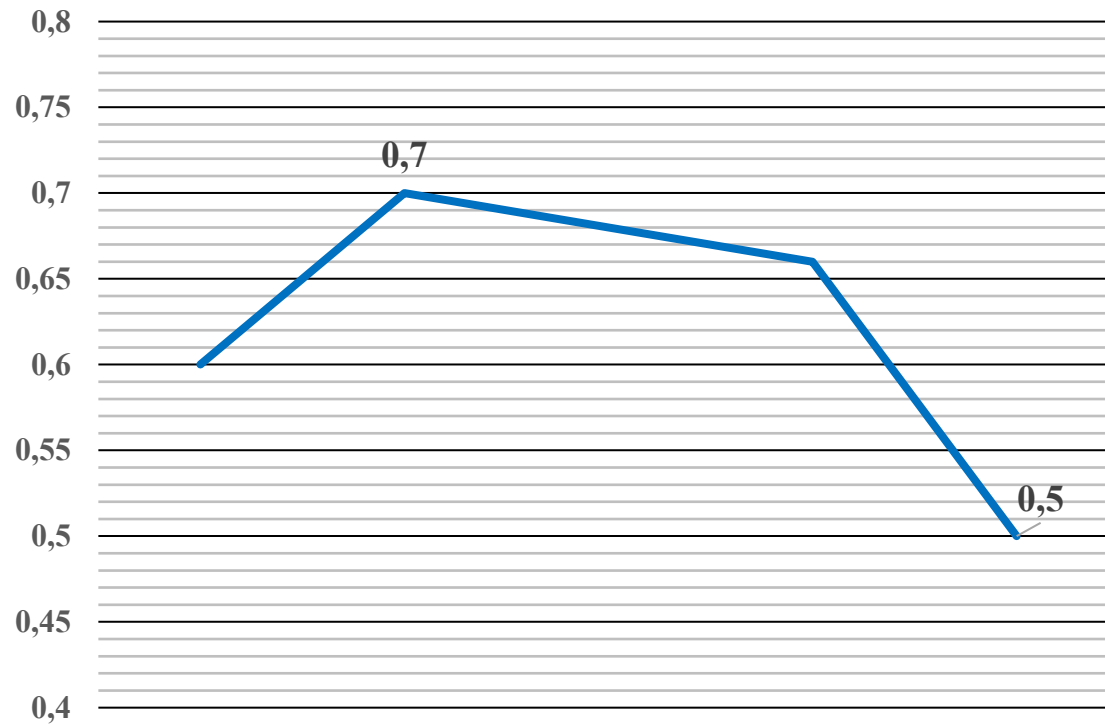
Valeurs de la masse volumique réelle du mélange par type d'enrobé



RESULTATS DES ETUDES ET CONTROLES REALISES

Valeurs de la tenue à l'eau r/R

BBSG 0/10



RESULTATS DES ETUDES ET CONTROLES REALISES



Les enrobés de la région du Sud

rh/R_s



Les granulats (grès de la dalle du Moghrébienne)

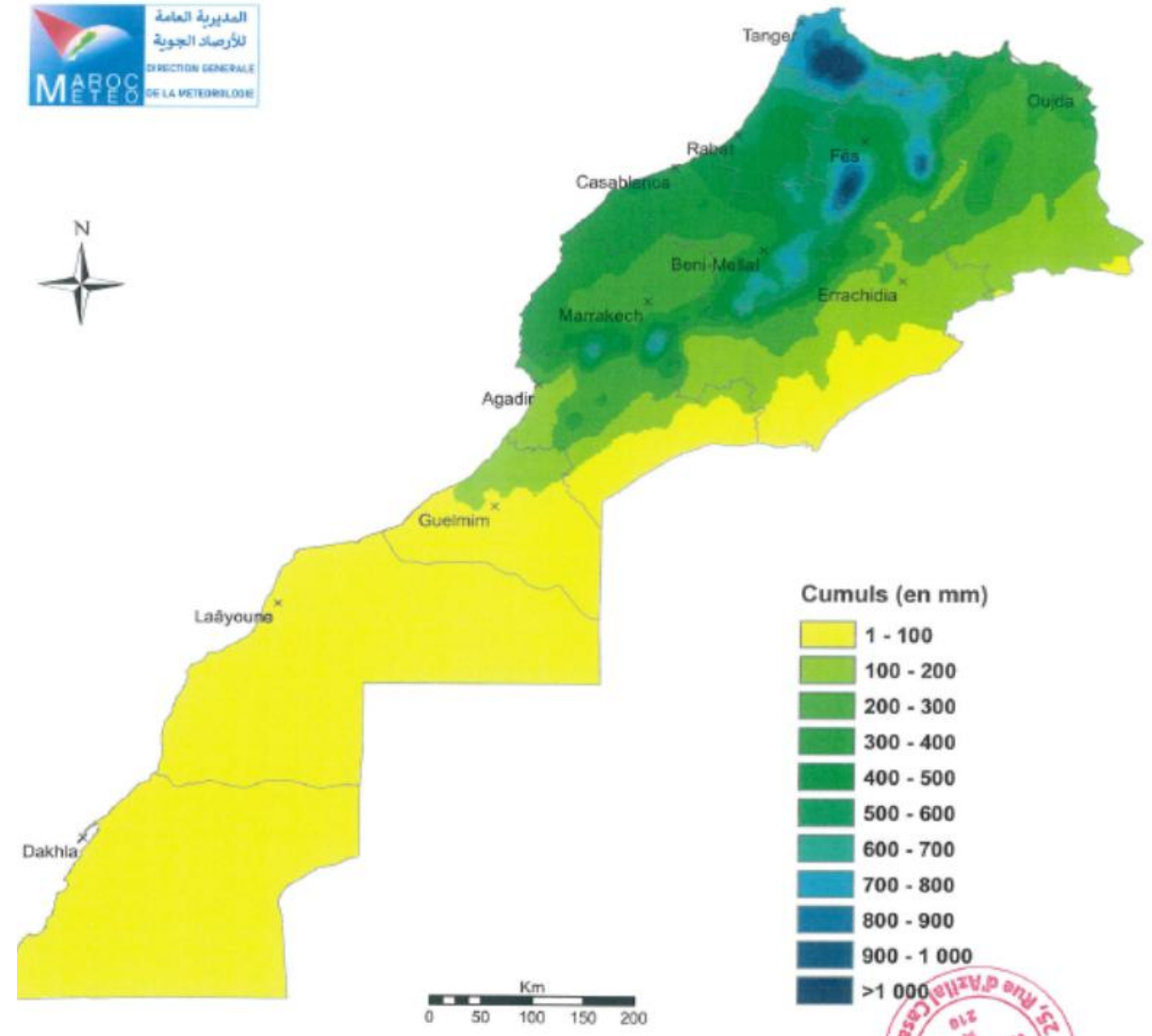
Porosité importante

Masse volumique relativement faible (2,5 t/m³).

% dope	Sans dope	à 2.5 ‰ de dope	à 3 ‰ de dope
Résultats d'adhésivité	50%	75%	90%

RESULTATS DES ETUDES ET CONTROLES REALISES

Cependant le contexte climatique de la région nous pousse à reconsidérer les valeurs des spécifications imposées sachant que la norme de l'essai Duriez exige de soumettre les éprouvettes à un dégazage (pendant 3h) suivi d'une imbibition pendant 7 jours. Ces conditions ne sont pas compatibles avec le climat désertique de la région.



RESULTATS DES ETUDES ET CONTROLES REALISES

Chantiers réalisés par les granulats issus de la dalle Mogrébine

Renforcement de la RN1 dans la région de Laayoune

Renforcement de l'Aérodrome et Parking de l'Aéroport Laayoune

Renforcement et élargissement de la piste d'aérodrome de l'aéroport de TAN-TAN

Renforcement et élargissement de la RN1 entre TAN-TAN et El Ouatia sur 25kms

Dédoublement de la RN1 entre Laayoune et El Marsa

Renforcement de la RN1 dans la région de DAKHLA

Renforcement de l'Aérodrome et Parking de l'Aéroport Dakhla

Durée de vie > 7 ans



Projets témoins

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

➤ **Recommandation 4 : Utilisation en Routes**

- ❖ CPA : A éliminer ou la rabaisser à 0.45 vu que la zone sud ne connaît pas des périodes de forte pluie et sa topographie est réputée très calme (plate ou avec de très faibles pentes),
- ❖ MDE : A considérer l'MDS au lieu du MDE en maintenant les mêmes seuils de spécifications.

Recommandation 5 : Tenue à l'eau des enrobés : La tenue à l'eau (r/R) des enrobés de la région Sud n'atteint pas les valeurs spécifiées par les documents de référence. Cependant, compte tenu du climat désertique de la région, Deux propositions sont envisageables:

- ❖ Modifier les spécifications normatives en tolérant des valeurs inférieures aux seuils actuels, exceptionnellement pour la région concernée.
- ❖ Effectuer l'essai Duriez sans passer par la phase du dégazage.

