

Objet du présent document	5
Généralités	6

Chapitre 1

Classification des matériaux

Classification LCPC.....	10
Classification des sols Sj	12
Classification GMTR	13
Classification GTR	14

Chapitre 2

Matériaux pour terrassements routiers

Matériaux pour remblais	17
A. Essais de laboratoire :	17
B. Appellations des différentes classes :	17
C. Conditions d'utilisation en remblai:.....	17
Matériaux pour couche de forme	18
A. Définition de la couche de forme :.....	18
B. Essais de laboratoire :	19
C. Conditions d'utilisation en couche de forme :	20
1. De point de vue classification LCPC :.....	20
2. De point de vue classification GMTR :.....	21
Contrôle de compactage	22

Première édition

Chapitre 3

Matériaux pour accotements

Matériaux sélectionnés pour accotements	24
I. MS type I :	24

II.	MS type II :	24
III.	MS type III :	25
	Matériaux pour sous-couche	28
	Matériaux pour couche anticontaminante.....	28
	Matériaux drainants	29

Chapitre 4

matériaux pour couche de roulement

	Note importante	31
	Guide pour le choix de techniques de construction et d'entretien des routes non revêtues	
I.	Matériaux graveleux et tout-venant alluvionnaires courants :	32
I.1.	Généralités :	32
I.2.	Spécifications normatives :	32
II.	Encroûtements calcaires :	34
III.	Tufs calcaires :	35
	Guide d'aménagement des points durs.....	36
I.	Tout-venant roulé d'oued et tout-venant de brèches :	36
II.	Tufs et encroûtements calcaires.	36
III.	Roches tendres :	37
III.1.	Schiste et calcaire marneux ;	37
III.2.	Grès calcaire, calcarénite et arènes.	37

Chapitre 5

Matériaux pour assises non traitées

I.	Graves non traitées pour couche de fondation :	39
II.	Graves non traitées pour couche de base :	40
II.1.	Grave non traitée récompensée : GNR (0/20 mm)	40
II.2.	Grave non traitée type A et B : GNA – GNB classes 0/20 et 0/31.5 mm	41
II.3.	Grave non traitée type C et D : GNC – GND	42
III.	Contrôle de compactage des assises non traitées GNT :	43

Chapitre 6

Enduits superficiels

I.	Définition :	45
II.	Coupures granulométriques :	45
III.	Catégories de liants :	45
III.1.	Liants anhydres (ou liants chauds) :	45
III.2.	Bitumes fluidifiés :	45
III.3.	Bitumes fluxés :	46
III.4.	Goudrons purs à usages routiers :	46
III.5.	Bitumes goudrons :	46
III.6.	Emulsions :	46
IV.	Différentes structures d'enduit superficiel :	47
IV.1.	Enduit monocouche (type LG) :	47
IV.2.	Enduit monocouche double gravillonnage (type LGg) :	47
IV.3.	Enduit Sandwich ou monocouche inversé (type GLg) :	47
IV.4.	Enduit bicouche (type LGlg) :	48
V.	Choix de la structure de revêtement :	49
VI.	Caractéristiques des granulats et liants :	50
VI.1.	Les granulats :	50
VI.2.	Liants hydrocarbonés :	51
VII.	Formulation moyenne :	53
VIII.	Température de stockage et de mise en œuvre :	54

Chapitre 7

Matériaux pour assises traitées aux liants hydrocarbonés

I.	Identification des granulats :	56
I.1.	Essais de laboratoire :	56
I.2.	Spécifications de la directive des enrobés à chaud :	56
II.	Bitume pur :	60
III.	Mélange minéral :	61
IV.	Caractéristiques mécaniques :	61
V.	Température de répandage :	61

VI.	Etude de formulation des enrobés	62
VI.1.	Etude théorique :	63
VI.1.1.	Détermination du mélange minéral :	63
VI.1.2.	Détermination du dosage en liant :	64
VI.2.	Etude de laboratoire :	66
VI.2.1.	Etude de compactabilité :	66
VI.2.2.	Etude mécanique :	67
VIII.	Quelques consignes à suivre :	70
1.	Dispositions préalables :	70
2.	Vérification de l'atelier de compactage :	70
3.	Prélèvement d'échantillon d'enrobés :	71
4.	Mesure des températures :	71
5.	Contrôle de l'opération de compactage :	72
6.	Opération de carottage :	72

Annexe

Classification du trafic	77
Contrôle de compactage des GNT	77
Contrôle de compacités des enrobés bitumineux	81
Cadence des essais de laboratoire	84
Références Bibliographiques	85

Objet du présent document

Le présent document constitue un recueil des spécifications relatives à la qualité des matériaux routiers établies et éditées par la Direction des Routes et de la Circulation Routière D.R.C.R sous forme de guides ou de fascicules constituant le Cahier des Prescriptions Communes C.P.C.

Ce recueil est établi dans l'optique d'unifier toutes les spécifications normatives de la D.R.C.R applicables au domaine routier à fin que les différentes personnes qui exercent au domaine qu'ils soient ingénieurs, techniciens de laboratoire, agents, chefs de laboratoire et bien d'autres, puissent s'y référer facilement et sans aucun complexe.

Le recueil des spécifications pour matériaux routiers a été rédigé en plusieurs chapitres dont chacun traite un lot bien défini :

- Classification des matériaux ;
- Matériaux pour terrassements routiers ;
- Matériaux pour accotements ;
- Matériaux pour couche de roulement ;
- Matériaux pour assises non traitées ;
- Enduits superficiels ;
- Assises traitées aux liants hydrocarbonés.

Généralités

On appelle chaussée, une surface spécialement aménagée sur le sol ou sur un ouvrage pour le stationnement ou la circulation des véhicules. Une chaussée se scinde en deux parties :

Chaussée "roulable" : située entre les bandes peintes de guidage ; cette partie comporte 1, 2, 3 ou 4 voies de circulation d'environ 3 m de large chacune.

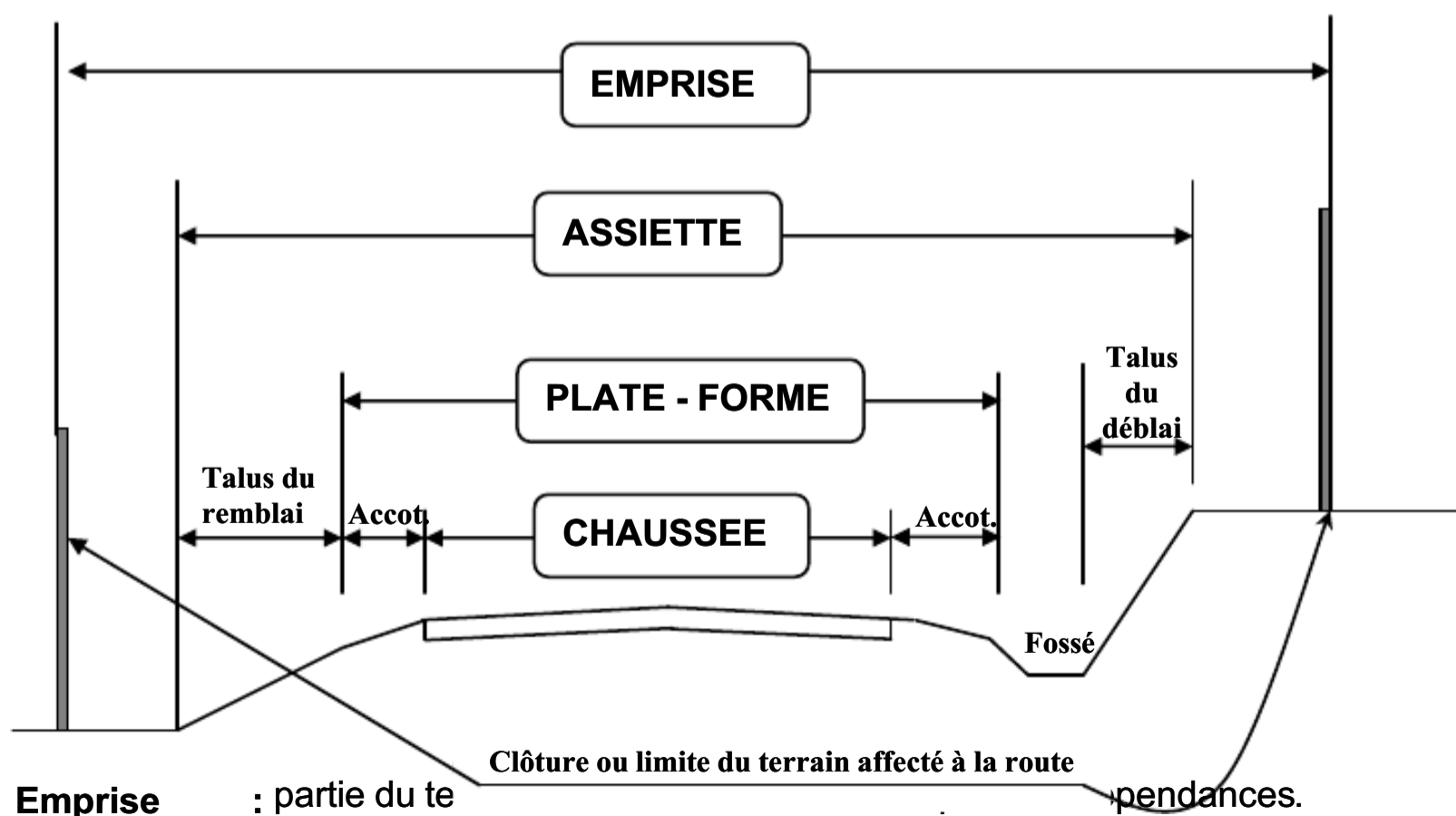
Chaussée "structurelle" : plus large que la précédente pour tenir compte de la nécessité d'avoir une sur largeur permettant de placer les bandes de guidage et pour permettre la mise en œuvre des couches supérieures.

Par ailleurs la chaussée dispose de dépendances qui sont :

Accotements : Pour assurer une butée aux couches constituant la chaussée. Les accotements permettent d'assurer le stationnement des véhicules et le passage occasionnel lors des dépassements.

Fossés : Pour l'évacuation des eaux drainées par la chaussée et les accotements.

COUPE DE LA ROUTE (cas général)



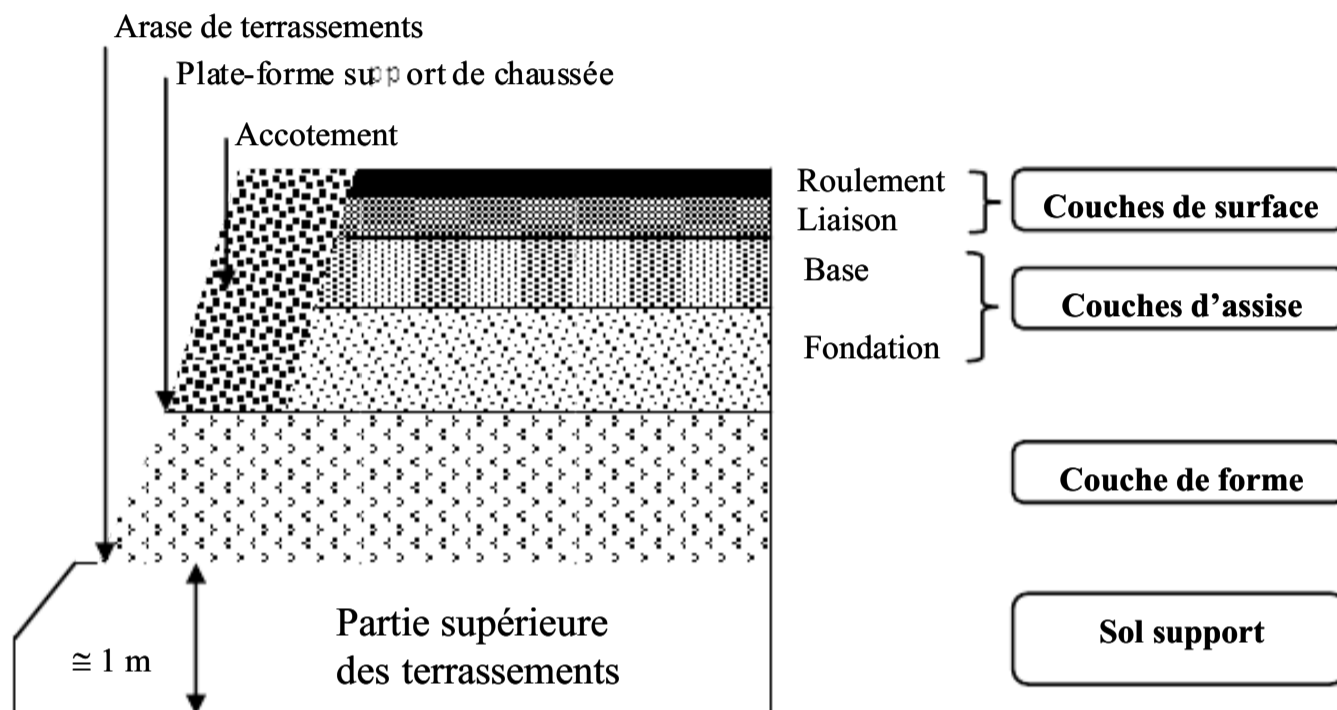
Assiette : surface du terrain réellement occupée par la route.

Plate-forme : surface de la route qui comprend la chaussée et les accotements.

Chaussée : surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules.

Accotements : zones latérales de la plate-forme qui bordent extérieurement la chaussée.

COUPE DE LA CHAUSSEE (cas général)



Couche de forme :

Cette couche, qui ne fait pas partie intégrante de la chaussée, a plusieurs fonctions :

- Pendant les travaux, elle protège le sol support, contribue au nivellement et permet la circulation des engins de chantier ;
- Elle permet de rendre plus homogènes les caractéristiques du sol terrassé et de le protéger du gel.

Couche d'assise :

L'assise de chaussée est généralement constituée de deux couches, la couche de fondation, surmontée de la couche de base.

Ces couches en matériaux élaborés, le plus souvent liés (bitume, liants hydrauliques), pour les forts trafics, apportent à la chaussée la résistance mécanique

aux charges verticales induites par le trafic. Elles répartissent les pressions sur le support, afin de maintenir les déformations à ce niveau dans les limites admissibles.

Couche de surface :

La couche de surface est constituée :

- ❑ De la couche de roulement, qui est la couche supérieure de la chaussée sur laquelle s'exerce directement les agressions conjuguées du trafic et du climat ;
- ❑ Et le cas échéant d'une couche de liaison, entre les couches d'assise et la couche de roulement.

Dans le cas particulier des chaussées en béton de ciment, la dalle, qui repose sur une couche de fondation, joue simultanément le rôle de couche de surface et celui de couche de base.

Classification des matériaux

Classification LCPC

La classification LCPC se base sur les abaques et le diagramme de Casagrande (ou diagramme de plasticité). Elle a l'avantage de nommer les sols par des dénominations concrètes facilitant aux praticiens leur identification à partir d'essais limités. Toutefois, elle ne permet pas de caractériser l'aspect évolutif de certains sols ainsi que l'état des sols de façon générale (teneurs en eau et air) et leurs conditions d'extraction.

Classification des sols Sj

La classification des sols Sj est utile pour l'étude de renforcement des chaussées revêtues. Elle est déterminée en tenant compte de la classification LPC, le climat et le régime hydraulique.

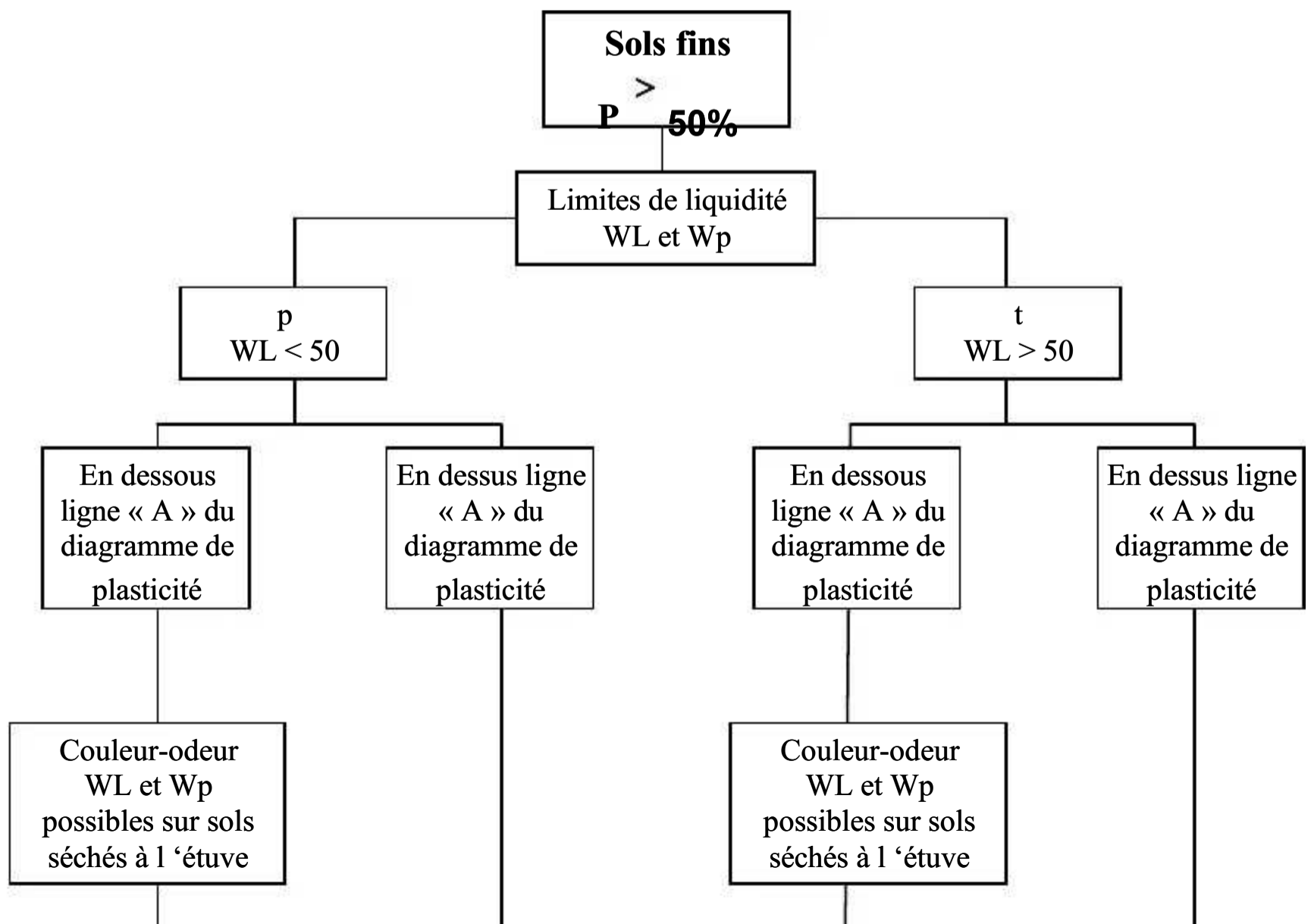
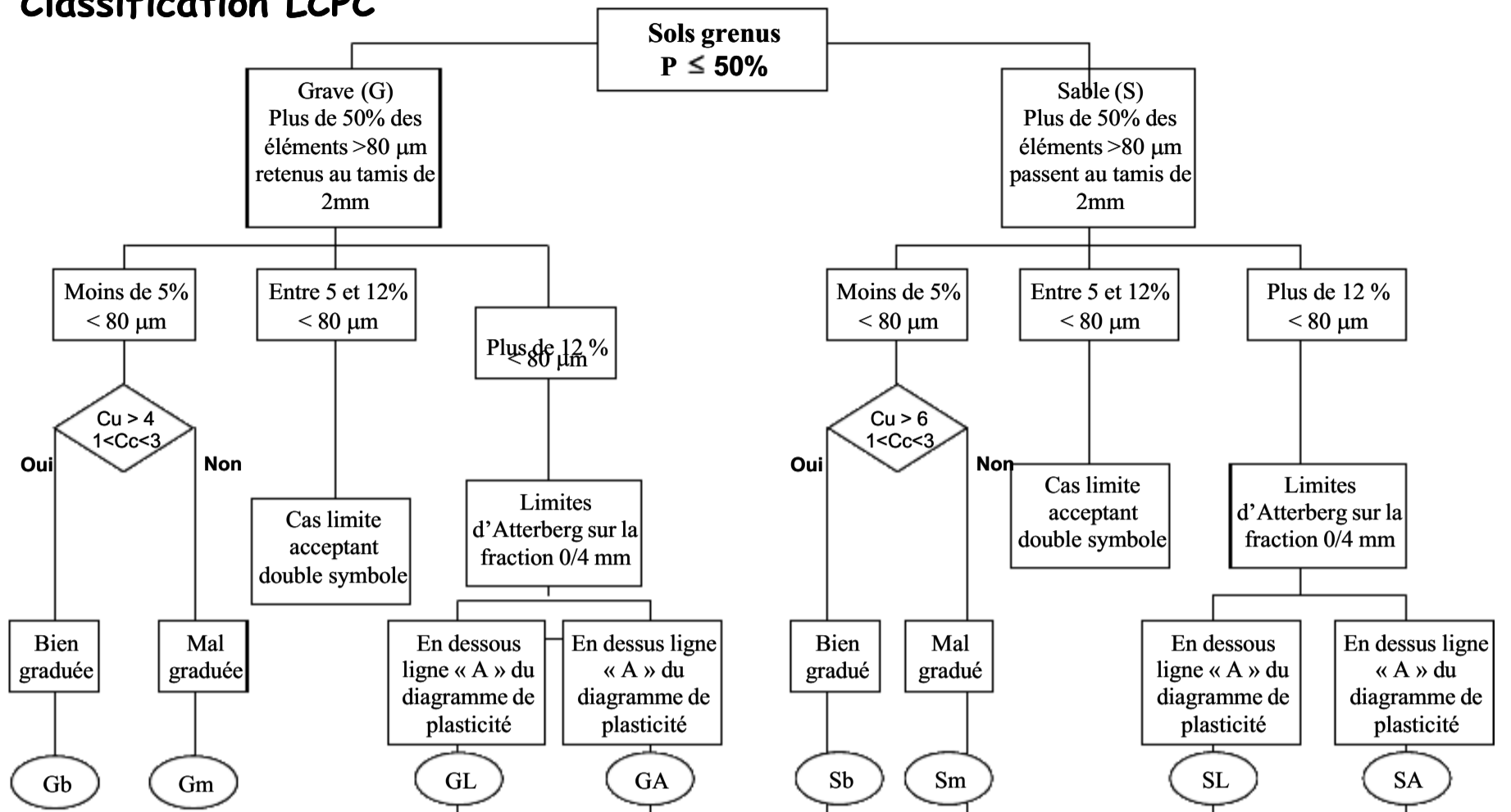
Classification GTR

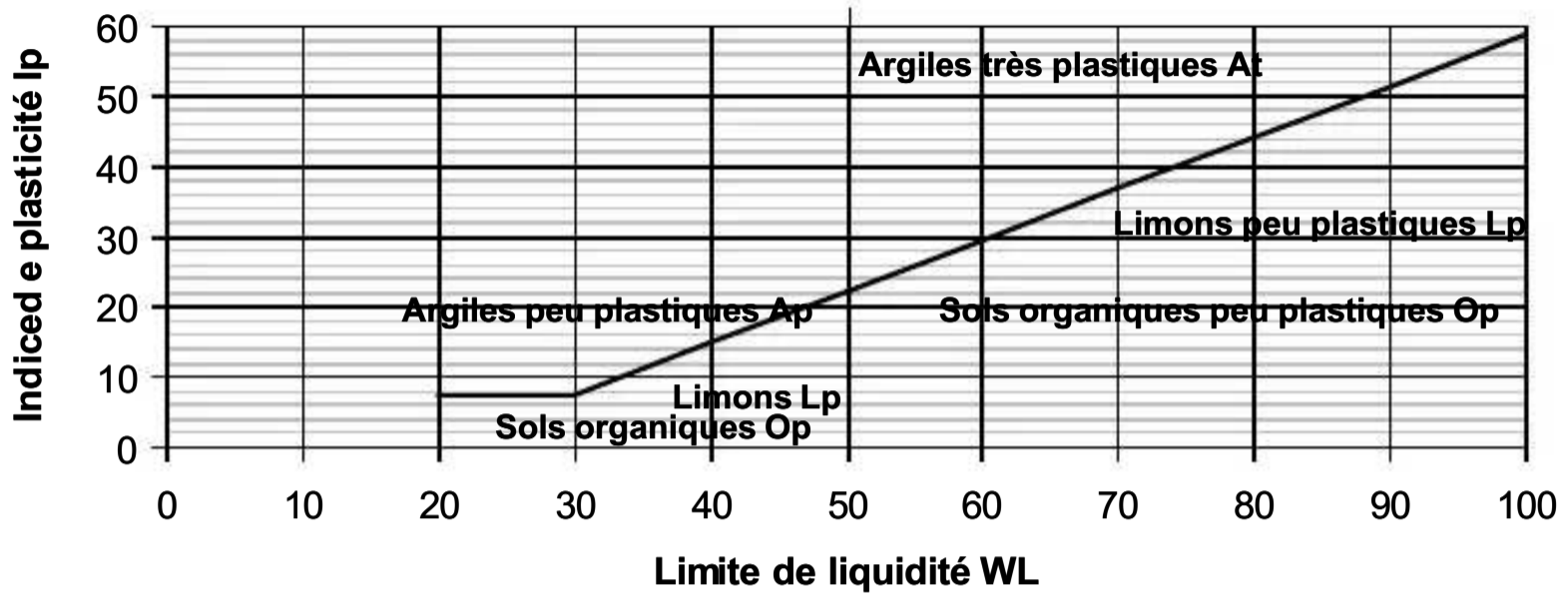
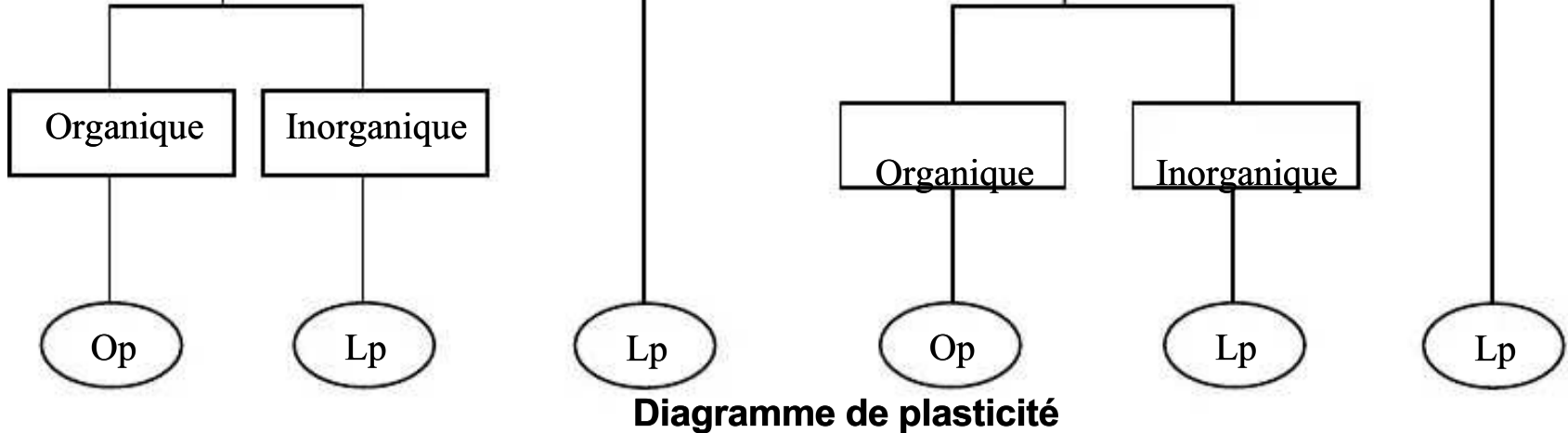
La classification française du *Guide des Terrassements Routiers* publiée en 1992 est plus générale puisqu'elle concerne tous les matériaux utilisés en remblais et couches de forme. Elle classe ces matériaux (et particulièrement les sols) en familles selon leur comportement mécanique.

Classification GMTR

La classification marocaine du *Guide Marocain des Terrassements Routiers* publiée en 2002 est une classification résultant d'une adaptation du guide français GTR au contexte marocain. Dans ce guide, les professionnels marocains ont essayé de tenir compte de certaines classes de matériaux omises par le guide GTR du fait qu'elles n'existent pas en France.

Classification LCPC





Classification des sols S_j

Classification		Limites d'Atterberg		Indice portant CBR	Zone non aride		Zone aride		
					Régime hydraulique	Classe du sol	Conditions hydrauliques particulières	Classe du sol	
Sols grenus sablo-graveleux ayant moins de 50% passant à 0.08 mm	Sols graveleux moins de 50% de la fraction retenue à 0.08 mm passe à 2 mm	G_b - G_m Graves propres				S4		S4	
		GL Graves limoneuses		IP < 7	Bon	S4	Dans le cas de conditions hydrauliques particulières dans la zone aride (zone irriguée - zone inondable annuellement - nappes peu profondes dans les sols fins limono - argileux) adopter le classement des zones non arides pour bon régime hydraulique	S4	
				IP > 7	Mauvais	S3		S4	
	GA Graves argileuses		WL > 50 IP > 0.73(WL-20)	Bon	S3	S4			
				Mauvais	S2				
	S_b - S_m Sables propres			Bon	S3	S3			
				Mauvais	S2	S3			
	SL Sables limoneux		WL < 50 IP < 0.73(WL-20)	Bon	S3	S3			
			IP < 7	Mauvais	S2	S3			
			IP > 7	Bon	S2	S3			
			Mauvais	S1	S3				
Sols - fins limon - argileux plus de 50% passant à 0.08 mm	Lp limons		WL < 50 IP < 0.73(WL-20)	CBR > 4	Bon	S2	S3		
				CBR < 4	Mauvais	S1			
	Ap argiles peu plastiques craies et marnes		WL < 50 IP > 0.73(WL-20)			S1		S2	
				IP < 28		S1			
	Lt - Ot Limons très plastiques		WL > 50 IP < 0.73(WL-20)	IP > 28	Voir note de recommandations N°1			S0	S2
				IP < 28				S1	
At Argiles très plastiques		WL > 50 IP > 0.73(WL-20)	IP > 28	Voir note de recommandations N°1		S0	S2		

Classification GMTR

A. Sols tireux :

De tels sols sont des sols fins noirs à gris foncé, généralement situés en couverture, présentant une forte instabilité volumétrique. Ces sols se caractérisent par une forte fissuration par retrait en saison sèche et par un fort gonflement à l'état humide. Le catalogue des structures des chaussées neuves les caractérise par les paramètres suivants :

Limite de liquidité	Limite de retrait	Indice d'instabilité volumétrique	Plasticité	
			TxA ₃	TxA ₄
WI > 53	Wr > 13	WI – Wr > 42	IP ≤ 40	Ip > 40

B. Sols tufacés :

L'élément le plus important caractérisant de tels sols est la teneur en carbonate de calcium CaCO₃. La classification de tels sols peut être faite soit :

- En faisant apparaître le degré de calcification :
 - Tuf faiblement carbonaté Tf : $50 \leq \text{CaCO}_3 \leq 70 \%$
 - Tuf fortement carbonaté Tc : $\text{CaCO}_3 > 70 \%$
- En prenant en compte la classification générale pour les sols meubles :
 - TfA_i ou TfB_i ;
 - TcA_i ou TcB_i.

C. Sols usuels (classification GTR) :

La classification des sols meubles se base sur les paramètres suivants, à savoir :

- Paramètres de nature : Granularité et argilosité.
- Paramètres de comportement mécanique : Dureté, usure et friabilité.
- Paramètres d'état : teneur en eau, indice portant immédiat et consistance.

Classification générale du Guide des Terrassements routiers GTR

Classe	Sous classe	Paramètres de nature		Sous – classe	Paramètres de comportement mécanique
		Granularité	Argilosité		
Classe A Sols fins $D_{max} \leq 50$ mm Tamisat à $80\mu\text{m} > 35\%$	A ₁ : sols fins peu plastiques (Limons silteux , limons peu plastiques)	$D_{max} \leq 50$ mm Tamisat à $80\mu\text{m} > 35\%$	$VBS \leq 2.5$ ou $IP \leq 12$	-	-
	A ₂ : sols fins moyennement plastiques (Limons argileux)		$12 < IP \leq 25$ ou $2.5 < VBS \leq 6$		
	A ₃ : sols fins plastiques Argiles, marnes, Limons plastiques		$25 < IP \leq 40$ ou $6 < VBS \leq 8$		
	A ₄ : sols fins très plastiques Argiles et marnes		$VBS > 8$ ou $IP > 40$		
Classe B Sols sableux et graveleux avec fines $D_{max} \leq 50$ mm Tamisat à $80\mu\text{m} \leq 35\%$	B ₁ : sables silteux	Tamisât à 2 mm > 70 % Tamisât à 80 μm ≤ 12 %	$0.1 \leq VBS \leq 0.2$	B ₁₁ B ₁₂	FS ≤ 60 FS > 60
	B ₂ : sables peu argileux	Tamisât à 2 mm > 70 % Tamisât à 80 μm ≤ 12 %	$VBS > 0.2$	B ₂₁ B ₂₂	FS ≤ 60 FS > 60
	B ₃ : graves silteuses	Tamisât à 2 mm ≤ 70 % Tamisât à 80 μm ≤ 12 %	$0.1 \leq VBS \leq 0.2$	B ₃₁ B ₃₂	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45 LA > 45 et MDE > 45
	B ₄ : graves peu argileuses	Tamisât à 2 mm ≤ 70 % Tamisât à 80 μm ≤ 12 %	$VBS > 0.2$	B ₄₁ B ₄₂	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45 LA > 45 et MDE > 45
	B ₅ : sables et graves très silteux	Tamisât à 80 μm compris entre 12 et 35 %	$VBS < 1.5$ ou $IP < 12$	B ₅₁ B ₅₂	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45 LA > 45 et MDE > 45
	B ₆ : sables et graves argileux	Tamisât à 80 μm compris entre 12 et 35 %	$VBS > 1.5$ ou $IP > 12$	-	-
	C ₁ : les matériaux roulés et les matériaux anguleux peu charpentés (0/50 > 70 % du 0/D). C ₂ : les matériaux anguleux très charpentés (0/50 ≤ 70 % du 0/D)		Matériaux d'éboulis, tout-venants bréchiques, tout-venants grossiers		
Classe C $D_{max} > 50$ mm					
Classe D Sols insensibles à l'eau	D ₁ : sables propres (alluvionnaires et autres...)	$D_{max} \leq 50$ mm Passant à 2 mm > 70 % Tamisât à 80 μm ≤ 12 %	$VBS \leq 0.1$	D ₂₁	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45
	D ₂ : graves propres (alluvionnaires et autres...)	$D_{max} \leq 50$ mm Passant à 2 mm ≤ 70 % Tamisât à 80 μm ≤ 12 %		D ₂₂	LA > 45 et MDE > 45

Sols
 $D_{max} \leq 50$ mm

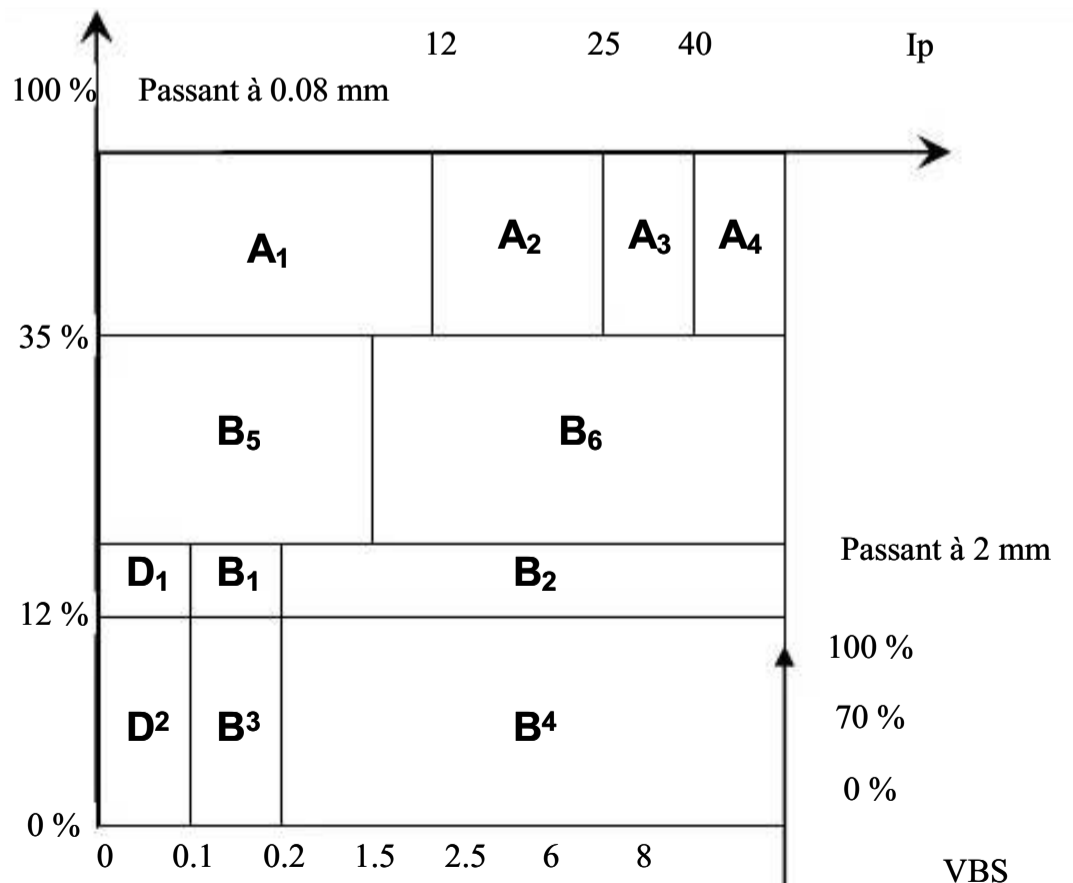
Les Ai et/ou Bi peuvent être :

- Des tufs fortement carbonatés TcAi ou TcBi si $\text{CaCO}_3 > 70\%$.
- Des tufs faiblement carbonatés TfAi ou TfBi si $50 \leq \text{CaCO}_3 \leq 70$

Les A₃ et les A₄ peuvent être :

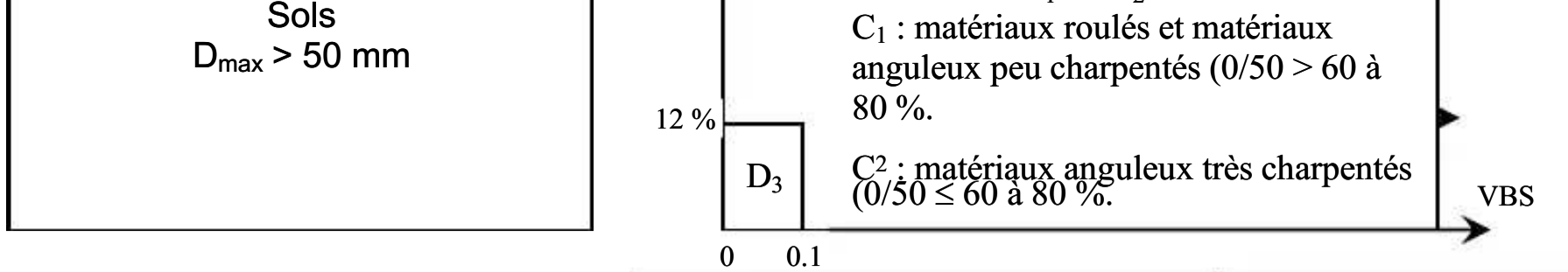
Des tirs dont : $WL - Wr > 42$

Avec $WL > 53$ et $Wr < 13$



Passant à 0.08 mm

C_1 ou C_2



Matériaux rocheux	Roches sédimentaires	Roches carbonates	Craies	R ₁
			Calcaires	R ₂
		Roches argileuses	Marnes, argilites, pélites...	R ₃
		Roches siliceuses	Grès, poudingues, brèches...	R ₄
	Roches salines	Sel gemme, gypse	R ₅	
	Roches magmatiques et métamorphiques	Granite, basaltes, andésites, gneiss, schiste, métamorphiques et ardoisiers...	R ₆	
Matériaux particuliers	Sols organiques et sous-produits industriels			

Chapitre N°2

Matériaux Utilisés pour les Terrassements routiers

Matériaux pour remblais

Matériaux pour couche de forme

Contrôle de compactage

Matériaux pour remblais

A. Essais de laboratoire :

Les essais d'identification sur la base desquels on peut juger de la bonne qualité des matériaux destinés à la réalisation des remblais sont :

- Analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage ;
- Détermination des limites d'Atterberg :
 - Limites de liquidité ;
 - Limites de plasticité.

B. Appellations des différentes classes :

Gb	grave propre bien graduée
Gm	grave propre mal graduée
GL	grave limoneuse
GA	grave argileuse
Sb	sable propre bien graduée
Sm	sable propre mal graduée
SL	sable limoneuse

C. Conditions d'utilisation en remblai:

1. Utilisation sans restriction :

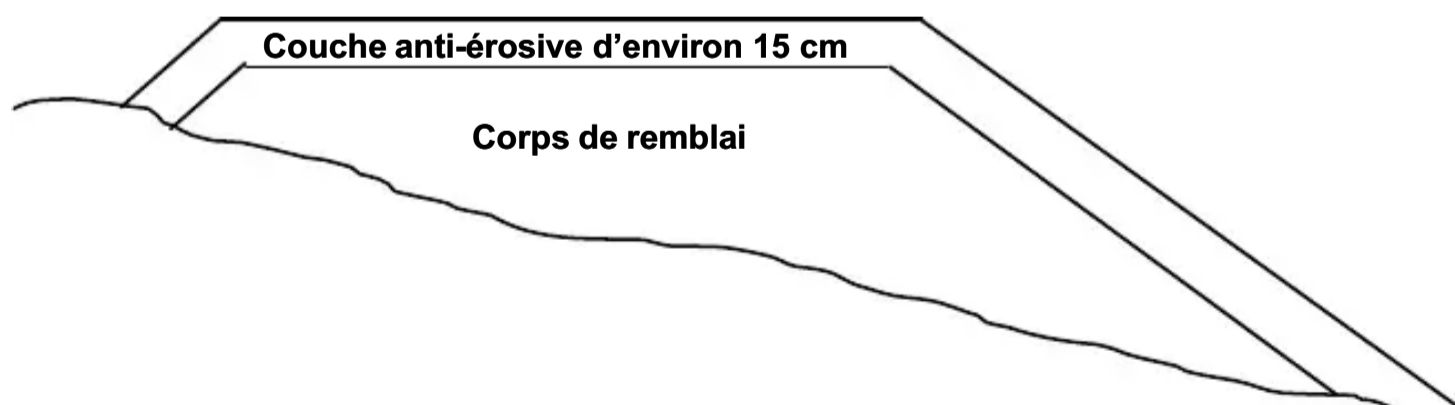
Peuvent être utilisés sans restriction les sols rocheux non évolutifs, les sols fins autres qu'organiques de la classification LCPC dont $IP < 20$ et les sols grenus de la dite classification à l'exception de Sm, Sm SL et Sm SA, en plus de GL, GA, SL et SA dont $IP > 20$ et dont $\% \text{ fines} > 35$.

2. Utilisation avec précautions :

Les matériaux nécessitant d'être utilisés avec précautions sont les sols fins dont $20 \leq IP \leq 50$ et $f \times IP \leq 2500$ et les sols grenus dont $f \geq 35$ et $20 \leq IP \leq 50$ dans le cas des remblais de moins de 8 m de hauteur.

Les sols fins dont $IP \geq 50$ et les roches évolutives nécessitent un traitement ou une protection.

Les sols grenus Sm SL, Sm SA et Sm nécessitent une protection anti-érosive dont l'épaisseur doit être au minimum 15 cm.



Les matériaux pouvant être utilisés pour protéger le remblai doivent avoir un diamètre maximal $D_{\max} \leq 100$ mm et avoir les qualités exigées des sols de remblai à l'exception de Sm, Sm SL, et Sm SA.

Conditions d'utilisation des matériaux en remblais :

Classe de sol Classification LPC	Conditions d'utilisation		
	Remblais de plus de 8 m de hauteur	Remblais de moins de 8 m de hauteur	Remblais traités ou protégés
Ch			

Sols grenus	Sols graveleux	G b	Sans restriction		-
		G b, G L			
		G m, G L			
		G h, G A			
		G L	Si f >35% → IP<20	Si f >35% → IP<50	
	G A	Si f >35% → IP<20	Si f >35% → IP<50		
	Sols sable limoneux	S b	Sans restriction		-
		S m	Couverture anti-érosive		
		S b, S A	Sans restriction		
		S b, S A			
S m, S L		Couverture anti-érosive			
S m, S A					
S L		Si f >35% → IP<20	Si f >35% → IP<50		
S A	Si f >35% → IP<20	Si f >35% → IP<50			
Sols fins	L P	Sans restriction		-	
	A P	IP < 20	IP < 50 et f x IP<2500	IP > 50	
	L t				
	A t	Interdit	Interdit		

Matériaux pour couche de forme

A. Définition de la couche de forme :

La couche de forme est une structure plus ou moins complexe permettant d'adapter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place, aux caractéristiques mécaniques, géométriques, hydrauliques et thermiques prises comme hypothèses dans la conception de la chaussée. On a recourt à une couche de forme afin de satisfaire à des exigences dont l'étendue dans le temps varie entre le court et le long terme :

A court terme, la couche de forme assure :

- Un nivellement de la plate-forme support de chaussée permettant de réaliser la couche de fondation dans les tolérances d'épaisseur fixées ;
- Une portance suffisante, compte tenue en particulier des aléas météorologiques, pour une exécution correcte du compactage des couches de chaussées et l'obtention d'un bon uni ;
- Une protection du sol support vis-à-vis des intempéries ;
- Une traficabilité permettant la circulation, dans de bonnes conditions, des

- engins approvisionnant les matériaux de la couche de fondation ;
- Eventuellement supporter le trafic de chantier pour d'autres besoins.

A long terme, elle assure :

- L'homogénéisation de la portance du support pour concevoir des chaussées d'épaisseur constante ;
- Le maintien d'une portance minimale en dépit des fluctuations de l'état hydrique des sols supports sensibles à l'eau ;
- Une amélioration de la portance de la plate-forme pour optimiser le coût de l'ensemble couche de forme – structure de chaussée ;
- La protection thermique des sols supports gélifs ;
- Une contribution au drainage de la chaussée ;
- etc...

B. Essais de laboratoire :

Les essais permettant de juger de la qualité des matériaux pour être utilisés en couche de forme sont :

- Analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage ;
- Détermination des limites d'Atterberg :
 - Limites de liquidité ;
 - Limites de plasticité.
- Essai CBR, éventuellement.

C. Conditions d'utilisation en couche de forme :

Les sols pour couche de forme ne doivent pas contenir des éléments dont la plus grande dimension excède 100 mm, sous ces conditions sont utilisables ou réutilisables les sols suivants :

1. De point de vue classification LCPC :

a. Couches de forme non traitées :

- Les sols grenus de la classification LPC, dont l'indice de plasticité est inférieur à 10, à l'exception des sols Sm, Sm SL et Sm SA.
- Les sols rocheux non évolutifs bien gradués.

b. Couches de forme traitées :

- Les sols dont l'indice de plasticité est inférieur à 20 ainsi que les sols de types Sm, Sm SL et Sm SA.

Si le CPS l'exige, les sols pour couche de forme doivent en outre respecter la règle des filtres vis-à-vis des remblais en place.

2. De point de vue classification GMTR :

a. Sans traitement :

Trafic	Classes GMTR
Autoroutes et routes nationales à trafic très élevés TPL6 (T0) et agressivité équivalente	Matériaux rocheux durs et non évolutifs : R ₂₁ , R ₄₁ , R ₆₁ Sols graveleux : B ₃₁ , D ₂₁ , CD ₁₁ , CD ₂₁ , CB ₃₁ Sols : B ₄₁ , CB ₄₁ , CB ₅₁ avec VBS ≤ 0.25
Routes à trafic de type TPL4 (T2) ou TPL5 (T1) et agressivité équivalente	Matériaux rocheux durs et non évolutifs : R ₂₁ , R ₄₁ , R ₆₁ Sols graveleux : B ₃₁ , D ₂₁ , CD ₁₁ , CD ₂₁ , CB ₃₁ , CB ₁₁ Sols : B ⁴¹ , CB ⁴¹ , CB ²¹ , CB ⁵¹ et TcB avec IP ≤ 10 ou VBS ≤ 0.5
Autre trafics TPL3 (T3) TPL2 (T4) TPL1 (T5)	Matériaux durs et sols précédemment décrits Matériaux rocheux moyennement durs : R ₂₂ , R ₄₂ , R ₆₂ Sols : B ₃₂ , TfB ₃ , D ₂₂ , CD ₁₂ , CD ₂₂ , B ₁₁ , B ₁₂ , CB ₁₂ , CB ₃₂ TcA, TfB ₄ , B ₂₁ , B ₂₂ , B ₄₂ , CB ₂₂ , CB ₄₂ , CB ₅₂ avec IP ≤ 10 ou VBS ≤ 0.5 Les sols : la valeur CBR (95% OPM après 4 jours d'imbibition) ≥ 20

b. Avec traitement :

Traitement à la chaux	
Trafic	Classe GMTR
Trafic inférieur ou égal à TPL5 (T1)	Sols fins : A2, A3 et les CA correspondants
Traitement aux liants hydrauliques	
Toute classe de trafic	Sols : A ₁ , B ₁ , B ₃ , B ₅ , D ₁ , D ₂ , CD ₁ , TcA, TcB Sols B ₂ et B ₄ ayant VBS ≤ 2.5 Matériaux rocheux tendres non gypseux : R ₂₃ R ₂₄ , R ₄₃ , R ₆₃ avec VBS < 0.5
Traitement mixte : chaux + ciment	
Toute classe de trafic	Sols : A ₁ , A ₂ , A ₃ , B ₅ , B ₆ , les TcA correspondants, CA ₁ et CB ₆ Sols : B ₂ , B ₄ , avec VBS > 2.5. Matériaux rocheux tendres non gypseux : R ₂₃ R ₂₄ , R ₄₃ , R ₆₃ avec VBS ≤ 0.5

Contrôle de compactage

On se contente dans ce qui suit du contrôle de qualité de compactage par compacité en référence à un essai Proctor. Ce type de contrôle est adopté dans le cas des matériaux meubles ne présentant pas plus de 30 % d'éléments grossiers (> 20 mm).

Situation		Compacité référée à l'Optimum Proctor Modifié	
		Sans couche de forme	Avec couche de forme
Cavité en déblai ou sans remblai		90 %	Sans objet
Fond de déblai (30 cm supérieure)		95 %	92 %
Assise de	30 cm supérieure si	90 %	Sans objet
remblai Remblai	le CPS le prescrit	90 %	Sans objet
	Corps du remblai 50 cm supérieure	95 %	92 %
Couche de forme		--	95 %

Chapitre N°3

Matériaux sélectionnés Pour accotements

Matériaux sélectionnés pour accotements

Matériaux pour sous-couche

Matériaux pour couche anti-contaminante

Matériaux drainants

Matériaux sélectionnés pour accotements

I. MS type I :

Destiné à la couche supérieure des accotements bordant une chaussée de largeur inférieure à 6m.

C'est un matériau résistant, possédant un fort squelette et une bonne cohésion⁽¹⁾ lui permettant de supporter un trafic occasionnel (croisement et dépassement). Cependant, il nécessite des rechargements périodiques à cause de la circulation. Le seuil⁽²⁾ limite adopté actuellement pour l'utilisation de ce type de matériaux est de 750 v/j.

⁽¹⁾ la cohésion est obtenue par combinaison de l'angularité et de la plasticité : une faible plasticité pouvant être compensée par un indice de concassage élevé.

⁽²⁾ la limite adoptée est provisoire en attendant de connaître la valeur du trafic au delà de laquelle la fréquence des interventions devient difficile à respecter. Au delà il convient de procéder à un élargissement de la chaussée ou bien d'utiliser des matériaux traités dont l'étude sera faite au cas par cas.

I.1. Essais de laboratoire :

□ Essai d'analyse granulométrique selon la norme NFEN 12 560 :

- Essai d'analyse granulométrique, selon la norme NFP 18-560 ;
- Détermination de la teneur en CaCO_3 .
- Détermination des limites d'Atterberg :
 - Limite de plasticité, selon la norme NF P 94 – 051
 - Limite de liquidité, selon la norme NF P 94 – 052 – 2.
- Essai de dureté Los Angeles, selon la norme NFP 18-573 ;

I.2. Spécifications normatives :

	Granulométrie	Tamis (mm)					
		50	40	5	0.08		
Matériau non carbonaté	% de passant	100	50	15	4(2)*		
		-	100	70	20		
	Propreté	IP	Indice de plasticité			$6 \leq \text{IP} \leq 20$	
		IP x f ** ≤	Zone clima.	Angularité	Roulé	> 30 %	100 %
			Zone Non Aride		175	200	225
			Zone Aride		200	225	250
	Zone Désertique		250	275	300		
Dureté		Los Angeles		LA ≤ 50			
Matériau carbonaté	Les matériaux carbonatés MS type 1 ayant une teneur en CaCO_3 supérieure à 70 % ne sont pas soumis aux conditions de propreté et de dureté susvisées.						

* La valeur entre parenthèse s'applique aux matériaux concassés à 100 % et concassés purs.

** f désigne le pourcentage des éléments inférieurs à 0.08 mm.

II. MS type II :

Destiné à la couche supérieure des accotements bordant une chaussée de largeur supérieure ou égale à 6m, avec ou sans épaulement.

C'est un matériau possédant un squelette et une surface non glissante (plasticité limitée), capable d'assumer le stationnement des véhicules.

Les seuils⁽¹⁾ d'utilisation de ce matériau sont les suivants :

- Chaussée de 6 m : 2000 v / j ;
- Chaussée de 7 m sans épaulement : 4500 v / j ;
- Chaussée de 7 à 12 m avec épaulement des véhicules : non limité.

⁽¹⁾ Au delà de ces seuils, il conviendra de passer à un niveau d'aménagement supérieur (chaussée de 7 m avec ou sans épaulement) ou bien de recourir provisoirement à un matériau de type 1. La réalisation d'un épaulement revêtu en bordure d'une chaussée de 6 m est interdite. Ce matériau est peut aussi être utilisé en couche de supérieure d'accotement bordant une chaussée à une voie de circulation de trafic T5 ($T < 50$ v / j) si des matériaux de type 1 ne sont pas disponible à un coût raisonnable.

II.1. Essais de laboratoire :

Voir précédemment.

II.2. Spécifications normatives :

	Granulométrie	Tamis (mm)	50	40	5	0.08
		% de passant	100	50	15	2
Matériau non carbonaté	Propreté	Zone climatique	IP			
		Zone Non Aride	≤ 12			
		Zone Aride	≤ 15			
		Zone Désertique	≤ 20			
Dureté	Los Angeles	LA ≤ 60				
Matériau carbonaté	Les matériaux carbonatés MS type 1 ayant une teneur en CaCO₃ supérieure à 70 % ne sont pas soumis aux conditions de propreté et de dureté susvisées.					

* La valeur entre parenthèse s'applique aux matériaux concassés à 100 % et concassés purs.

** f désigne le pourcentage des éléments inférieurs à 0.08 mm.

III. MS type III :

Destiné à la couche supérieure de la partie de l'accotement bordant une bande d'arrêt d'urgence.

C'est un matériau non érodable sous l'action des eaux de ruissellement et du vent. Il est utilisé notamment pour les bermes des routes à 2 x 2 voies. L'engazonnement de ces bermes est recommandé dans les zones où la pluviosité permet d'assurer la persistance de la végétation d'une année sur l'autre.

III.1. Essais de laboratoire :

- Essai d'analyse granulométrique, selon la norme NFP 18-560 ;
- Détermination des limites d'Atterberg :
 - Limite de plasticité, selon la norme NF P 94 – 051
 - Limite de liquidité, selon la norme NF P 94 – 052 – 2.

III.2. Spécifications normatives :

Sont admis tous les sols de la classification LPC répondant aux exigences ci-après, à l'exception des sols érodables appartenant aux classes suivantes : Gm ; Sm ; Sm Sa ; Sm SL.

Granulométrie	D _{max} inférieur à 50 mm	
Propreté	Zone climatique	IP
	Zone Non Aride	≤ 15
	Zone Aride	≤ 20
	Zone Désertique	≤ 25

Si un engazonnement est envisageable, notamment dans une zone ayant une bonne pluviosité, la couche supérieure pourra être réalisée avec de la terre végétale.

Tableau d'utilisation des matériaux sélectionnés pour accotement

Largeur de chaussée		Trafic	Type d'accotement	Classe des matériaux	Observations
1 voie de circulation	< 6 m	T5	Bande stabilisée	MS type 2	Prévoir un coulissé si T > 500 v/j Cas déconseillé – élargir à 6 m
		T4 – T3		MS type 1	
T2	Matériaux traités	-			
2 voies de circulation	6m 7m	T3 – T2	Bande stabilisée	MS type 2	Cas déconseillé – élargir à 7 m
		T1	Bande stabilisée	MS type 1	-
		T2 – T1	Bande stabilisée	MS type 2	Largeur 2 m si fort trafic cycles
		T0	Bande stabilisée + épaulement revêtu 1 m	MS type 2 GNB + ES	- -
3 voies de circulation	9 – 10.5 m	T0	Bande stabilisée + épaulement revêtu 1 m	MS type 2 GNB + ES	Largeur 2 m si fort trafic cycles
4 voies de circulation	12 – 14 m 2 x 7 m	T0 Par sens	Bande stabilisée + épaulement revêtu 1 m	MS type 2 GNB + ES	Largeur 2 m si fort trafic cycles
			Droit : BAU revêtu 2.5 m +berme 0.75 m Gauche : bande stabilisée	GNB + ES ou EB MS type 3 MS type 2	

BAU : Bande d'Arrêt d'Urgence. ES : Enduit Superficiel. EB : Enrobés bitumineux. MS : Matériaux Sélectionnés.

Matériaux pour sous-couche

Les matériaux pour sous couche sont des matériaux de remplissage placés directement sur la plate-forme ou sur une couche anticontaminante ou drainante, lorsque l'épaisseur de la structure de l'accotement à réaliser est supérieure à celle strictement nécessaire à la couche supérieure.

- Dans le cas d'un renforcement : une sous couche s'avère nécessaire pour assurer la drainage et la butée du corps de chaussée. La qualité exigée de ces matériaux est celle des sols de la classe S3 définie par le catalogue des structures de chaussées. De plus ils doivent satisfaire aux exigences suivantes :
 - $D_{max} \leq \frac{1}{3}e$;
 - $IP < 20$ si $f > 35\%$;
 - Bonne compactabilité : 95 % de l'OPM.
- Dans le cas de chaussées neuves et d'élargissements : il est recommandé de disposer des couches de formes et de fondation sur toute la plate-forme.

Matériaux pour couche anticontaminante

De tels matériaux sont placés sous la couche supérieure ou la sous-couche de l'accotement au contact des plate-formes argileuses constituées de sols **S0** et **S1**.

Ces matériaux doivent, dans la mesure du possible, respecter la règle de non contamination suivante :

$$d_{15} \leq 4.5 \times d_{85}$$

Avec d_{15} : diamètre laissant passé 15% des éléments du matériau filtrant.

d_{85} : diamètre laissant passé 85% des éléments du sol plate-forme.

Les matériaux qui conviennent appartiennent aux classes **SL**, **GL**, **SA** et **GA** de la classification LPC avec :

- $D_{max} \leq \frac{1}{3}e$;
- $IP < 20$.

Matériaux drainants

De tels matériaux sont placés dans l'accotement à la base du corps de chaussées à drainer lorsque la plate-forme est imperméable.

Granulométrie 0/D : Deux natures de matériaux peuvent être utilisées :

- Soit des matériaux respectant la condition de perméabilité suivante :

$$d_{15} \text{ du matériau filtre} \leq 4.5 \times d_{15} \text{ du sol à drainer}$$

- Soit une grave répondant aux exigences suivantes :

- Passant à 0.08 mm inférieur à 5% ;
- Passant à 2 mm inférieur à 10%.

Les matériaux qui conviennent appartiennent aux classes **Gb** et **Gm** de la classification LPC.

Granulométrie d/D :

Il est possible d'utiliser des matériaux présentant une telle granulométrie à condition de satisfaire à condition que $d \geq 5$ mm et qu'ils soient protégés par un filtre constitué par un géotextile d'un poids minimum de 200 g/m².

NB :

Ces matériaux sont également à utiliser pour le remplissage des drains en arêtes de poisson constitués dans les accotement existants pour assurer l'évacuation vers le fossé d'une partie de l'eau qui circule dans le corps de chaussée à renforcer, lorsqu'il n'a pas été jugé nécessaire de démonter l'accotement existant et de constituer une couche drainante.

Matériaux utilisés pour la réalisation des couches de roulement (couches de déglaisement)

- **Guide pour le choix de techniques de construction et d'entretien des routes non revêtues ;**
- **Guide d'aménagement des points durs.**

Note importante

Dans la littérature réglementaire de la Direction des Routes et de la Circulation Routière DRCR on trouve deux documents établis dans l'optique de réglementer l'utilisation des matériaux en couches de roulement. Il s'agit du :

- Guide pour le choix de techniques de construction et d'entretien des routes non revêtues, édité en avril 1995 ;
- Guide d'aménagement des points durs, édité en mai 1997.

Actuellement les deux documents sont pris comme référence pour prescrire la qualité requise des matériaux destinés à la réalisation des couches de roulement pour routes non revêtues.

Dans ce qui suit, sont décrits les différentes spécifications auxquelles on peut avoir référence (en s'appuyant principalement sur le Cahier des Prescriptions Spécialement) en attendant une décision définitive sur celle permettant d'assurer un bon compromis entre "QUALITE et MOINS D'EXIGENCE".

Les spécifications auxquelles les CPS des travaux ont souvent recourt sont celles définies par le *Guide d'aménagement des points durs*.

Guide pour le choix de techniques de construction et d'entretien des routes non revêtues

I. Matériaux graveleux et tout-venant alluvionnaires courants :

I.1. Généralités :

De tels matériaux doivent avoir un minimum de résistance aux contraintes tangentielles (résistance due à la cohésion et au frottement interne). Il est nécessaire d'apporter un certain pourcentage d'éléments fins en surface au squelette en matériaux concassés pour avoir une cohésion suffisante. Ceci s'explique par le fait que les sols fins présentent une bonne cohésion mais qui diminue lorsque la teneur en eau augmente, et que la résistance des matériaux graveleux est possible si leur angle de frottement est élevé c-à-d s'ils sont concassés.

Un matériau ayant un excès d'éléments fins se présente comme un sable dans lequel nage quelques graviers ne pouvant jouer aucun rôle et constitue par conséquent une couche de chaussée très peu stable.

Un très grand pourcentage d'éléments proches de D_{max} donne une couche de chaussée à grand indice de vide causant par suite la perte d'éléments fins. Ceci risque d'entraîner des tassements ultérieurs.

Les opérations de compactage en cours des travaux et la transmission de contraintes de trafic en période d'exploitation de la route soumettent les matériaux de chaussées à des frottements entre les granulats. Ils auront tendances à évoluer vers une granulométrie à fort pourcentage en sable.

Ces matériaux doivent avoir suffisamment de cohésion pour assurer la liaison des grains en saison sèche afin de diminuer la formation de la tôle ondulée et éviter la ségrégation pendant le service de la route.

Ils ne doivent pas contenir trop de fines, ni être trop plastiques pour éviter les dégradations de la route en saison pluvieuse.

I.2. Spécifications normatives :

1.2.1. Granulométrie :

Ouverture du tamis (mm)		31.5	20	10	5	2.5	1	0.6	0.315	0.08
Pourcentage des passants	E	100 -	80 100	55 80	40 60	30 50	-	15 30	-	5 15
	F	-	100 -	80 100	50 75	35 60	-	15 35	-	5 15
	G	-	-	100 -	80 100	50 80	40 65	-	20 40	10 25
	H	-	-	-	100 -	80 100	50 80	30 60	20 45	10 25

1.2.2. Dureté :

- LA < 40 %;
- 40 < LA < 55 Dans le cas où le CBR reste supérieur à 80 et le trafic est inférieur à 100 v / j.

1.2.3. Propreté :

Zone climatique	WI max	IP	m x IP
Humide	35	4 – 15	200 – 1200
Semi-aride	40	6 – 25	
Arde	55	10 - 30	

Avec m (mortier) désigne le pourcentage des passants à 0.425 mm.

II. Encroûtements calcaires :

La croûte calcaire est un matériau terrestre composé essentiellement de carbonate de calcium. Les croûtes existent à l'état poudreux nodulaire ou très induré ; elles sont dues à la cimentation, à l'accumulation ou au remplacement de quantités plus ou moins grandes de sols, roches ou matériaux altérés par du calcaire dans une zone d'infiltration.

Les caractéristiques chimiques et géotechniques sont situées dans les fourchettes suivantes :

- Teneur en CaCO_3 : 50 à 95 % ;
- Teneur en matière organique : Utile dans le cas d'un traitement de l'encroûtement à un liant hydraulique où les matières organiques risquent de ralentir ou annuler la prise des liants hydrauliques ;
- Croûtes de dalles : 25 à 80 ;
- Encroûtements friables : non mesurable ;
- Micro Deval humide : intéressant dans le cas de zones où la pluviométrie est considérable (> 350 mm d'eau par an). Fraction concernée : 10/14 mm.
- Granulométrie :
 - Sur le matériau d'origine, elle est sans signification ;
 - Sur le matériau extrait, elle est très variable.
- Limites d'Atterberg : $\text{IP} < 25$;
- Equivalent de sable sur 0/5 mm : 10 à 60 ;
- Valeur au bleu de méthylène : 0.2 à 0.5.

III. Tufs calcaires :

Les tufs calcaires sont des matériaux à dominance calcaire de formation récente et de dureté très variable (roche dure à sol pulvérulent) qui se trouvent dans des régions semi-arides ou arides. Ces matériaux acquièrent une forte cohésion après séchage, lorsqu'ils ont été compactés en présence d'eau. Cette cohésion apparaît si le matériau est à nouveau saturé.

Ces matériaux doivent répondre à un certain nombre d'exigences pour être utilisés en couche de surface :

- Teneur en CaCO_3 >70 % ;
- $D_{\text{max}} = 50 \text{ mm}$;
- Mortier ($\% < 0.425$) =20 à 75 ;
- % des fines < 30 % ;
- CBR après 4 jours d'immersion > 40 ;
- Propreté :

Mortier	20 – 40	41 – 50	51 – 60	61 – 75
WL	30 - 65	22 - 48	22 - 40	8 - 36
IP	9 - 22	7 - 23	5 – 13	8 - 13

NB :

Les tufs pulvérulents sont à proscrire sauf s'ils peuvent être protégés en surface par cloutage de granulats plus durs provenant de la croûte par exemple ou mélangés en proportion adéquate avec un matériau graveleux.

Guide d'aménagement des points durs

Les spécifications présentés dans le guide d'aménagement des points durs prennent en compte la nature et la provenance des matériaux dont ont vise à utiliser en couche de déglaisement. On distingue plusieurs types ou classes de matériaux :

I. Tout-venant roulé d'oued et tout-venant de brèches :

Dans ces deux catégories d'oued on trouve plusieurs natures de matériaux, à savoir les tout-venant villafranchiens et leur stérile (roulé d'oued) et les dépôts de piémonts ainsi que le stérile d'extractions de carrières (roches massives – mines).

Le tout-venant, qu'il soit d'oued ou de brèches, doit présenter des paramètres d'identification soumis aux conditions suivantes :

- $10 \leq D_{\max} \leq 60$ ($20 \leq D_{\text{optimum}} \leq 31.5$ mm) ;
- $300 \leq m \times IP \leq 1000$;
- L'une de ces conditions doit être satisfaite :
 - $8 \leq IP \leq 20$ en zones très humide et humide;
 - $10 \leq IP \leq 25$ en zones aride et désertique.

Avec m constitue le mortier, c'est-à-dire le pourcentage des passant à 0.425 mm.

II. Tufs et encroûtements calcaires.

Les tufs et les encroûtements calcaires, définis précédemment, utilisés en couche de roulement doivent satisfaire aux exigences suivantes :

- $D_{\max} \leq 60$ ($20 \leq D_{\text{optimum}} \leq 31.5$ mm) ;
- $IP \in \begin{cases} [8, 23] & \text{si } m \in [20, 50] \\ [6, 15] & \text{si } m \in [51, 75] \end{cases}$ Avec m constitue le mortier, c'est-à-dire le pourcentage des passant à 0.425 mm.
- Si $50 \leq CaCO_3 \leq 70$ % vérifier :
 - C.B.R > 30.

III. Roches tendres :

III.1. Schiste et calcaire marneux ;

- $10 \leq D_{\max} \leq 60$ ($20 \leq D_{\text{optimum}} \leq 31.5$ mm) ;
- $300 \leq m \times IP \leq 1000$;

Avec m constitue le mortier, c'est-à-dire le pourcentage des passant à 0.425 mm.

- L'une de ces conditions doit être satisfaite :
 - $8 \leq IP \leq 20$ en zones très humide et humide ;
 - $10 \leq IP \leq 25$ en zones aride et désertique.
- Si $Fr < 7$ alors il faut $Dg < 20$; sinon $Dg < 5$.

Avec :

Fr caractérise la friabilité et **Dg** caractérise la dégradabilité.

III.2. Grès calcaire, calcarénite et arènes.

- $D_{\max} \leq 60$;
- En plus il faut vérifier :

Trafic v / j	0 – 50	50 – 150
IP	0 – 20	8 – 20
Pourcentage des fines %	< 15 %	

Matériaux utilisés pour les Assises non traitées : couche De fondation et couche de base

Grave non traitée pour couche de fondation

- GNF1 – GNF2 – GNF3 0/40 et 0/60 mm

Grave non traitée pour couche de base

- Grave non traitée récompensée GNR 0/20 mm

- Grave non traitée type A et B : GNA – GNB

Roche massive

Roche ballastière

} 0/20 et 0/31.5 mm

- Grave non traitée type C et D : GNC – GND

0/31.5 et 0/40 mm

Contrôle de compactage des GNT

I. Graves non traitées pour couche de fondation :

Catégories prévues : **GNF1**, **GNF2** et **GNF3** en **0/40 mm** et **0/60 mm**.

I.1. Essais de laboratoire :

- Analyse granulométrique par tamisage ;
- Détermination des limites d'Atterberg :
 - Limite de liquidité ;
 - Limite de plasticité.
- Essai au bleu de méthylène (éventuellement) ;
- Equivalent de sable sur la fraction 0/5 mm ;
- Détermination de l'indice de concassage ;
- Essai de dureté Los Angeles ;
- Essai d'usure Micro Deval Humide (sans intérêt en zone désertique).

I.2. Spécifications normatives :

Catégorie	Classe	Granularité								Dureté (*)		Propreté		Angularité
		% des passants au tamis de (mm)								LA <	MDE (**)<	T. humide Humide Aride	Désertique	IC >
		80	60	40	20	10	6.3	2	0.08					
GNF1	0/40	-	-	100	90	70	64	48	14	30	25	ES (0/2) > 45 et IP < 6 Sinon VB < 1.5	IP < 8 ou VB < 2	60
	-	100	-	60	40	33	20	2						
	0/60	-	100	89	69	59	53	40	10					
GNF2	0/40	100	-	58	40	31	26	18	2	40	35	IP < 8 ou VB < 2	IP < 12	30
	-	100	80	47	30	20	10	2						
	0/60	-	100	89	69	59	53	40	10					
GNF3	0/40	100	80	55	32	25	17	7	2	50	45	VB < 2	IP < 12	-
	-	100	80	47	30	20	10	2						
	0/60	-	100	89	69	59	53	40	10					
	0/60	100	80	55	32	25	17	7	2					

(*) Une compensation entre LA et MDE est autorisée dans la limite de 5 points.

(**) En zone désertique, le MDE n'est pris en compte.

II. Graves non traitées pour couche de base :

Catégories prévues : **GNA, GNB, GNC, GND** et **GNR**.

II.1. Grave non traitée récompensée : GNR (0/20 mm)

II.1.1. Essais de laboratoire :

- Analyse granulométrique par tamisage ;
- Détermination des limites d'Atterberg :
 - Limite de liquidité ;
 - Limite de plasticité.
- Essai au bleu de méthylène (éventuellement) ;
- Equivalent de sable sur la fraction 0/2 mm ;
- Détermination de l'indice de concassage ;
- Détermination du coefficient d'aplatissement ;
- Essai de dureté Los Angeles ;
- Essai d'usure Micro Deval Humide.

II.1.2. Spécifications normatives :

Classe	Granularité 0/20 mm									Angularité IC >	Forme CA <	Dureté (*)		Propreté
	% Passant au tamis de (mm)											LA <	MDE <	
	31.5	30	10	5	2	1	0.5	0.2	0.08					
Mini	100	85	56	38	23	16	11	7	4	100 %	30	25	20	IP NM ES (0/2) > 50 Si non VB < 1
Maxi	-	100	84	66	46	34	24	14	8					

(*) une compensation entre LA et MDE est autorisée dans la limite de 5 points.

II.2. Grave non traitée type A et B : GNA – GNB classes 0/20 et 0/31.5 mm

II.2.1. Essais de laboratoire :

- Analyse granulométrique par tamisage ;
- Equivalent de sable sur la fraction 0/5 mm ;
- Equivalent de sable sur la fraction 0/2 mm ;
- Essai au bleu de méthylène (éventuellement) ;
- Détermination de l'indice de concassage ;
- Essai de dureté Los Angeles ;
- Essai d'usure Micro Deval Humide (sans intérêt en zone désertique).

II.2.2. Spécifications normatives :

Origine	Classe	Granularité							Angularité	Dureté (*)		Propreté
		% Passant au tamis de (mm)								IC >	LA <	
		40	31.5	20	10	6.3	2	0.08				
Ballastière	0/20	-	-	100	-	44	25	6	100 % pour la GNA	30	25	ES (0/5) > 30 Ou ES (0/2) > 45 Sinon VB < 1.5
	0/31.5	100	90	68	43	65	42	10				
Roche massive	0/20	-	100	85	47	35	18	2	35 % pour la GNB	30	25	ES (0/5) > 30 Ou ES (0/2) > 45 Sinon VB < 1.5
		-	-	100	77	60	38	10				
	0/31.5	100	85	62	35	25	14	2				
		-	100	90	62	50	34	10				

(*) une compensation entre LA et MDE est autorisée dans la limite de 5 points.

II.3. Grave non traitée type C et D : GNC – GND

II.3.1. Essais de laboratoire :

- Analyse granulométrique par tamisage ;
- Détermination des limites d'Atterberg :
 - Limite de liquidité ;
 - Limite de plasticité.
- Essai au bleu de méthylène (éventuellement) ;
- Détermination de l'indice de concassage (GNC) ;
- Essai de dureté Los Angeles ;
- Essai d'usure Micro Deval Humide (sans intérêt en zone désertique).

II.3.2. Spécifications normatives :

	C classe	Granularité							Angularité	Dureté (*)		Propreté	
		% Passant au tamis de (mm)								LA <	MDE <		
		60	40	20	10	6.3	2	0.08	IC >				
GNC	0/31.5	-	100	52	35	35	13	2	30	35	30	Très humide Humide	Aride Désertique
	40	100	80	57	30	-	10	2					
GND	0/31.5	-	100	52	35	35	13	2	-	40	35	IP < 6 Ou VB < 1.5	IP < 8 Ou VB < 2
		-	100	87	70	60	38	10					
	40	100	80	57	30	-	10	2					
	-	100	82	65	-	32	10						

(*) une compensation entre LA et MDE est autorisée dans la limite de 5 points

III. Contrôle de compactage des assises non traitées GNT :

Le contrôle de compactage des assises non traitées se fait sur la base du test de Wilcoxon développé en annexe. Ce test consiste à évaluer le compactage d'une section donnée en se basant sur une planche de référence réalisée au préalable. Il vise, ainsi, à réaliser le compactage des couches d'assises non traitées dans les conditions arrêtées lors de la réalisation de la planche d'essai (atelier de compactage, nombre de passes, couche compactée). Dans le cas d'un résultat défectueux, il faut reprendre toute la section compactée au lieu de reprendre un seul point.

Dans ce qui suit, sont décrites les spécifications à satisfaire en ce qui concerne les compacités obtenues sur la planche de références :

	Couche de fondation	Couche de base
Compacité moyenne X calculée sur un minimum de 15 valeurs	> 95 % OPM	> 98 % OPM
X - 2σ (σ écart type)	> 91 % OPM	> 94 % OPM

Matériaux utilisés pour la réalisation des revêtements superficiels

Définition

Coupures granulométriques

Catégories de liants

Structures du revêtement superficiel

- Enduit monocouche :
- Enduit monocouche double gravillonnage :
- Enduit sandwich :
- Enduit bicouche :

Choix de la structure de revêtement

Caractéristiques des granulats

- Caractéristiques des gravettes :
- Caractéristiques du liant hydrocarboné :
 - Bitumes fluidifiés :
 - Emulsions de bitumes :
- Formulation moyenne
- Température de stockage et de mise en oeuvre

I. Définition :

On appelle enduit ou revêtement superficiel le répannage d'une (ou plusieurs) couches de liant hydrocarboné, afin d'empêcher les infiltrations d'eau dans le corps de chaussée, et coller une (ou plusieurs) couches de gravillons destinés à donner rugosité à la surface de roulement.

II. Coupures granulométriques :

Afin de répartir les **contraintes** sur un maximum de gravillons, il importe que ceux-ci soient d'épaisseur à peu près équivalente. Pour cette raison, on utilise des fractions granulométriques **étroites** ou **serrées**. Les coupures les plus couramment utilisées sont :

2/4, 4/6, 6/10 et 10/14

III. Catégories de liants :

Notons qu'un bitume pur ne peut être utilisé pour les enduits car il nécessite des températures de répannage élevées et surtout l'abaissement très rapide de la température sur le support ne permet pas un bon **collage** (on appelle ici mouillabilité) des gravillons. Pour cette raison, il est nécessaire de **ramollir** provisoirement le bitume pur pour faciliter le répannage et la mouillabilité en escomptant une évaporation ultérieure des produits **ramollissants** pour donner au liant une cohésion suffisante.

Liants anhydres (ou liants chauds) :

Ces liants nécessitent un chauffage préalable à tout emploi de façon à abaisser leur viscosité jusqu'à un certain seuil compatible avec la technique envisagée.

Bitumes fluidifiés :

Les bitumes fluidifiés sont obtenus par mélange d'un bitume pur (en général 80/100) avec une coupe pétrolière plus légère (du genre kérosène ou gazole).

Les bitumes fluidifiés sont classés selon leur viscosité :

- Les plus fluides **0/1** et **10/15** : ils peuvent servir à la réalisation de l'imprégnation ;
- Les bitumes fluidifiés de viscosité moyenne **400/600** : réalisation d'enduits superficiels et confection d'enrobés stockables ;
- Les plus visqueux **800/1400** : en enduits superficiel.

- La classe **125/250** : son utilisation est proscrite.

Bitumes fluxés :

Ces bitumes sont obtenus par mélange des bitumes routiers avec les huiles de houille provenant de la distillation du goudron brut. Les bitumes fluxés sont classés suivant leur viscosité également : 400/600, 800/1200, 1200/1600 et 1600/2400.

Goudrons purs à usages routiers :

Ces goudrons sont fabriqués à partir de brai et des huiles de houille.

Bitumes goudrons :

Ces liants sont voisins des bitumes fluxés et ont pratiquement le même domaine d'emploi. Dans ce cas, le fluxage du bitume est obtenu par un goudron fluide, c'est à dire un mélange brai + huiles. Leur susceptibilité et leur vieillissement trop rapide sont corrigés par la présence de 60 % de bitume assez dur (60/70 ou 40/50).

Emulsions :

Une émulsion de bitume est un système hétérogène constitué par la dispersion de fines particules de bitume dans l'eau, l'ensemble étant stabilisé par un émulsifiant. Au contact des granulats et plus généralement des surfaces minérales, ce système perd sa stabilité. L'émulsion rompt et le bitume se dépose sur la surface minérale.

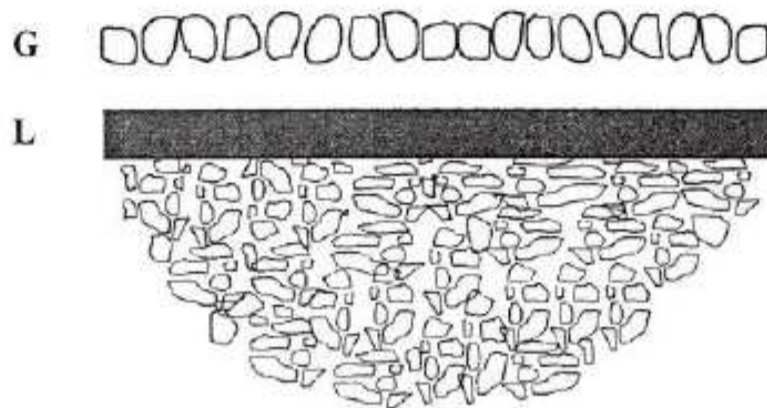
Une émulsion est qualifiée par :

- Son type : en général cationique (acide), quelque fois anionique (basique) ;
- Son pourcentage en bitume : il varie entre 50 et 70 % ;
- La catégorie de bitume de base ;
- Sa vitesse de rupture (rapide, semi-rapide, lente, surstabilisée) ;
- Sa Pseudo-viscosité à 25 °C ;
- Son adhésivité vis-à-vis des granulats.

IV. Différentes structures d'enduit superficiel :

Enduit monocouche (type LG) :

Réservé au renouvellement de couche d'usure sur chaussées supportant un trafic inférieur à la classe T2 dont le support est en bon état.



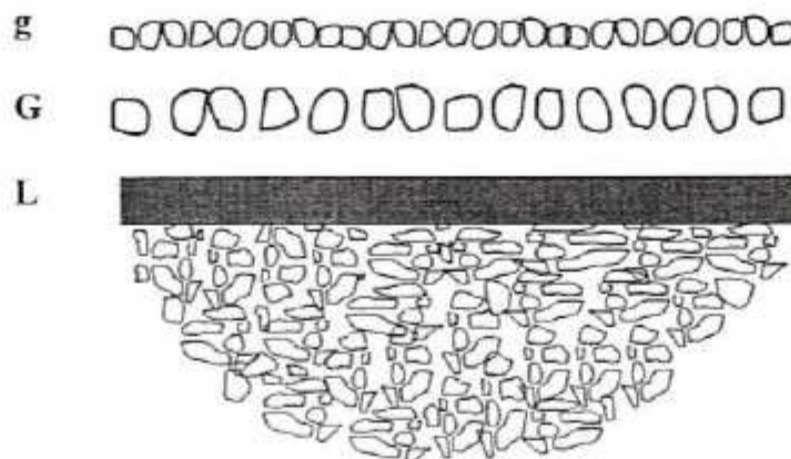
Couche de liant hydrocarboné + couche de granulats : 6/10 ou 10/14

On a recours à la structure 10/14 sur :

- Des supports indentables constitués de GNT ;
- Des supports soumis à un fort trafic de poids lourd ;
- Des routes à tracé sinusoïdal ;
- Des routes de montagne ;
- Des routes enneigées.

Enduit monocouche double gravillonnage (type LGg) :

Réservé actuellement, faute de maîtrise de ces qualités, au renouvellement des enduits d'usure sur chaussées supportant un trafic de classe T2 dont les supports sont de bonne qualité et pour lesquelles une forte rugosité est recherchée.



Couche de liant hydrocarboné + 2 couches de granulats

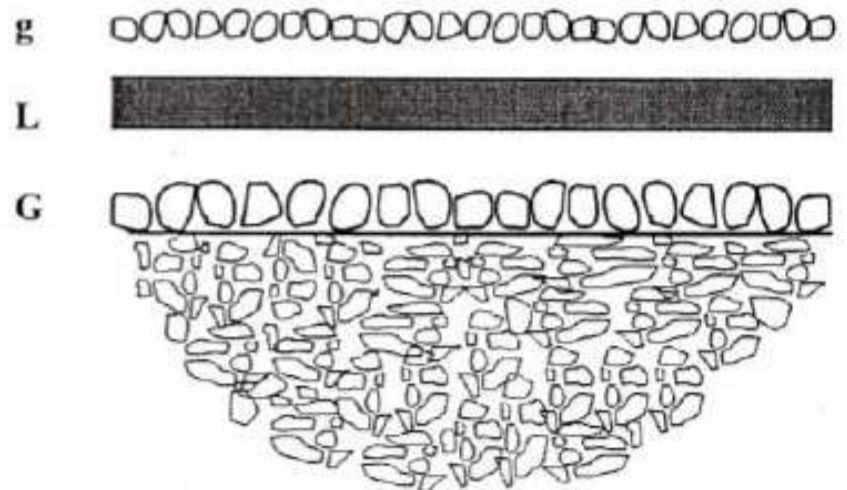
4/6 et 10/14 ou 2/4 et 6/10

- On a recours à la structure 2/4 et 6/10, si l'on vise à limiter le danger que fait courir aux usagers le rejet des gravillons de gros diamètre.
- On a recours à la structure 4/6 et 10/14 pour des supports indentables soumis à un fort trafic de poids lourd.

Enduit Sandwich ou monocouche inversé (type GLg) :

Adapté à :

- La couche de roulement des chaussées neuves ou rénovées lorsque le catalogue des structures de chaussées neuves ou le manuel de renforcement prévoit l'utilisation d'une structure monocouche, ainsi que pour celle des routes supportant un trafic de classe T4 et T5 en zone aride ou désertique, pour lesquelles une économie est recherchée à court terme.
- Renouvellement de couches d'usure sur des chaussées hétérogènes (ressuantes, plumées, pelées, etc...) avec des emplois partiels supportant un trafic inférieur à la classe T1.



Couche de gravillon + film de liant + couche de gravillon

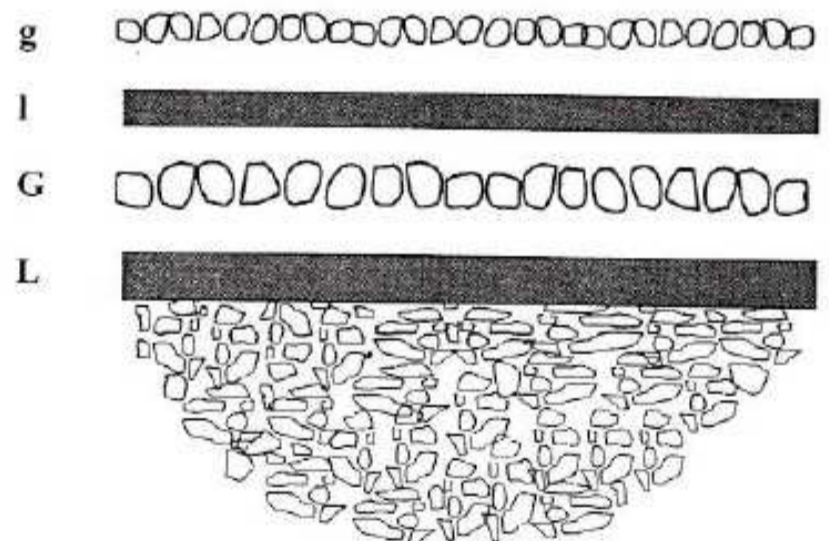
Discontinues : 4/6 et 10/14

Continues : 4/6 et 6/10 ou 6/10 et 10/14

Enduit bicouche (type LGlg) :

Adapté à :

- La couche de roulement des chaussées neuves ou rénovées lorsque le catalogue des structures types ou le manuel de renforcement prévoit un enduit superficiel multicouche ;
- Renouvellement de couches d'usure sur chaussées supportant un trafic de classe T2 et T1 et sur chaussées supportant un trafic de classe T4 et T3.



Deux couches de liant et de gravillons alternées

Continues : 4/6 et 6/10 ou 6/10 et 10/14

Discontinues : 2/4 et 6/10 ou 4/6 et 10/14

V. Choix de la structure de revêtement :

Critères		Type de structure			
		Monocouche	Bicouche	Monocouche Double gravillonnage	Sandwich
Matériaux	Granulats	6/10 ou 10/14	10/14 –6/10 ou 4/6 6/10-4/6 ou 2/4	10/14 –4/6	10/14 –6/10 ou 4/6 6/10-4/6 ou 2/4
	Liant	BF 800/1400	ER 65 ou 69 BF 800/1400	BF 800/1400	ER 65 ou 69 BF 800/1400
Trafic	TMJA	T5– T4 – T3	T1- et T2	T2	T5 ,T4, T3 ,T2
Etat du support	Indentable	Structures à base de 10/14 si % de poids lourds fort			
	Hétérogène	Déconseillé	Recommandé	Déconseillé	Acceptable
	Ressuant	Déconseillé	Acceptable	Déconseillé	Recommandé
Climat	Température Du support	> 15 °C	> 15 °C avec BF > 10 °C avec ER	> 15 °C	> 15 °C avec BF > 10 °C avec ER
	Zone climatique	Le BF 800/1400 est déconseillé en arrière saison sauf en zone désertique . le dopage du 800/1400 est recommandé en zone humide			
Relief	Forte rampe Sinuosité	Déconseillé	Recommandé	Déconseillé	Acceptable
Adhésivité	Liant granulats	Dopage souvent nécessaire avec le bitume fluidifié			

VI. Caractéristiques des granulats et liants :

VI.1. Les granulats :

Essais de laboratoire :

- ❑ Analyse granulométrique par tamisage à sec ;
- ❑ Détermination du coefficient d'aplatissement ;
- ❑ Détermination de la propreté superficielle ;
- ❑ Essai de dureté Los Angeles ;
- ❑ Essai d'usure Micro Deval Humide.

Spécifications du Cahier des Prescriptions Communes :

Caractéristiques des granulats	Trafic	TPL5	TPL4	TPL3	TPL2 et TPL1	Observations
		T1	T2	T3	T4 et T5	
	Los Angeles	< 20	< 25	< 30	< 35	Avec compensation de 5 points
	Micro Deval	< 15	< 20	< 25	< 30	
	Forme	< 20	< 25	< 25	< 30	Voir le pouvoir couvrant
	Polissage	> 0.5	> 0.5	> 0.45	> 0.45	Facultatif
	Propreté	< 1	< 1	< 1	< 1	Impératif
	Adhésivité à l'immersion après séchage	6 h	24 h			–
	Rapport de concassage	> 1				Cas des ballastières

VI.2. Liants hydrocarbonés :

VI.2.1. Bitumes fluidifiés :

Essais de laboratoire :

- Pseudo – viscosité, selon la norme NM 03 – 4 – 025 ;
- Densité relative à 25 °C, selon la norme NM 03 – 4 – 023 ;
- Distillation fractionnée, selon la norme NM 03 – 4 – 024 ;
- Pénétration résiduelle à 25 °C, selon la norme NM 10 – 4 – 012.

Spécifications de la norme NM 03-04-003 :

Caractéristiques	Norme d'essais	Classes				
		0/1	10/15	400/600	800/1400	
Pseudo-viscosité (secondes) Orifice de 4 mm à 25 °C Orifice de 10 mm à 25 °C Orifice de 10 mm à 40 °C	NM 03-4-025	< 30 - -	- 10 à 15 -	- 400 à 600 -	- - 80 à 200	
Densité relative	NM 03-4-023	0.90 à 1.02		0.92 à 1.04	0.92 à 1.04	
Distillation fractionnée Pourcentage de distillat aux températures de :	NM 03-4-024	190 °C	< 9	-	-	-
225 °C		10 à 27	< 11	< 2	< 2	
315 °C		30 à 45	16 à 28	5 à 12	3 à 11	
360 °C		< 47	< 32	< 15	< 13	
Pénétrabilité à 25 °C , 100 g, 5sec , sur résidu de distillation à 360 °C (1/10 mm)	NM 03-4-012	80 à 250		80 à 200		
Point d'éclair en vase clos ABEL (°C)	NM 03-4-022			> 55	> 55	

VI.2.2. Emulsions de bitume :

Essais de laboratoire :

- ❑ Teneur en eau, selon la norme NM 03 – 4 – 032 ;
- ❑ Teneur en diluants pétroliers, selon la norme NM 03 – 4 – 038 ;
- ❑ Homogénéité par tamisage, selon la norme NM 03 – 4 – 037 ;
- ❑ Indice de rupture, selon la norme NM 03 – 4 – 035 ;
- ❑ Charges des particules, selon la norme NM 03 – 4 – 034 ;
- ❑ Pseudo-viscosité, selon la norme NM 03 – 4 – 033 ;
- ❑ Adhésivité, selon la norme NM 03 – 4 – 036.

Spécifications de la norme NM 03-04-029 :

Caractéristiques	Rapide		Semi-rapide		Lente	Sur stabilisée
	R65	R69	SR65	SR69	L65	S55
Teneur en diluants pétroliers	< 3	< 3	< 5	< 5	< 5	< 10
Teneur en eau	< 37	< 33	< 37	< 33	< 37	< 47
Pseudo viscosité Engler 25 °C	> 6	> 15	> 6	> 15	> 6	> 15
Homogénéité : - particules > 0.630 mm - particules entre 0.160 et 0.630	< 0.10 % < 0.25 %					
Stabilité au stockage : - émulsion à stockage limité - émulsion stockable	<5 -	<5 -	< 5 < 5	< 5 < 5	- < 5	- < 5
Adhésivité :	≥ 90	≥ 90	≥ 90	≥ 90	-	-
Indice de rupture	< 100	< 100	80 à 140	80 à 140	> 120	-
Charge des particules	Positive					

VII. Formulation moyenne :

Enduit monocouche

Liants et granulats	Bitume fluidifié	Bitume fluxé		Bitume-goudron	Emulsion ⁽¹⁾		Granulats (L / m ²)
		400/600 800/1400	600/800		1600/2400	1200/200	
Granularité (mm)							
4 / 6	1.000	0.950	0.950	0.900	1.200	1.100	6 à 7
6 / 10	1.200	1.150	1.150	1.200	1.500	1.400	8 à 9
10 / 14	-	1.400	1.300	1.450	-	1.850	11.5 à 13

Enduit monocouche double gravillonnage

Liants et granulats	Bitume fluxé	Bitume-goudron	Emulsion ⁽¹⁾	Granulats (L / m ²)
	1600/2400	1200/200	69 %	
4 / 6	1.350	1.450	1.900	4 à 5
10 / 14				8 à 9
6 / 10	1.100	1.150	1.600	6 à 7
2 / 4				3 à 4

Enduit bicouche

Type A								
Liants et granulats	Bitume fluidifié (Kg / m ²)		Bitume fluxé (Kg / m ²)		Bitume goudron (Kg / m ²)		Granulats (L / m ²)	
	10 / 14	6 / 10	10 / 14	6 / 10	10 / 14	6 / 10	10 / 14	6 / 10
Granularité (mm)	4 / 6	2 / 4	4 / 6	2 / 4	4 / 6	2 / 4	4 / 6	2 / 4
1 ^{ère} couche	1.100	1.000	1.050	0.950	1.100	1.000	9 à 11	7 à 9
2 ^{ème} couche	1.000	0.800	0.950	0.850	0.900	0.800	6 à 8	5 à 6
Total	2.100	1.800	2.000	1.800	2.000	1.800	-	-
Type B								
Liants et granulats	Emulsion de bitume (Kg / m ²)				Granulats (L / m ²)			
	à 65 %		à 69 %					
Granularité (mm)	10 / 14	6 / 10	10 / 14	6 / 10	10 / 14	6 / 10	10 / 14	6 / 10
	4 / 6	2 / 4	4 / 6	2 / 4	4 / 6	2 / 4	4 / 6	2 / 4
1 ^{ère} couche	1.100	1.000	1.000	0.900	1.000	0.900	10 à 11	8 à 9
2 ^{ème} couche	1.500	1.300	1.300	1.200	1.300	1.200	6 à 7	5 à 6
Total	2.600	2.300	2.300	2.100	2.300	2.100	-	-

VIII. Température de stockage et de mise en œuvre :

Liant		Stockage	Répandage	
Nature	Classe	Température maximale °C	Température maximale °C	Température minimale °C
Bitumes fluidifiés	400/600	70/80	150	125
	800/1400	70/80	160	135
Bitumes fluxés	800/1200	70/80	155	130
	1200/1600	70/80	160	140
	1600/2400	70/80	160	150
Goudrons	14/15	70/80	130	110
Emulsions	65 %	50/70	50/70	Température nécessaire pour ramener la viscosité à moins de 11 °E
	69 %	60/80	50/70	
Bitumes goudrons	1200	70/80	145	130
	2000	70/80	165	135
Liants modifiés	Selon les recommandations du fabricant			

Matériaux utilisés pour les assises traitées au liants hydrocarbonés : enrobés à chaud

Identification des granulats

- Essais de laboratoire
- Spécifications normatives :

Jugement d'agrément et critères de recette

Analyse des bitumes purs

Mélange minéral

- Granularité
- Caractéristiques mécaniques

Caractéristiques Marshall

Caractéristiques Duriez

- Température de mise en œuvre

Etude de formulation des enrobés

I. Identification des granulats :

Essais de laboratoire :

- Analyse granulométrique, selon la norme NF P 18 – 560 ;
- Coefficient d'aplatissement, selon la norme NF P 18 – 561 ;
- Dureté Los Angeles, selon la norme NF P 18 – 573 ;
- Usure Micro Deval, selon la norme NF P 18 – 572 ;
- Equivalent de sable, selon la norme NF P 18 – 598.

Spécifications de la directive des enrobés à chaud :

1.1.1. Dureté :

Matériau	Classe	Valeur limite Los Angeles (S)
Grave bitume GBB	0/20	< 30
	0/25	
Béton bitumineux EB	0/10	< 25
	0/14	

☞ Jugement d'agrément :

Lorsque le coefficient Los Angeles **LA** est compris entre **S – 5** et **S**, il faut s'attendre à l'éventualité de rencontrer des valeurs supérieures à la limite S lors des essais de recette ; cette éventualité devient réalisable au fur et à mesure que **LA** s'approche de

S. Ainsi, il serait préférable de vérifier que :

- Pour les graves bitumes : MDE < 25 ;
- Pour les enrobés bitumineux : MDE < 20.

☞ Critère de recette :

- La valeur du coefficient LA doit être inférieure à la valeur obtenue lors des essais d'agrément majorée de 5 points sans dépasser la valeur fixée par le CPC ;
- Une compensation est prévue entre LA et MDE (si la valeur de LA dépasse la valeur limite S) dans la limite de 5 points ; MDE restant inférieure à **25 pour GBB** et à **20 pour EB**.

1.1.2. Propreté :

Matériaux	Equivalent de sable Sur la fraction 0/5 mm	Indice de plasticité
GBB : 0/20 – 0/25 mm	> 30	Non mesurable
BB : 0/10 – 0/14 mm	> 40	Non mesurable

Sable 0/D :

☞ Jugement de l'agrément :

Equivalent de sable conforme : Propreté satisfaisante ;

Cependant, dans le cas des GBB, si $30 < ES < 35$, vérifier la non plasticité avant d'agréer le matériau au point de vue propreté.

Equivalent de sable non conforme :

- Si $D_{max} > 5 \text{ mm}$ le matériau est refusé ;
- Si $D_{max} \leq 5 \text{ mm}$ déterminer les limites d'Atterberg :
 - Si **IP = Non Mesurable** le matériau est provisoirement acceptable à condition de vérifier l'équivalent de sable au moment de l'étude de formulation (sur le mélange minéral).
 - Si **IP est mesurable** le matériau ne peut être agréé.

☞ Critère de recette :

Notons **S** la valeur limite de l'équivalent de sable exigé par le CPC, **S'** la valeur trouvée lors de l'agrément ; l'agrément étant prononcé, et X la valeur trouvée lors des essais de recette.

Si $S' \geq S$ alors $X \geq S$;

Si $S' \leq S$ alors $X \geq S'$; de plus si $X \leq 35$ il faut que **IP = Non Mesurable**.

Granulats d/D :

☞ Jugement de l'agrément :

Lorsque l'indice de plasticité est strictement non mesurable, la classe granulaire est considérée comme satisfaisante vis-à-vis de la propreté.

☞ Critère de recette :

Cette même non plasticité doit être toujours contrôlée lors des essais de recette.

1.1.3. Granularité :

- **Spécifications normatives** :

Aucune spécification n'est prévue pour les agrégats constituant les matériaux enrobés, mais seulement un fuseau de spécification sur le mélange minéral.

□ **Dénomination de la classe granulaire :**

Notons que la norme marocaine NM 10.1.1020 définit la classe granulaire ainsi :

Un granulat est dit granulat type d/D lorsque :

- Le refus au tamis d'ouverture D est inférieur à x % ;
- Le tamisât sur le tamis d'ouverture d est inférieur à x % ;
- Le tamisât sur le tamis $\frac{d}{2}$ est inférieur à y %.

Avec, $y = 3$ % et :

- $x = 10$ % dans le cas où $\frac{D}{d} \geq 2$ sauf spécifications contraires au CPC ou CPS ;
- $x = 15$ % dans le cas où $\frac{D}{d} < 2$;
- Pour un sable $0/D$ et en l'absence de document normatif, le refus au tamis d'ouverture D est inférieur à **10** %.

□ **Continuité de la courbe granulaire :**

- Si $D \geq 2.5d$, le tamisât à $(d + D)/2$ doit être compris entre **33** % et **66** % ;
- Si $D < 2.5d$, alors :

Classe granulaire d/D mm	4/6.3	6.3/10	6.3/14	10/14
Tamis médian (mm)	5	8	10	12.5
Position du fuseau à ce tamis %	30 – 55	37 – 62	45 – 70	52 – 77

□ **Homogénéité – régularité :**

Gravettes d/D :

Etendue maximale du fuseau de régularité :

- 10 % à d et D ;
- 25 % à $(d + D)/2$.

Sable $0/D$:

Etendue maximale du fuseau de régularité :

- 10 % à D et au tamis de 0.5 mm ;
- 15 % au tamis de 2 et 4mm si $D \neq 2$ mm ou $D \neq 4$ mm ;
- 4 % à 0.08 mm si % fines < 12 % ;
- 6 % 0.08 mm si % fines ≥ 12 %.

1.1.4. Angularité :

Appréciée par détermination de l'indice de concassage.

Nature de matériau	Trafic	Angularité	Observations
GBB 0/20 et 0/25	T0	$RC \geq 4$	Concassé pur
	T1	$RC = 1$	Concassé à 100 %
	T2	$IC \geq 50 \%$	-
	T3 et T4	$IC \geq 20 \%$	-
BB 0/10 et 0/14	Toutes catégories	$RC \geq 4$	Concassé pur

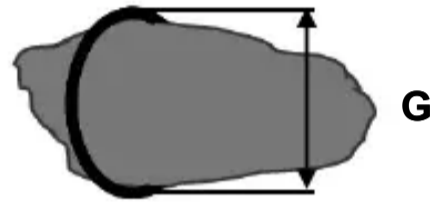
1.1.5. Forme :

Appréciée par détermination du coefficient d'aplatissement

CA = pourcentage d'éléments tels que $G/E > 1.58$.

E : épaisseur du granulat

G : grosseur du granulat (similaire à la notion de largeur)



Gravette	Coefficient d'aplatissement
4 à 10 mm	≤ 25
≥ 10 mm	≤ 20

II. Bitume pur :

Les principales caractéristiques et spécifications définies par le CPC et la norme Marocaine NM 03-4-002 pour les bitumes destinés aux travaux routiers, en particulier, la fabrication des bétons bitumineux, sont résumées dans le tableau suivant :

Caractéristiques	Norme d'essai	Classes				
		180/220	80/100	60/70	40/50	20/30
Pénétrabilité à l'aiguille à 25 °C (1/10 mm)	NM 03 4 012	180 à 220	80 à 100	60 à 70	40 à 50	20 à 30
Ductilité (cm)	NM 03 4 013	> 100	> 100	> 80	> 60	> 25
Densité relative , méthode du pycnomètre	NM 03 4 014	1.00 /1.07	1.00/1.10	1.00/1.1	1/1.1	1/1.1
Point de ramollissement , méthode bille et anneau (°C)	NM 03 4 015	34 à 43	41 à 51	43 à 60	47 à 60	52 à 68
Effet de la chaleur et de l'air Pénétrabilité résiduelle %	NM 03 4 016	> 42	> 47	> 52	> 55	> 60
Perte de masse à la chaleur %	NM 03 4 017	< 2	< 2	< 1	< 1	< 1
Solubilité %	NM 03 4 18	>99.5	>99.5	>99.5	>99.5	>99.5
Point d'éclair et point de feu en vase ouvert (°C)	NM 03 4 19	> 230	> 230	> 230	> 250	> 250
Teneur en paraffine %	NM 03 4 20	< 4.5	< 4.5	< 4.5	< 4.5	< 4.5

Chaque classe de bitume est caractérisée par une température d'utilisation. Ces températures figurent dans le tableau suivant :

Classe de bitume	80/120	60/70	40/50	20/30
Température d'utilisation °C	140	150	160	180

III. Mélange minéral :

Le présent tableau présente les fourchettes de passant à différents tamis et rappelle pour chaque technique (EB ou GBB) les classes de bitume pur à utiliser :

passant au tamis de (mm)	EB 0/10 Roulement	EB 0/14 Liaison	GBB	
			0/20	0/25
25	-	-	-	100
20	-	-	100	74 – 100
14	-	100	-	-
10	100	-	-	-
6	65 – 80	50 – 65	44 – 65	37 – 60
2	30 – 45	25 – 38	25 – 42	24 – 40
0.08	5 – 9	4 – 8	6 – 10	6 – 10
Bitume	40/50 ou 60/70 ou 80/100		40/50 ou 60/70	

IV. Caractéristiques mécaniques :

		EB 0/10 Roulement	EB 0/14 liaison	GBB 0/20 et 0/25	
Module de richesse K		3.45 à 3.9	3.45 à 3.9	2 à 2.5	
Essai Marshall	Compacité %	93 – 97	92 – 96	91 – 97	
	Stabilité daN	Bitume			
		40/50	> 1000	> 900	> 800
		60/700	> 1000	> 900	> 700
		80/100	> 950	> 850	-
Fluage	< 4	< 4	< 4		
Essai Duriez	Compacité %	90 – 95	88 – 94	88 – 95	
	Compression bar	Bitume			
		40/50	> 60	> 60	> 50
		60/700	> 55	> 55	> 45
		80/100	> 50	> 45	-
RH/RS	> 0.75		> 0.65		

V. Température de répannage :

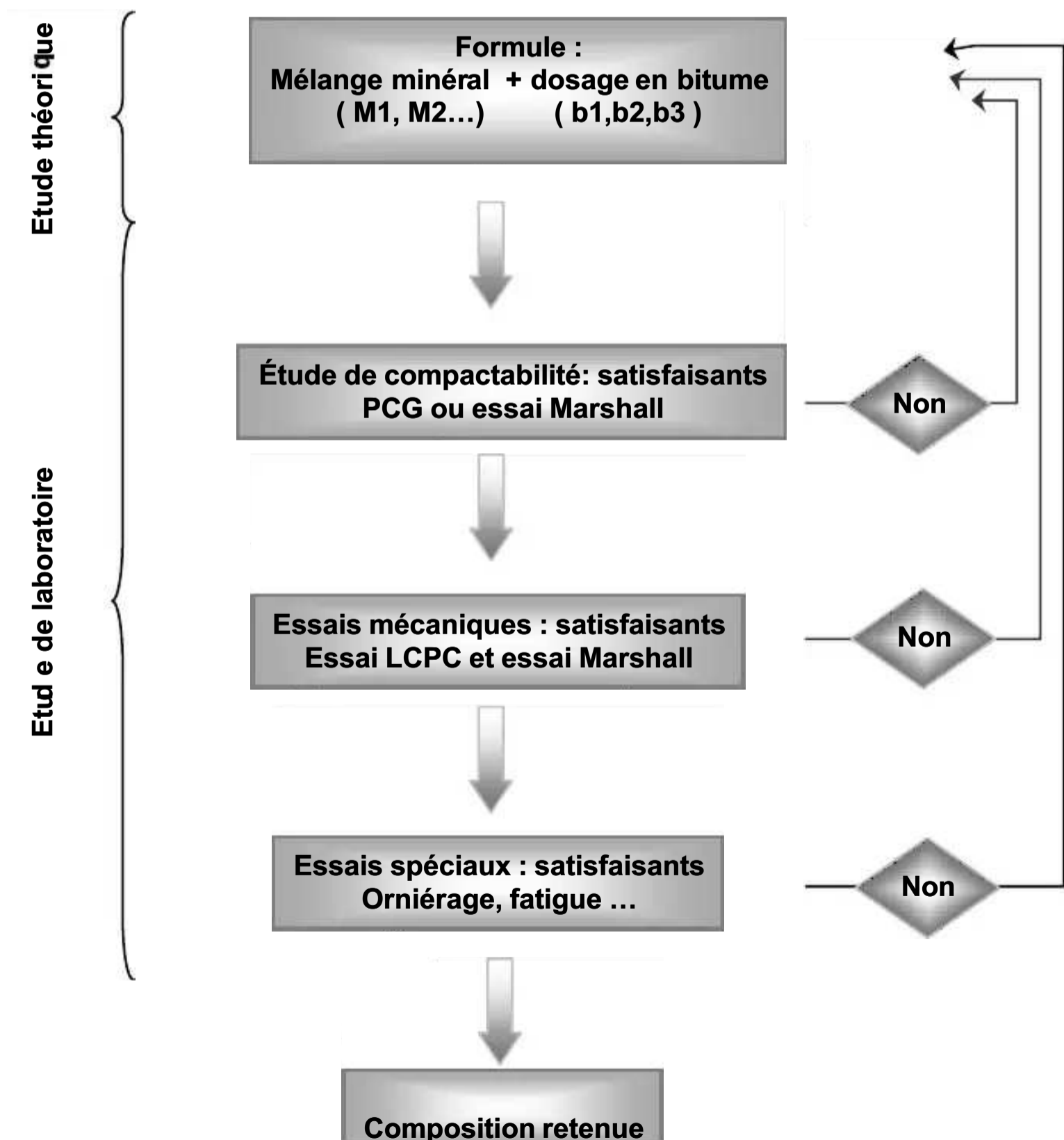
Classe de bitume	80/100	60/70	40/50
Température minimale °C	120	130	135

Ces températures sont majorées de 10 °C en cas de pluie ou en arrière saison.

VI. Etude de formulation des enrobés

Une étude de formulation d'un enrobé bitumineux vise essentiellement à déterminer, d'une part, ses caractéristiques notamment le *pourcentage des vides*, sa *teneur à l'eau* et ses *performances mécaniques*. D'autre part définir sa composition moyennant les paramètres suivants : *la granularité*, *la nature des granulats*, *la nature et la teneur en fines*, *le type et la teneur en liant* et finalement *la nature et le dosage de dope d'adhésivité* (le cas échéant).

Les étapes de réalisation d'une étude de formulation sont schématisées ci-dessous :

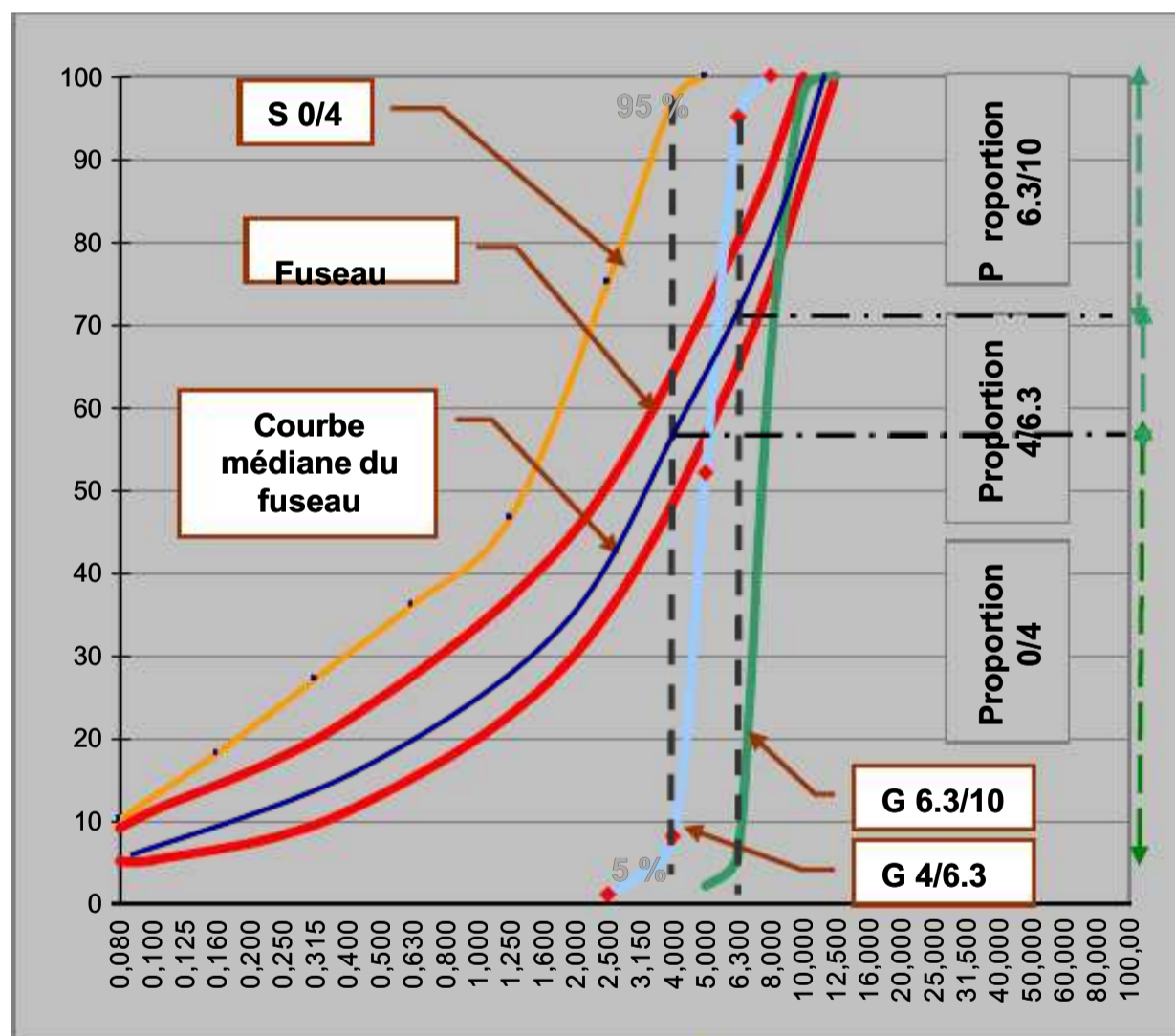


VI.1. Etude théorique :

VI.1.1. Détermination du mélange minéral :

Le mélange minéral est déterminé à partir des courbes granulométriques moyennes des différentes classes granulaires choisies pour la réalisation de l'étude de formulation.

Une méthode simple pour la détermination d'un mélange minéral est exposée dans ce qui suit :



Etape N°1 : Tracer dans le même graphique :

- Les courbes granulométriques des différentes classes granulaires ;
- Le fuseau granulométrique adopté pour le mélange minéral ;

- La courbe médiane : qui constitue la moyenne des deux limites inférieure et supérieure du fuseau.

Etape N°2 : Tracer la droite joignant le point correspondant à 5% de passants sur la courbe de la première gravette, au point correspondant à 95 % de passants sur la courbe de la deuxième gravette (ordre décroissant des Dmax).

Etape N°3 : Le point d'intersection de cette droite avec la courbe médiane du fuseau détermine le pourcentage pondéral de la première gravette dans le mélange minéral.

Etape N°4 : Les étapes 2 et 3 sont répétées pour l'obtention des proportions des autres classes granulaires.

Etape N°5 : Le pourcentage du tamisât d'un tamis donné pour la courbe granulométrique du mélange est la somme des pourcentages du tamisât au même tamis correspondant aux différents constituants pondérés par les proportions déterminées.

$$P = \sum_i \alpha_i R \quad \text{Eq N°1}$$

Etape N°6 : Procéder à une analyse granulométrique sur échantillon de mélange minéral reconstitué au laboratoire en adoptant les proportion déterminées théoriquement afin d'apprécier la courbe réelle du mélange minéral et de procéder aux éventuelles corrections.

VI.1.2. Détermination du dosage en liant :

La teneur en liant est fonction du module de richesse **K** et de la surface spécifique Σ du mélange minéral et s'écrit :

$$B = \alpha \times K \times \sqrt[5]{\Sigma} \quad \text{Eq N°2}$$

Ou :

- **K** : est le module de richesse qui symbolise l'épaisseur du film de bitume qui enrobe les granulats. La fourchette de variation de K est définie dans le tableau N°
- **Σ** : est la surface spécifique caractérisant la surface globale développée par les grains constitutifs du mélange minéral . Elle est calculée à partir de la courbe granulométrique par la relation :

$$\Sigma = 0.20 g + 2.2 S + 12 s + 135 f \text{ (m}^2/\text{Kg)} \quad \text{Eq N}^\circ 3$$

Avec :

- g : % d'éléments > 6,3 mm ;
- S : % d'éléments compris entre 6.3 et 0.315 mm ;
- s : % d'éléments compris entre 0.315 et 0.08 mm ;
- f : % d'éléments < 0.08 mm.

La relation liant la teneur en bitume de l'enrobé à la surface spécifique conventionnelle du mélange minéral est traduite par la formule suivante :

- **α** : coefficient correcteur tenant compte de la masse volumique des granulats :

$$\alpha = \frac{2.65}{Mvr_g} \quad \text{Eq N}^\circ 4$$

Avec : Mvr_g (t/m³) est la masse volumique réelle des granulats ou du mélange minéral. Elle se calcule en fonction des masses volumiques des différentes classes granulaires par la formule suivante :

$$Mvr_g = \frac{100}{\sum_i \frac{P_i}{\gamma_{Si}}} \quad \text{Eq N}^\circ 5$$

Avec : P_i constitue le pourcentage de la classe granulaire i dans le mélange minéral et γ_{Si} la masse volumique correspondant.

VI.2. Etude de laboratoire :

Cette étude a pour but de vérifier expérimentalement la formule théorique adoptée lors de la phase précédente. Elle consiste à réaliser :

- Une étude de compactabilité ;
- Une étude mécanique ;

VI.2.1. Etude de compactabilité :

L'étude de compactabilité se base essentiellement sur deux essais universels à savoir l'essai Marshall et l'essai à la Presse à Cisaillement Giratoire.

Le principe de cette étude consiste à fabriquer au laboratoire des gâchées expérimentales à partir d'un mélange minéral M1 et un dosage en bitume b1 correspondant à un module de richesse proche de la moyenne de la fourchette spécifiée .

Si les résultats des essais de compactabilité sont satisfaisants, ces essais seront reconduits avec le même mélange minéral est des dosages en bitume b2 et b3 situés de part et d'autre du dosage b1 et ce afin d'apprécier les variations des paramètres de compactage en fonction de la teneur en bitume de l'enrobé.

Lorsque les essais de compactabilité auront abouti à des résultats insuffisants, ils seront repris avec un autre mélange minéral M2 et un dosage en bitume b1 et le reste de l'étude est entamé en cas de résultats satisfaisants .

La formule retenue est servira pour la réalisation de l'étude mécanique est celle qui présente l'évolution la plus rapide de la compacité traduisant une maniabilité optimale du mélange hydrocarboné.

VI.2.2. Etude mécanique :

Cette étude vise à la réalisation des essais mécaniques sur la formule retenue par l'étude de compactabilité. Ces essais sont l'essai Marshall et l'essai Duriez.

a. Essai Marshall :

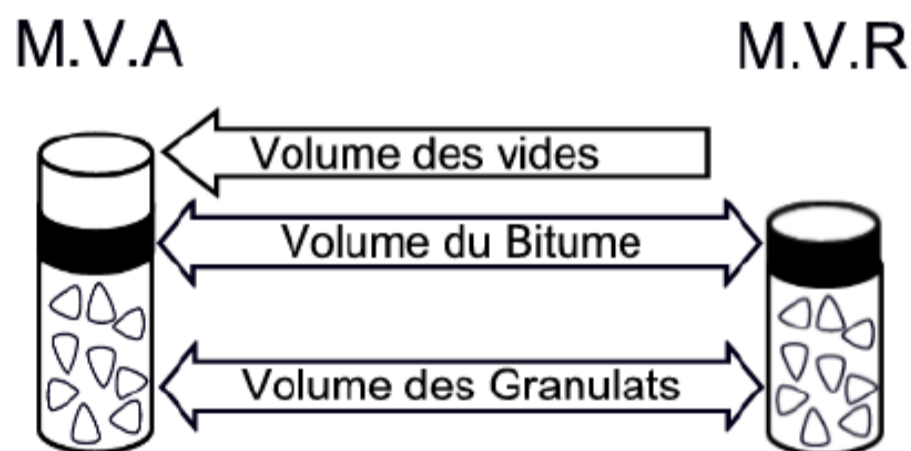
Cet essai vise à déterminer trois paramètres caractérisant le comportement mécanique de l'enrobé vis-à-vis des sollicitations extérieures, à savoir : le pourcentage des vides (compacité de l'enrobé), la stabilité et le fluage.

□ Compacité de l'enrobé :

La compacité de l'enrobé permet d'évaluer le pourcentage des vides renfermé par cet enrobé étant donné qu'elle s'exprime ainsi :

$$\text{Compacité} = 100 - \% \text{ de vides} \quad \text{Eq N}^{\circ}6$$

La compacité se calcule facilement en fonction des masses volumiques réelle et apparente :



$$\text{Compacité} = \frac{M.V.A}{M.V.R} \times 100 \quad \text{Eq N}^{\circ}7$$

Où :

M.V.A : la masse volumique apparente se mesure sur une éprouvette fabriquée au laboratoire.

M.V.R : la masse volumique réelle correspondant à la densité " qu'aurait " l'enrobé sans vides.

Elle se calcule à partir de la MVR de chaque constituant et de leur pourcentage dans le mélange :

$$M.V.R = \frac{100+B}{\sum_i \frac{P_i}{MVRg_i} + \frac{B}{MVRb}} \quad \text{Eq N°8}$$

Avec :

B : Pourcentage en bitume

P_i : Pourcentage du i^{ème} constituant granulaire

MVRg_i : Masse volumique réelle du i^{ème} constituant granulaire

MVRb : Masse volumique du bitume prise égale à 1.02 T/m³.

NB :

Il convient de noter qu'il s'agit de la compacité *absolue* de l'enrobé, à ne pas confondre avec la compacité relative utilisée sur chantier où l'on compare la MVA de l'enrobé en place à une MVA de référence déterminée à partir d'un essai de laboratoire (L.C.P.C par exemple) ou sur une planche de compactage.

□ Stabilité Marshall :

Elle est caractérisée par la valeur de la charge maximale à la rupture de l'éprouvette Marshall.

□ Fluage Marshall :

Il est caractérisé par la valeur de l'affaissement de l'éprouvette selon son diamètre vertical au moment de la rupture ou à l'instant où on atteint le maximum de la charge.

b. Essai Duriez ou L.C.P.C :

Il consiste à déterminer, pour une température et un compactage donnés, la tenue à l'eau de l'enrobé. Celle-ci est évaluée par un rapport dit rapport d'immersion/compression qui permet d'apprécier d'une façon indirecte l'adhésivité du bitume aux granulats.

Ce rapport est $\frac{R_s}{R_h}$ avec :

R_s : constitue la résistance à la compression des éprouvettes conservées dans l'air.

R_h : constitue la résistance à la compression des éprouvettes conservées dans l'eau.

Cet essai permet en plus de déterminer la compacité des éprouvettes L.C.P.C qui servira pour le contrôle de compactage de l'enrobé sur chantier.

VII. Contrôle de qualité des enrobés :

Les étapes de contrôle de qualité des enrobés sont énumérées d'une manière grossière, ils vont être traités dans un autre document ultérieurement.

Etape N°1: Agrément des matériaux

Cette étape consiste en la réalisation des essais d'identification sur les différentes classes granulaires devant être utilisées pour la fabrication des graves bitumes et des enrobés bitumineux.

Etape N°2 : Réalisation d'une étude de formulation

Cette étape vise à constituer un mélange minérale, à partir des classes granulaires agréées, présentant des caractéristiques granulométriques réglementaires et évaluer le pourcentage en bitume nécessaire pour obtenir de bonnes caractéristiques mécaniques notamment la compactabilité, le fluage, la stabilité et la tenue à l'eau de l'enrobé (qui caractérise en quelque sorte l'adhésivité passive du liant au granulats).

Etape N°3 : Réalisation d'une planche d'essai ou de vérification

Avant de procéder à la mise en œuvre des enrobés bitumineux, il faut réaliser une planche d'étalonnage qui dépend de l'objectif à atteindre. Cette planche peut être :

Planche de vérification : On y recourt pour vérifier les modalités de mise en œuvre d'un enrobé bitumineux, déjà utilisé ou présentant des caractéristiques d'identification et mécaniques connues, à l'aide d'un atelier de compactage identique à celui utilisé dans un chantier antérieur. On se contente d'une seule planche.

Planche d'essai : on a recours à ce type de planche lorsqu'on est en présence de matériaux nouveau, d'un atelier de compactage différents ou des conditions de mise en œuvre différentes (épaisseur par exemple).

On réalise 2 ou 3 planches unitaires dont chacune est mise en œuvre en variant un paramètre ou plusieurs paramètres de fonctionnement (généralement le nombre de passes et les types de compacteurs à utiliser).

VIII. Quelques consignes à suivre :

1. Dispositions préalables :

Avant de se lancer sur la mise en œuvre de la planche d'étalonnage, il faut veiller à ce que les dispositions suivantes soit respectées :

- ❑ Déflachage prévu qui permettra d'avoir une bonne régularité de d'épaisseur d'enrobé ;
- ❑ Balayage et la pose de la couche d'accrochage en renforcement d'une chaussée revêtue ou sur grave bitume ;
- ❑ Imprégnation au moins 24h à l'avance dans le cas de la chaussée avec couche de base non liée (type GNA).

2. Vérification de l'atelier de compactage :

Il s'agit de vérifier que l'atelier de compactage présent sur le chantier a effectivement les caractéristiques prévues initialement lors de la phase de préparation :

Le type et la marque des engins;

- ❑ La présence ou non du lest (poids ou charge) éventuel;
- ❑ La pression de gonflage des pneus;
- ❑ L'existence et le fonctionnement des systèmes de variation de fréquence sur les rouleaux vibrants;
- ❑ La présence de jupes sur les rouleaux à pneus;
- ❑ La largeur de répandage;
- ❑ Vitesse d'avancement moyen;
- ❑ Fréquence de vibration de la table;

- Largeur de la table.

NB : Ces éléments doivent être soigneusement notés pour être transcrits dans le rapport final. Car toute différence même légère risque d'influer sur la qualité de l'enrobé.

Il faut évidemment à ce que :

- La vitesse d'avancement soit constante (uni);
- Le niveau des enrobés dans la chambre soit constant (uni et épaisseur);
- La fréquence des vibrations soit constante (épaisseur).

3. Prélèvement d'échantillon d'enrobés :

Ceci a pour but de caractériser mécaniquement l'enrobé mis en œuvre pour la réalisation de la planche d'étalonnage, c'est-à-dire effectuer des essais de Marshall et de Duriez au laboratoire.

4. Mesure des températures :

Lors de la réalisation de la planche d'étalonnage, des mesures de températures doivent être effectuées régulièrement :

- dans le camion d'approvisionnement;
- dans la trémie ou juste derrière la table du finisseur;
- durant le compactage à intervalles réguliers jusqu'à la fin compactage de la dernière planche unitaire (la difficulté pratique de la mesure s'accroît avec la compacité et on utilisera les bords de planche éventuellement).

Les mesures de température doivent figurer dans le rapport final en précisant leur emplacement, le temps découlé entre deux mesures et la phase de réalisation de la planche au moment de la mesure (début de compactage, fin de compactage, etc.).

5. Contrôle de l'opération de compactage :

Pendant l'exécution du compactage, on doit :

- vérifier la vitesse de fonctionnement des compacteurs
- vérifier le respect du plan de balayage prévu et compter les passages en chaque point pour déterminer le nombre de passes exactement effectué sur la planche unitaire utile.

6. Opération de carottage :

L'opération de carottage se fait 24 heures après réalisation de la planche d'étalonnage, elle permet d'une part la mesure des épaisseurs de l'enrobé et d'autre part la mesure des densités. La littérature réglementaire de la DRCR prévoit un minimum de 20 carottes par planche unitaire.

Mesure des épaisseurs :

Le mesure se fait par deux procédés :

- Dans le cas où la surface inférieure de la carotte est bien nette et plane, la mesure de l'épaisseur doit se faire au pied à coulisse en 3 directions à 120°.
- Dans le cas où cette surface n'est pas bien délimitée (enrobé sur grave imprégnée – enrobé sur matériau de déflachage peu compact ou sur grave bitume, la mesure de la hauteur est effectuée à la règle sur les parois de la carotte (au moins 3 mesures). Cette donnée ne peut être considérée que comme approximative et n'a pas la même valeur que dans le cas précédent.

Mesure des densités :

Ces densités doivent permettre de juger de :

- l'évolution de la densité moyenne pour un nombre de passes croissant (planche d'essai) ;
- la compacité atteinte pour 95% des valeurs obtenues par rapport à la densité du L.C.P.C déterminée lors de la formulation.

Etape N° 4 :

Réalisation des essais de recette sur les différentes classes granulaires au niveau de station d'enrobage et s'assurer que les matériaux réceptionnés sont bien utilisés pour la fabrication des enrobés.

Il ne faut pas oublier de déterminer la masse volumique réelle de chaque classe granulaire lors des essais de recette.

Etape N°5 :

La première chose à avoir dans l'esprit et de s'assurer au cours de la mise que les modalités de mise en œuvre et de compactage sont bien respectées (atelier de compactage, nombre de passes, etc.).

Etape N°6 : Mesure des températures

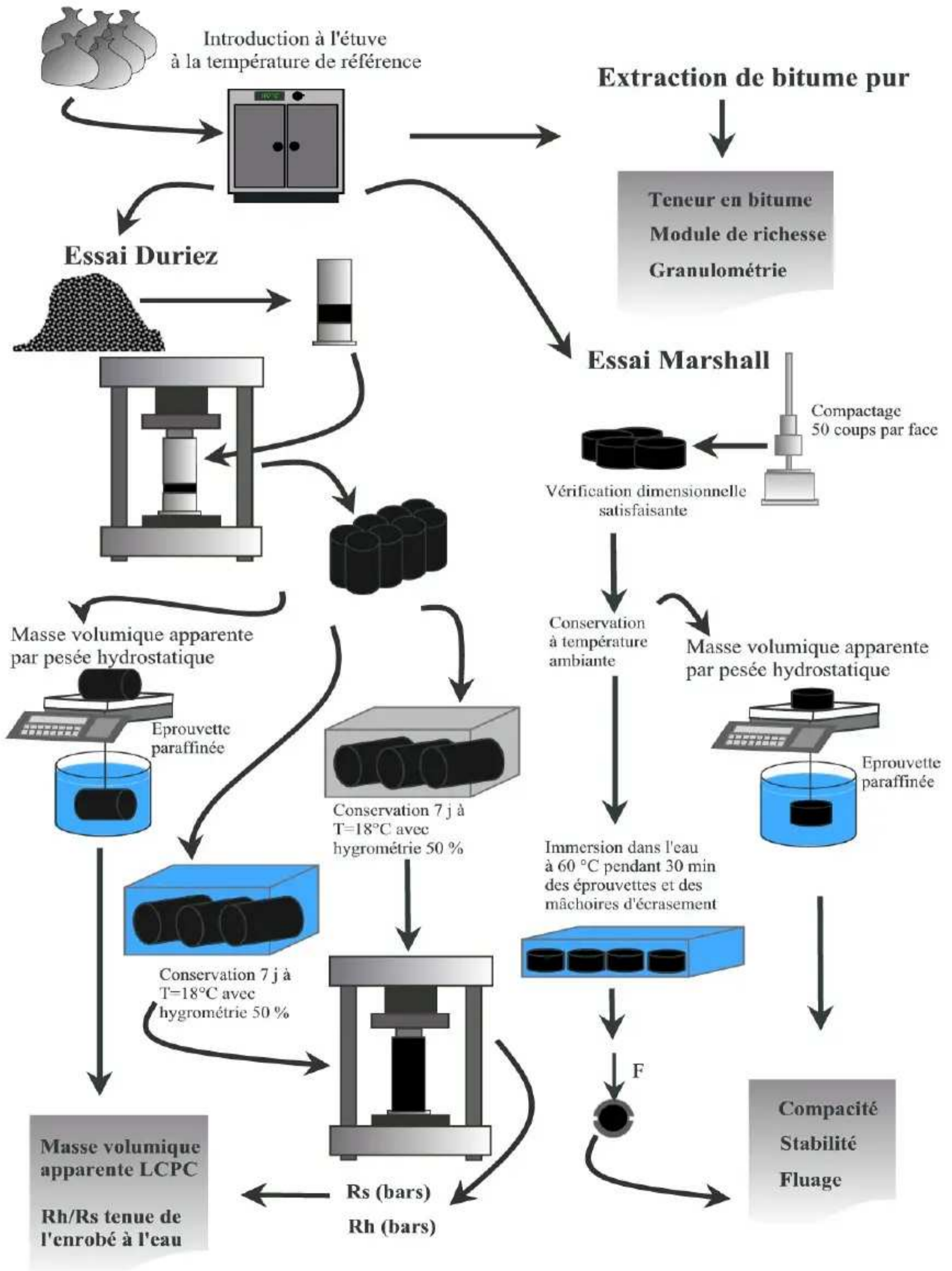
Voir ce qui précède.

Etape N°7 : Prélèvement d'enrobés

Effectuer un prélèvement d'échantillon d'enrobé (de préférence sur le troisième approvisionnement et plus) en respectant la cadence décrite en annexe. L'échantillon prélevé doit faire l'objet des essais d'extraction, Marshall et Duriez.

Mode opératoire bref :

Le processus permettant de caractériser mécaniquement les mélanges hydrocarbonés est décrit dans le schéma explicatif présenté dans la figure ci-dessous :



Etape N°7 : contrôle des compacités :

Le contrôle des compacités se fait par prélèvement de carottes in situ dont on mesure la densité apparent par pesée hydrostatique que l'on rapporte à la densité de référence LCPC pour obtenir la compacité. L'exploitation des résultats obtenus et leur interprétation sont explicités en annexe.

Annexes

Modèle d'un rapport d'agrément

Classification du trafic

Cadence des essais de laboratoire

Contrôle de compactage des GNT (Traitement statistique)

Contrôle de compacité des enrobés (Traitement statistique)

Références bibliographiques

Classification du trafic

Classification du trafic selon l'ancien catalogue (version 1977)

Trafic (v / j / 2sens)	Classe du trafic
$T > 4500$	T0
$3500 < T \leq 4500$	T1 ⁺
$2000 < T \leq 3500$	T1 ⁻
$750 < T \leq 2000$	T2
$400 < T \leq 750$	T3 ⁺
$200 < T \leq 400$	T3 ⁻
$50 < T \leq 200$	T4
^(*) $T \leq 50$	T5

^(*) s'il y a plus de 5 véhicules de charge à l'essieu supérieure à 8 t : T4.

Le trafic considéré est celui de l'année de mise en service de la route, équilibré dans les deux sens de circulation, constitué de 35 % de PL de PTC > 1.5 t et caractérisé par un taux de progression de 6 %.

Classification du trafic selon l'ancien catalogue (version 1995)

Trafic (PL > 8 t / j / 2sens)	Classe du trafic
$T \leq 450$	TPL6
$250 < T \leq 325$	TPL5
$125 < T \leq 250$	TPL4
$50 < T \leq 125$	TPL3
$5 < T \leq 50$	TPL2
$T \leq 5$	TPL1

Le trafic considéré est celui de l'année de mise en service de la route, équilibré dans les deux sens de circulation, constitué de PL de PTC > 8 t et caractérisé par un taux de progression de 4 %.

Contrôle de compactage des GNT

Traitement statistique

L'appréciation de la qualité de compactage des assises non traitée est assurée au moyen de tests statistiques dits tests de WILCOXON et de DIXON. Le recours à une telle méthode permet au contrôleur de juger de la qualité de compactage d'une section donnée en se basant sur une planche de référence réalisée au préalable. Ceci incite l'entrepreneur à respecter les conditions de mise convenues pour la réalisation de la planche de référence.

A. Test de Wilcoxon :

Ils s'agit de comparer les densités mesurées en place en cours du chantier (population à tester) aux densités mesurées lors d'une planche de référence réalisée au préalable. Le but de ce test est d'apprécier si les chiffres de la population à tester sont significativement plus bas (au seuil de 95 %) que les chiffres de la population de référence.

Supposons qu'il y a m résultats définissant la population de référence et n résultats définissant la population à tester. Le test consiste à :

- Classer par valeurs décroissantes les m et n valeurs sans distinction d'origine ;
- Affecter à chaque élément une valeur égale à son rang dans le classement précédent ;
- Calculer la somme des rangs des n valeurs de la population à tester ;
- Comparer cette somme à une valeur limite, donnée dans le tableau ci-dessous.
- Le résultat du test est jugé satisfaisant si la somme calculée est significativement inférieure à la valeur limite.

Notons qu'en cas de plusieurs densités égales, on pourra affecter à chacun un rang fictif égale à la moyenne des rangs qui auraient été obtenus si les résultats avaient été légèrement différents. Cela peut conduire à des chiffres fractionnaires, ce qui n'est pas gênant. En outre, le seuil de signification du résultat est modifié (plus élevé) ; si le test conclut à une différence, le taux de signification est dans ce cas supérieur à 95 %. Dans tous les cas, la conclusion est donc valable.

Tableau des seuils critiques de la somme des rangs de la population à comparer

n \ m	15	20	25	30	35	40	45	50
5	34	41	48	55	62	68	76	83
6	45	54	63	72	81	90	99	108
7	56	67	78	89	101	113	124	135
8	70	84	97	110	123	136	150	163
9	85	100	115	130	145	161	175	191
10	100	117	135	152	170	187	204	222
11	116	135	155	175	193	214	233	253
12	134	156	177	199	229	242	264	286
13	151	175	199	223	247	271	295	319
14	171	197	224	250	276	302	328	354
15	183	220	248	276	304	333	369	389
16	214	244	274	304	335	365	394	426
17	237	269	301	333	366	398	431	463
18	260	295	329	363	398	433	468	502
19	285	321	352	394	431	468	505	542
20	310	349	388	426	466	505	544	583
25	454	503	522	602	653	703	753	803
30	622	682	742	803	865	926	894	1049
35	814	887	957	1030	1100	1174	1247	1320
40	1033	1115	1198	1282	1365	1449	1533	1617
45	1275	1369	1463	1557	1652	1748	1843	1938
50	1544	1648	1753	1859	1965	2072	2179	2284

Exemple d'application :**Population de référence m = 30 :**

2.06	2.09	2.10	2.12	2.12	2.15
2.07	2.09	2.10	2.12	2.13	2.17
2.07	2.09	2.11	2.12	2.14	2.19
2.08	2.10	2.11	2.12	2.15	2.20
2.08	2.10	2.12	2.12	2.15	2.20

Population à tester n = 15 :

2.03	2.08	2.07
2.08	2.08	2.05
2.12	2.06	2.08
2.11	2.16	2.14
2.13	2.16	2.14

Comptage des valeurs	Classement des m+n valeurs		Rang des m+n valeurs	Rang des n valeurs
	m	n		
1	2.20		15	
2	2.20		15	
3	2.19		3	

4	2.17		4	
5		2.16	5.5	5.5
6		2.16	5.5	5.5
7	2.15		8	
8	2.15		8	
9	2.15		8	
10	2.14		10.5	
11		2.14	10.5	10.5
12	2.13		12.5	
13		2.13	12.5	12.5
14	2.12		17.5	
15	2.12		17.5	
16	2.12		17.5	
17	2.12		17.5	
18	2.12		17.5	
19	2.12		17.5	
20	2.12		17.5	
21		2.12	17.5	17.5
22	2.11		23	
23	2.11		23	
24		2.11	23	23
25	2.10		26.5	
26	2.10		26.5	
27	2.10		26.5	
28	2.10		26.5	
29	2.09		30	
30	2.09		30	
31	2.09		30	
32	2.08		35	
33	2.08		35	
34		2.08	35	35
35		2.08	35	35
36		2.08	35	35
37		2.08	35	35
38		2.08	35	35
39	2.07		40	
40	2.07		40	
41		2.07	40	40
42	2.06		42.5	
43		2.06	42.5	42.5
44		2.05	44	44
45		2.03	45	45
			Total	421

La somme calculée est supérieure à la valeur limite. Nous concluons donc que la population testée donne un résultat significativement faible que celui de la population de référence.

B. Test de Dixon :

Ce test permet de déterminer les résultats aberrants d'une population de mesures – supposons que la population soit constituée de n valeurs. Les n résultats sont classés par ordre croissant : x_1 x_2 x_3 ... x_{n-1} x_n . en fonction de l'élément douteux, il est calculé l'un des rapports suivants :

n	Rapport	Eléments douteux	
		x_1	x_2
≤ 10	r_{10}	$\frac{x_2 - x_1}{x_n - x_1}$	$\frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1}$
> 10	r_{22}	$\frac{x_3 - x_1}{x_{n-2} - x_1}$	$\frac{x_n - x_{n-2}}{x_n - x_3}$

Les valeurs trouvées sont comparées à celles données dans le tableau ci-après (au seuil de probabilité choisi ; 1% ou 4%). Si le rapport est supérieur à la valeur correspondante du tableau, le résultat examiné a 99 chances sur 100 (ou 96 chances sur 100) d'être aberrant.

n		1 %	4 %
3		0.994	0.976
4		0.926	0.846
5		0.821	0.729
6	r_{10}	0.740	0.644
7		0.680	0.586
8		0.634	0.543
9		0.598	0.510
10		0.568	0.483
11		0.781	0.703
12		0.740	0.661
13		0.705	0.628
14		0.674	0.602
15		0.647	0.579
16		0.624	0.559
17		0.605	0.542
18		0.589	0.527
19		0.575	0.514
20		0.562	0.502
21	r_{22}	0.551	0.491
22		0.541	0.481
23		0.532	0.472
24		0.524	0.464
25		0.516	0.457
26		0.508	0.450
27		0.501	0.443
28		0.495	0.437
29		0.489	0.431
30		0.483	0.425

Une valeur extrême est douteuse

Le test de Dixon est appliqué à cette valeur

Deux valeurs extrêmes sont douteuses

Si les autres valeurs douteuses sont par exemple x_1 et x_2 , on applique tout d'abord le test à x_2 . si cette valeur est à éliminer, il en est de même, a fortiori, pour x_1 . si x_2 est acceptable, recommencer le test pour x_1 .

Deux valeurs sont douteuses aux deux extrémités

Ceci se produit en général lorsque les valeurs de n sont élevés. Le test est appliqué sur l'une des extrémités, et ensuite, sur l'autre (après élimination des premiers résultats aberrants, s'il y a lieu). Il faut commencer par l'extrémité qui présente le plus de résultats supposés aberrants.

Remarque

La recherche des résultats aberrants peut être un travail long et fastidieux. Cependant une fois ceux-ci détectés, une enquête sur leur origine peut rendre les plus grands services, soit pour rectifier les modalités d'essai, soit en révélant les points faibles d'un cycle de fabrication.

Contrôle de compacités des enrobés bitumineux

La compacité dont il est question est la compacité relative de l'enrobé en place. Elle obtenue en rapportant les MVA des carottes prélevées in-situ à la MVA dite de

références mesurée sur des éprouvettes L.C.P.C. Notons que la directive des enrobés à chaud établie par la D.R.C.R prévoit un nombre minimums de 20 carottes pour pouvoir juger de la compacité atteinte. Deux types de traitements sont envisageables :

A. Traitement statistique :

On procède ainsi :

- Calculer la moyenne m et l'écart type σ des compacités obtenues ;
- On détermine la valeur inférieure probable à 95 % par la formule

$$C_{95\%} = m + 1.64\sigma$$

- déterminer la valeur minimale absolue des compacités obtenue C_{\min} .

B. Traitement ponctuel :

On classe les 20 compacités obtenues par ordre décroissant et on dégage les valeurs :

- $C_{n^{\circ}19}$, correspondant à 95 % des valeurs
- $C_{n^{\circ}20}$, correspondant à la valeur minimale.

C. Cas d'une planche de vérification :

Le compactage est déclaré satisfaisant si :

Traitement statistique	$C_{95\%} \geq 100 \%$ et $C_{\min} \geq 95 \%$
Traitement ponctuel	$C_{n^{\circ}19} \geq 100 \%$ et $C_{n^{\circ}20} \geq 95 \%$

D. Cas d'une planche d'essai :

Si les planches unitaires sont conçues de manière à être jugées d'après les mêmes critères alors les modalités permettant d'obtenir les résultats suivants sont satisfaisants :

$$C_{95\%} \geq 100 \% \text{ et } C_{\min} \geq 95 \%$$

$$C_{n^{\circ}19} \geq 100 \% \text{ et } C_{n^{\circ}20} \geq 95 \%$$

Si les planches unitaires sont conçues de manière à juger un seul paramètre : par exemple :

Juger du nombre de passes (n) du compacteur principal
croissant d'une planche à l'autre