

Historique, changements et évolution de la méthode de formulation du laboratoire des chaussée

Alan Carter

Ref

- *PPT de Pierre Langlois*
- *PPT de Michel Paradis*

Formulation des enrobés au Québec

- *Avant 1990: Marshall modifié;*
- *1990: Début de l'usage de l'orniéreur.*

Pourquoi une nouvelle méthode?

Méthode marshall

$\neq$

Performance

Formulation des enrobés au Québec

Granulats roulés



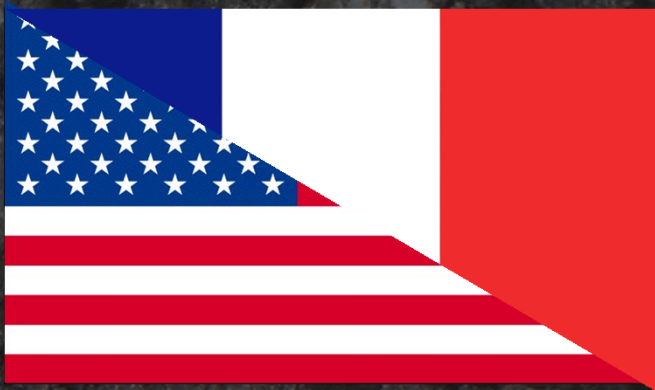
Formulation des enrobés au Québec

- 1992: Étude d'enrobés formulés à la « française » avec la PCG II;
- 1993: Mise en œuvre du premier enrobé formulé avec la PCG II;



Formulation des enrobés au Québec

- *1994: Études sur la méthode superpave*
- *1995: Mise au point de la méthode LC, reprenant des éléments des méthodes française et Superpave.*



Formulation LC Bitume

- *Bitume:SHRP (PG) + essais complémentaires;*
 - *Stabilité au stockage;*
 - *Recouvrance d'élasticité;*
 - *Solubilité dans le trichloréthylène.*

Formulation LC Bitume

- *Choix du bitume;*
 - *zone géographique;*
 - *type de route;*
 - *niveau de circulation;*
 - *genre de travaux (resurfacage, reconstruction et procédés spéciaux).*

Formulation LC Granulats

- *Caractérisation des granulats*
 - *caractéristiques intrinsèques*
 - *caractéristiques de fabrication*
 - *caractéristiques complémentaires*

CONSTRUCTION NEUVE - RECONSTRUCTION

ESG-10 • EG-10¹ • EGM-10 • SMA-10 • ESG-14² • GB-20

Choix des composants • Recommandations

Type de route	Débit de circulation**		Couche de surface						Couche de base					
			Bitume			Catégories gros granulats	Catégorie granulats fins	Essais spéciaux	Bitume			Catégories gros granulats	Catégorie granulats fins	Essais spéciaux
	DJMA	ECAS annuel	Zone 1 PG	Zone 2 PG	Zone 3 PG				Zone 1 PG	Zone 2 PG	Zone 3 PG			
Autoroute	> 20 000	> 1 000 000	70-28	64-34	S.O.	1a	1	Orniéreur, CPP	64-28	64-34	S.O.	2c	1	Orniéreur
	< 20 000 > 5 000	< 1 000 000 > 500 000	70-28	64-34	S.O.	1a	1	Orniéreur, CPP	64-28	58-34	S.O.	3c	1	Orniéreur
	< 5 000	< 500 000	70-28	64-34	S.O.	2b	1	Orniéreur, CPP	64-28	58-34	S.O.	3c	2	Orniéreur
Nationale	> 20 000	> 500 000	70-28	64-34	58-40	1a	1	Orniéreur, CPP	64-28	58-34	52-40	3c	1	Orniéreur
	< 20 000 > 5 000	< 500 000 > 300 000	70-28* 64-28	64-34* 58-34	58-40	2b	2	Orniéreur, CPP	64-28	58-34	52-40	3c	2	Orniéreur
	< 5 000	< 300 000	64-28	58-34	58-40	3c	2		64-28	58-34	52-40	3c	2	
Régionale et collectrice	> 20 000	> 300 000	70-28	64-34	58-40	2b	1	Orniéreur, CPP	64-28	58-34	52-40	3c	2	Orniéreur
	< 20 000 > 5 000	< 300 000 > 150 000	70-28* 64-28	64-34* 58-34	58-40* 52-40	3b	2	Orniéreur	64-28* 58-28	58-34	52-40	3c	2	Orniéreur
	< 5 000	< 150 000	58-28	58-34	52-40	3c	2		58-28	58-34	52-40	3c	2	

CONSTRUCTION NEUVE - RECONSTRUCTION

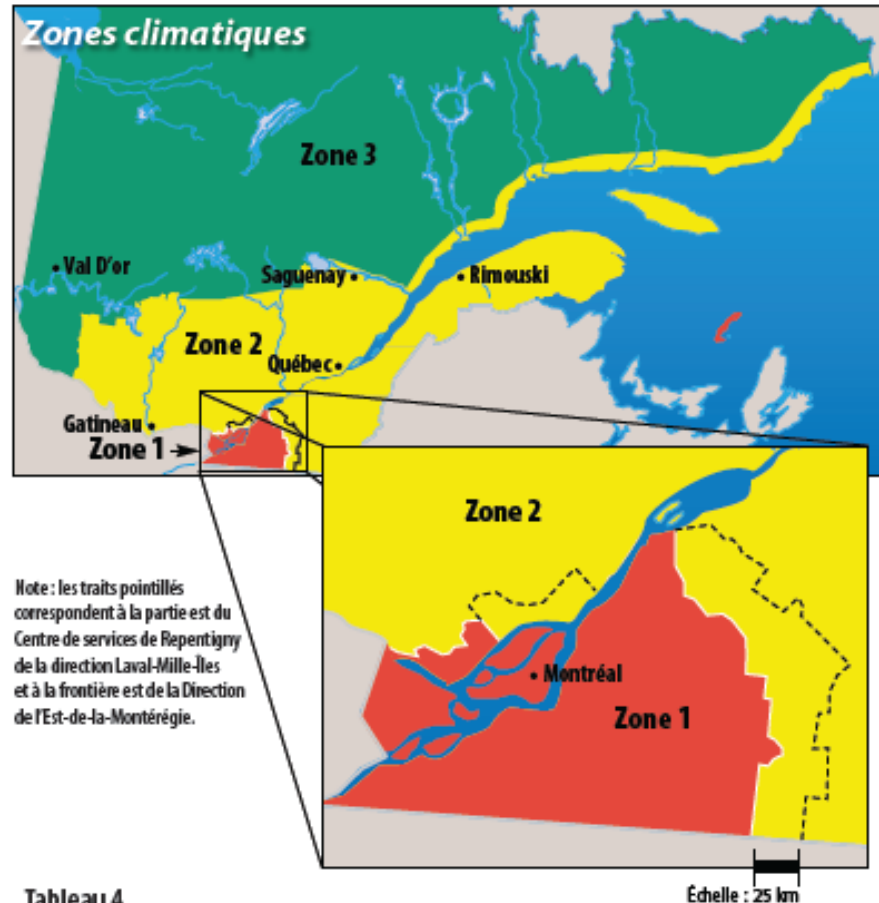


Tableau 4
Caractéristiques complémentaires des granulats pour enrobés à chaud selon les usages

Caractéristiques complémentaires		Méthodes d'essai	Couche de base	Couche de surface
Gros granulats	Propreté (particules < 80 µm) (% max.) ¹ (gravière et sablière)	CSA-A23.2-5A	≤1,0	≤1,0
	Propreté (particules < 80 µm) (% max.) ¹ (carrière)	CSA-A23.2-5A	≤1,5	≤1,5
	Coefficient de polissage par projection (minimum) ²	LC 21-102	N/A	≥0,45 ou ≥0,50 ⁵
Granulats fins	Teneur en mottes d'argile (% max.)	CSA-A23.2-3A	≤2,0	≤2,0
	Coefficient d'écoulement ³	LC 21-075	≥80	≥80
	Teneur en particules inférieures à 5 µm (% max.) ⁴	BNQ 2501-025	≤4	≤4

Tableau 1
Catégories de gros granulats selon leurs caractéristiques intrinsèques de résistance à l'usure et aux chocs

Caractéristiques intrinsèques	Méthodes d'essai	Catégories de gros granulats					
		1	2	3	4	5	6
Micro-Deval (MD)	LC 21-070	≤15	≤20	≤25	≤30	≤35	≤40
Los Angeles (LA)	LC 21-400	≤35	≤45	≤50	≤50	≤50	≤50
(MD+LA)		≤40	≤55	≤70	≤75	≤80	≤85

Tableau 2
Catégories de gros granulats selon leurs caractéristiques de fabrication

Caractéristiques de fabrication	Méthodes d'essai	Catégories de gros granulats				
		a	b	c	d	e
Fragmentation (%)	LC 21-100	100	≥75	≥60	≥60	≥50
Particules plates (%)	LC 21-265	≤25	≤25	≤25	≤30	—
Particules allongées (%)	LC 21-265	≤40	≤40	≤45	≤50	—

Tableau 3
Catégories de granulats fins selon leurs caractéristiques intrinsèques de résistance à l'usure et de friabilité et selon leurs caractéristiques de fabrication

Caractéristiques intrinsèques	Méthodes d'essai	Catégories de granulats fins		
		1	2	3
Micro-Deval (MD)	LC 21-101	≤30	≤35	≤35
Friabilité (%)	LC 21-080	≤40	≤40	—

Formulation

- *Choix de la méthode de formulation*
 - *Méthode française*
 - *Méthode superpave*

Méthodes de formulations

- *Méthode française*
 - *pcg II*
 - *orniéreur de laboratoire*



Méthodes de formulations

- *Méthode française*
 - *pcg;*
 - *masse de l'enrobé pour essai est fonction de la mvr de l'enrobé et de $h(\text{min})$;*
 - *les vides dans l'enrobé sont calculés directement à partir de la hauteur de l'éprouvette durant l'essai à la pcg.*

Méthodes de formulations

- *Méthode française*

- *pcg;*

- *maniabilité fonction de l'épaisseur de mise en œuvre;*
 - *teneur en bitume fixée (module de richesse et granulométrie);*
 - *classes granulaires prédéfinies ne se recoupant pas;*
 - *granulométrie optimisée pour rencontrer les critères à la pcg.*

Méthodes de formulations

- *Méthode superpave*
 - *pcg;*
 - *shear test (cisaillement).*

Méthodes de formulations

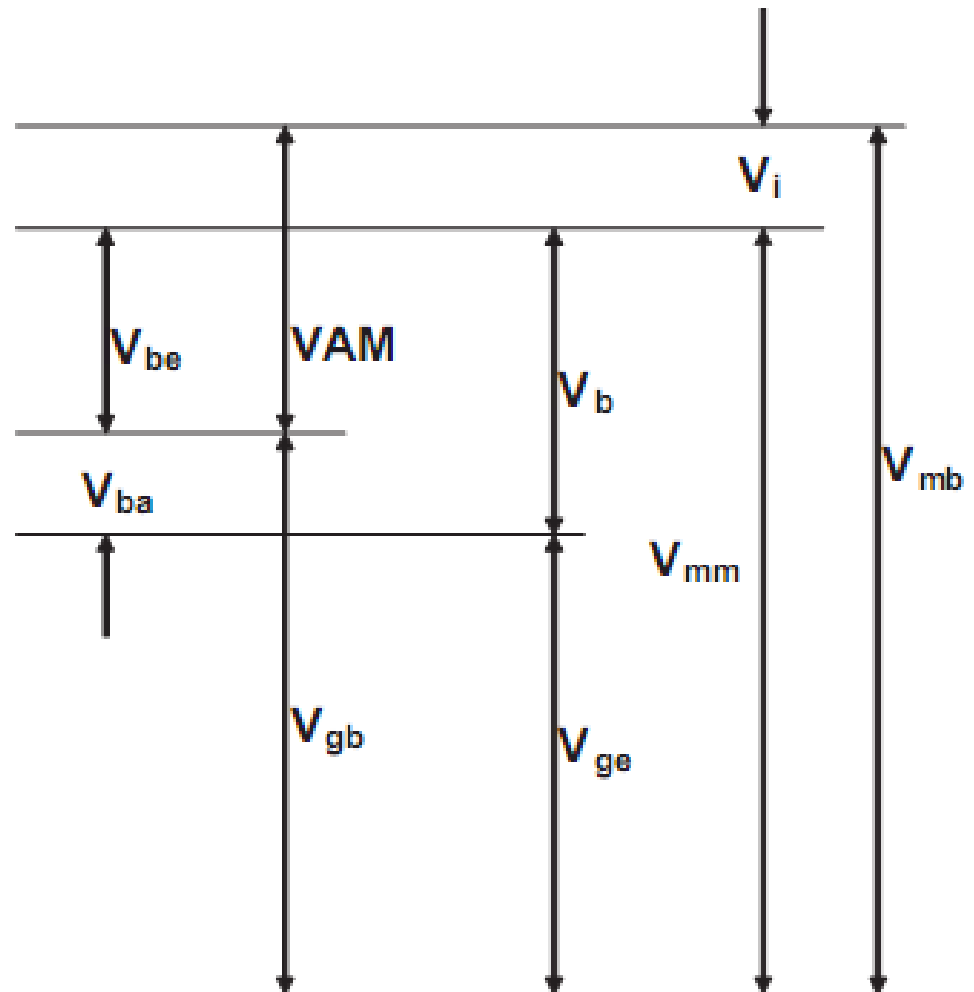
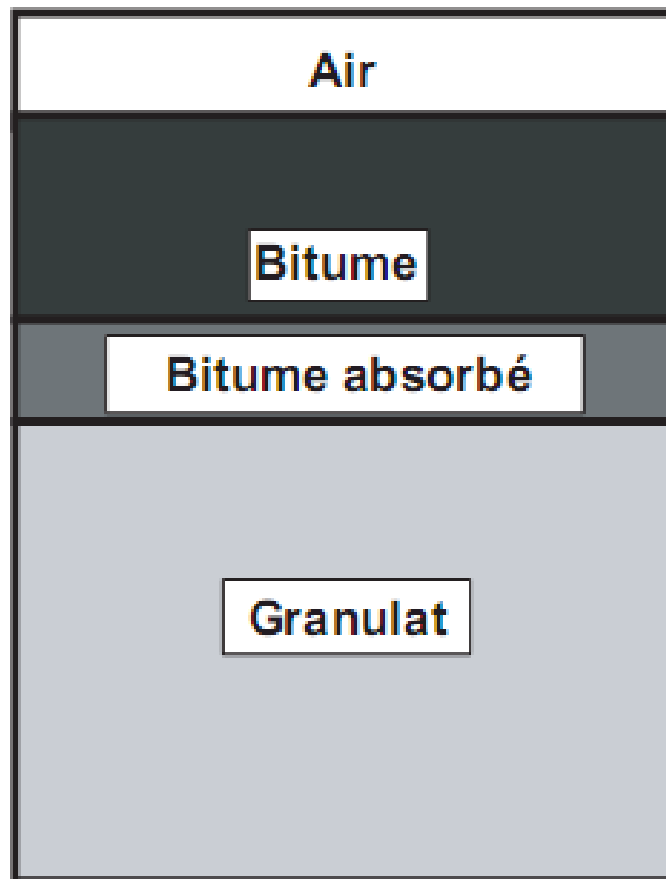
- *Méthode superpave*
 - *pcg;*
 - *masse de l'enrobé pour essai à la pcg est fonction de sa maniabilité à la pcg (l'éprouvette doit avoir approximativement 115 mm de hauteur à la fin de l'essai);*
 - *les vides dans l'enrobé sont calculés en rapport avec la masse volumique brute de l'éprouvette à la fin de l'essai. Cette masse volumique brute se mesure par pesée hydrostatique ou déplacement d'un volume d'eau.*

Méthodes de formulations

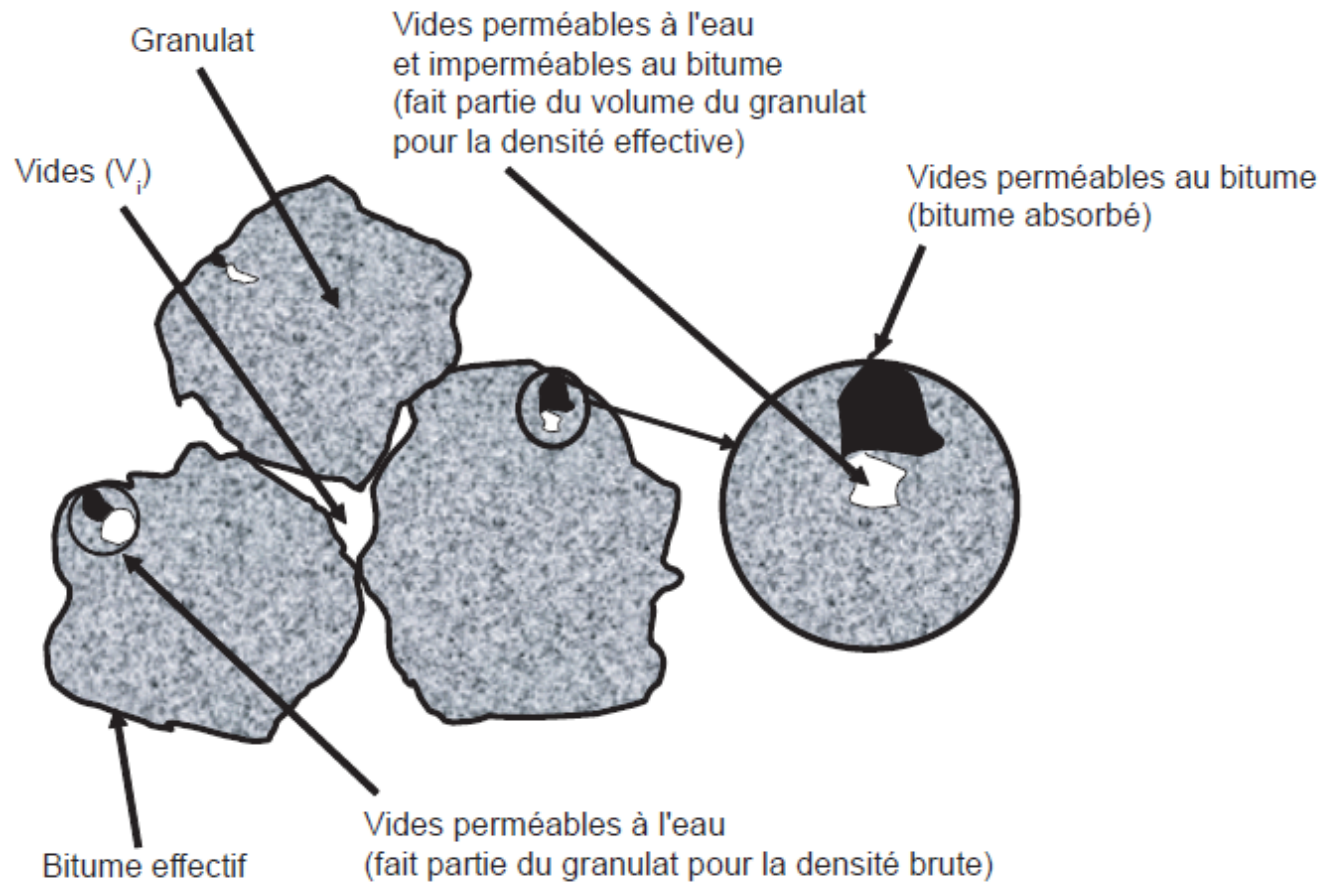
- *Méthode superpave*
 - *pcg;*
 - *maniabilité exigée est fonction du niveau de sollicitation par le trafic;*
 - *pas d 'obligation de classes granulaires ne se recoupant pas;*
 - *trois granulométries d 'enrobés sont analysées;*
 - *teneur en bitume optimisée pour chaque granulométries;*
 - *choix de la granulométrie la plus performante.*

Méthodes de formulations

- *Méthode superpave*
 - *pcg;*
 - *en plus de rencontrer les critères de vides requis (4,0% à N_d) à la pcg, l'enrobé choisi doit rencontrer certains critères de volumes (VMA, VFA).*



Terminologie volumétrique



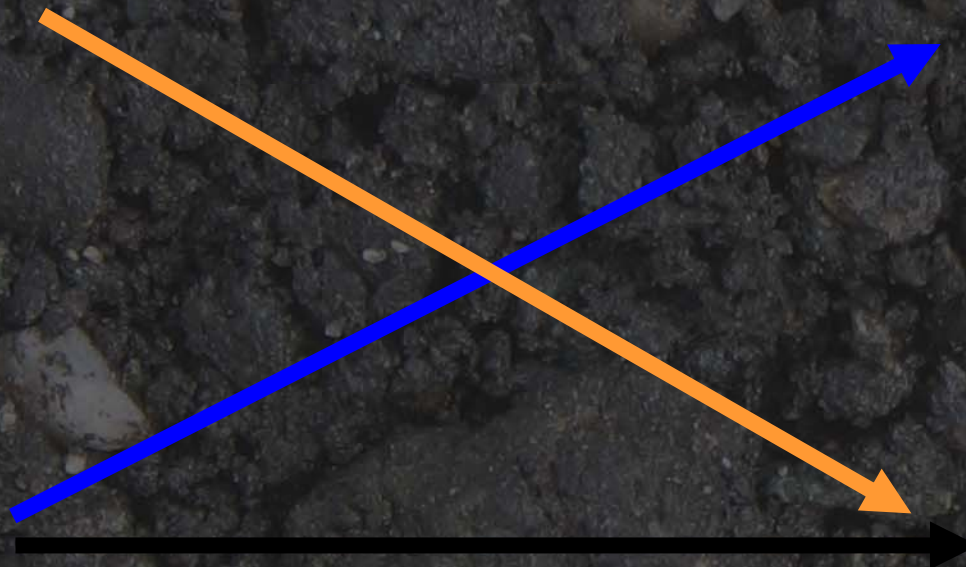
Étude de formulation

- *Produire des enrobés performants tout en respectant les critères volumétriques et granulométriques des enrobés superpave.*

Teneur en bitume

Résistance à
l'orniérage

Résistance à la
fissuration

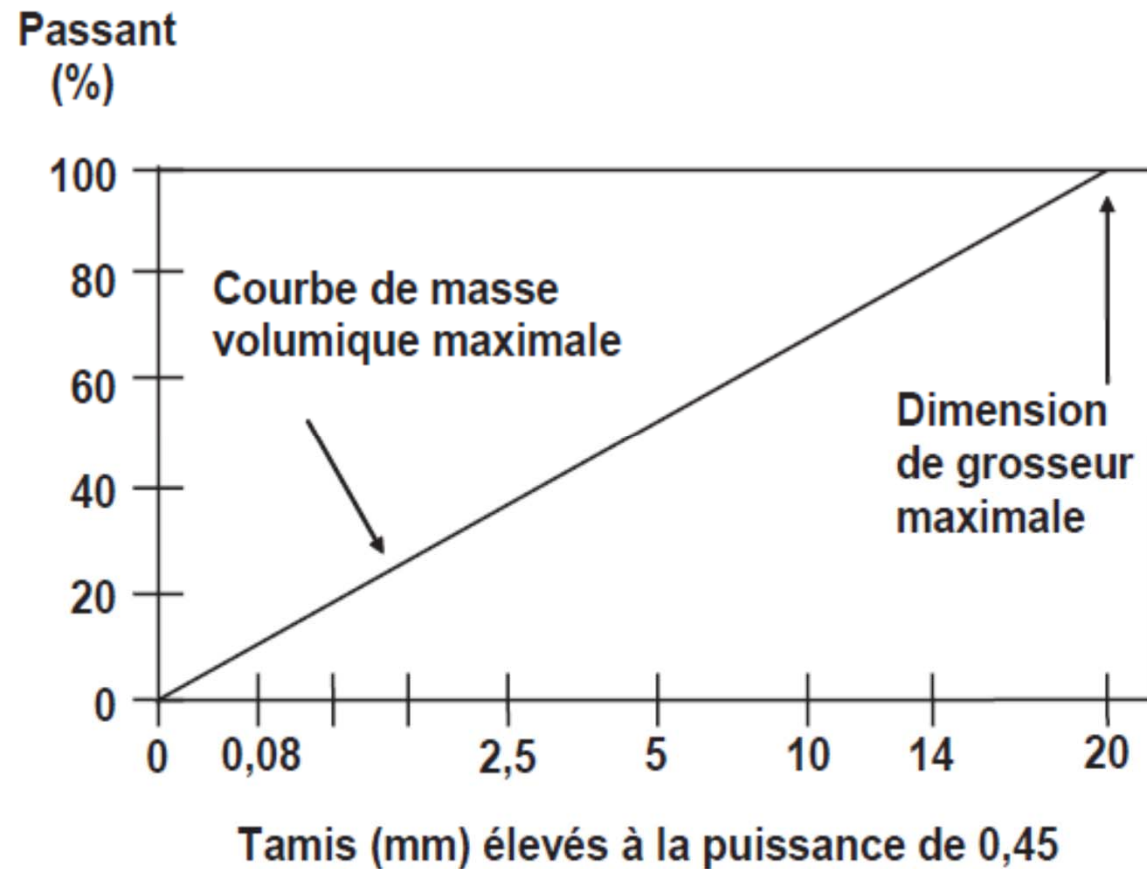


Teneur en bitume

Étude de formulation

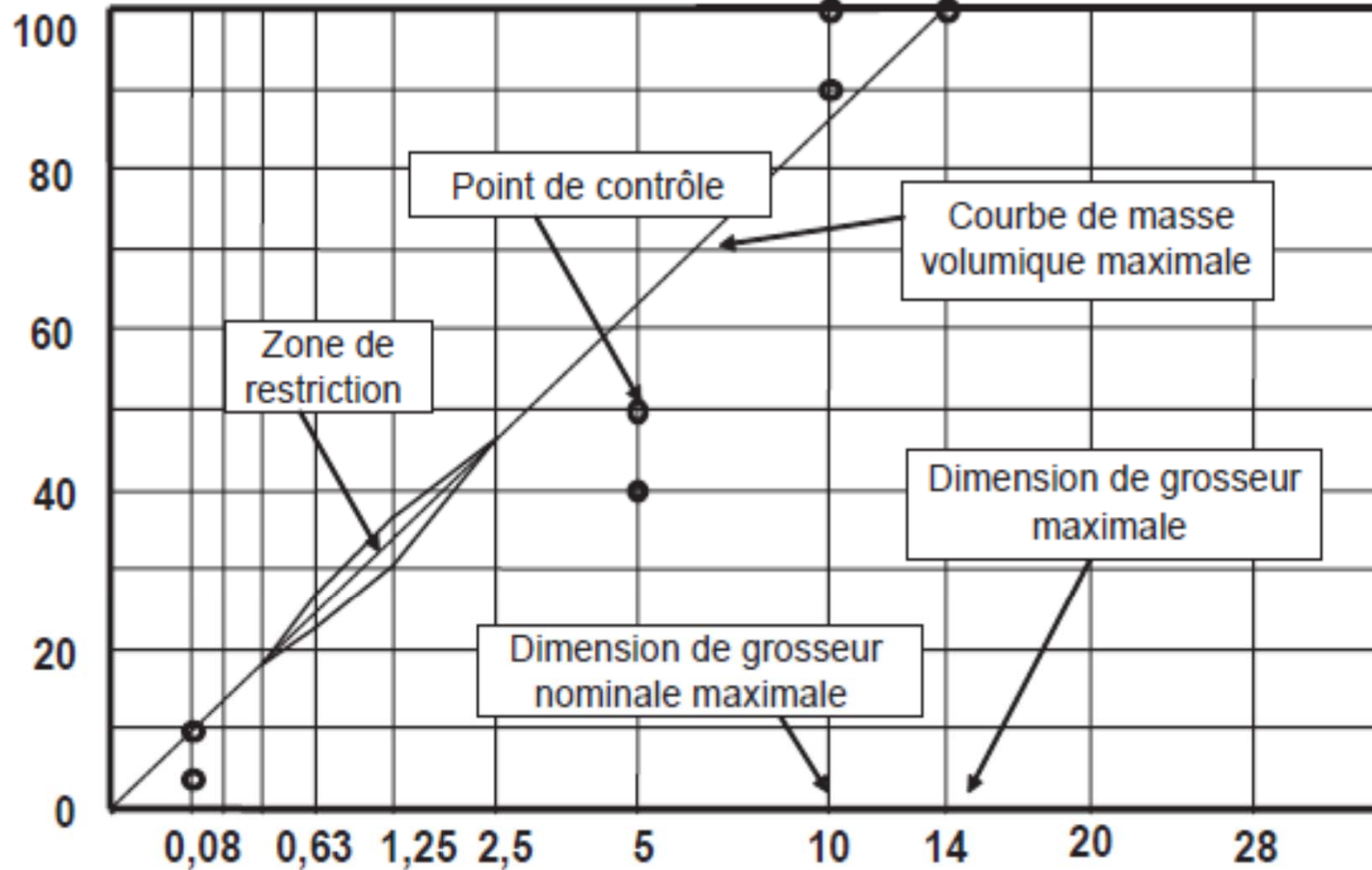
- *Teneur en bitume*
 - *teneur en bitume la plus élevée possible tout en obtenant un enrobé résistant à l'orniérage et au ressuage.*

Courbe masse volumique max

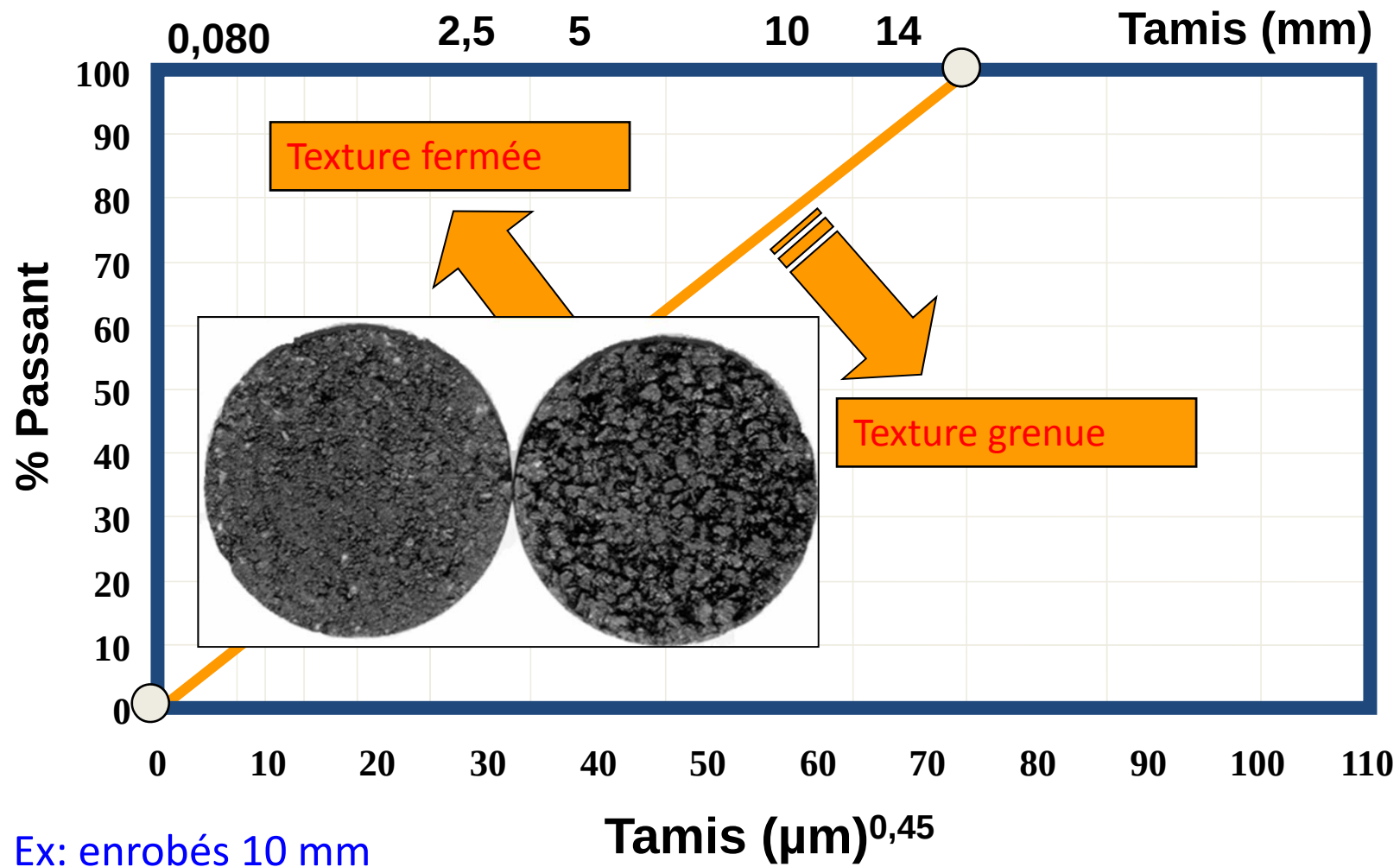


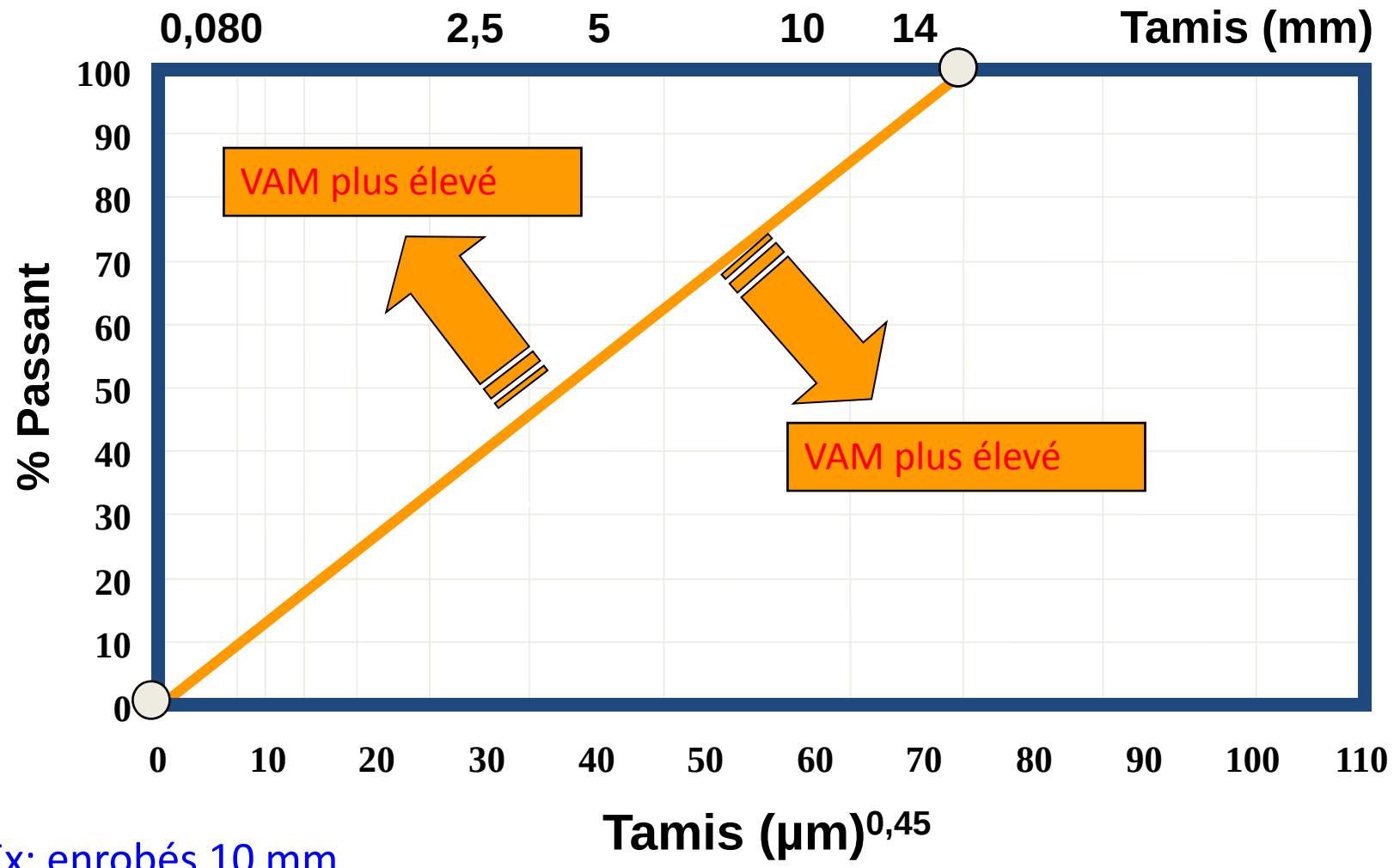
EG-10

Passant
(%)



Tamais (mm) élevés à la puissance de 0,45





Ex: enrobés 10 mm

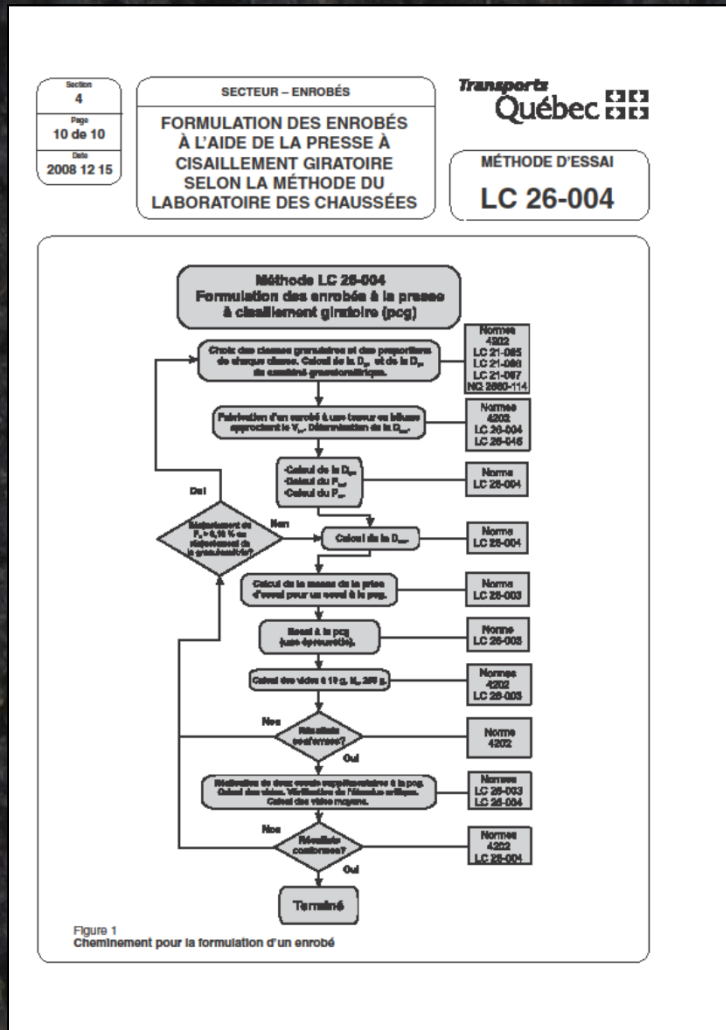
Tamis	Classes granulaires (mm)					
	0/2,5	2,5/5	0-5	5-10	10-14	14-20
28 mm						100
20 mm					100	80-100
14 mm				100	80-100	0-20
10 mm		100	100	85-100	0-20	< 3
5 mm	100	85-100	85-100	0-15	< 3	
2,5 mm	85-100	0-15		< 3		
1,25 mm		< 5				
D	2,5	5	5	10	14	20
d	0	2,5	0	5	10	14

Attention : on ne doit pas avoir plus de 15% de recoupement entre les classes granulaires.

Note 1 du tableau 4202-1

Au moins 85% des granulats de l'enrobé à chaud doivent être constitués de classes granulaires qui ne se chevauchent pas. Cependant, une classe granulaire 0/D ou $D \leq 5\text{mm}$ peut être constituée de 2 ou de plusieurs classes 0/D ou d/D dont la valeur D peut être différente. La classe considérée doit avoir la désignation 0/D, où D est la plus grande valeur de D des classes qui la compose. L'utilisation de 2 ou de plusieurs classes granulaires de même désignation d/D est considérée comme étant une seule classe, à condition que chacune des réserves satisfasse individuellement aux conditions des classes granulaires d/D indiquées dans la norme NQ 2560-114.

Étapes de formulation



LC 26-004

Formulation des enrobés
à l'aide de la presse à
cisaillement giratoire
selon la méthode du
laboratoire des chaussées

Formulation LC

- *Étape 1:*
 - *Choix des classes granulaires;*
 - *Détermination des proportions de chaque classes granulaires pour respecter les exigences granulométriques;*
 - *Calcul de la densité brute du combiné granulométrique.*

Formulation LC

- *Étape 2:*
 - *Détermination des caractéristiques des granulats dans l'enrobé;*
 - *Fabrication d'un enrobé ayant une teneur en bitume avoisinant le V_{be} requis;*
 - *Détermination de la densité maximale de l'enrobé (mvr) par essai de laboratoire.*

Formulation LC

- *Étape 3:*
 - *Calcul de la densité effective D_{ge} des granulats composant l'enrobé;*
 - *Calcul du pourcentage de bitume absorbé P_{ba} par les granulats.*

Formulation LC

- *Étape 4:*
 - *Calcul du pourcentage de bitume P_{bi} correspondant au V_{be} requis;*

$$P_{bi} = \frac{V_{be} G_b + P_{ba} G_{sb} (100 - V_{be}) / 100}{G_{sb} (100 - V_{be}) + V_{be} G_b + P_{ba} G_{sb} (100 - V_{be}) / 100} \times 100$$

Formulation LC

- Étape 5:

- Calcul de la densité maximale de l'enrobé D_{mm} pour une teneur en bitume correspondant au P_{bi} calculé;
- Calcul de la masse de la prise d'essai pour l'essai à la pcg.

$$m = \frac{D_{mm} \times \pi \times D^2 \times h(\text{mm})}{4 \times 1000 \text{ mm}^3/\text{cm}^3}$$

Formulation LC

- *Étape 6:*
 - *Effectuer sur une éprouvette un essai à la pcg;*
 - *Calcul des vides V_i aux nombres de girations 10g, N_d et 200g.*
 - *Vérification des vides V_i .*

Formulation LC

- *Étape 7:*
 - *Si les vides sont conformes, faire deux essais supplémentaires et calculer les vides moyens et le coefficient de variation;*
 - *Si tout respecte les exigences, le niveau 1 de la formulation est terminé.*

Formulation LC

- *Étape 7:*
 - *Si les vides sont non conformes:*
 - *Pour un réajustement minime des vides, réajuster le $P_{bi\ de} \pm 0,1\%$ et reprendre à l'étape 5.*
 - *Pour un réajustement majeur des vides, il peut être nécessaire de corriger les proportions des classes granulaires ou de changer un des constituants. Dans ce cas, reprendre à l'étape 1.*

Formulation LC

- La validité de l'essai à la pcg.
 - Les coefficients de variation sur les hauteurs pour trois éprouvettes sont calculés aux nombres de girations 20, 40, 60, 80, 100 et 200. Un $CV > 1,5\%$ entraîne le rejet de l'essai.

$$CV = 100 \times \frac{S}{h(\text{moy})}$$

Formulation LC

- *La méthode de formulation fait appel aux méthodes d'essais suivantes:*
 - *LC 26-003 « Détermination de l'aptitude au compactage des enrobés à chaud à la presse à cisaillement giratoire »;*
 - *LC 26-004 « Formulation des enrobés à l'aide de la presse à cisaillement giratoire selon la méthode du laboratoire des chaussées ».*

Formulation LC

- *Niveau 1*
 - *détermination des proportions des différentes composantes de l'enrobé;*
 - *usage de la pcg superpave;*
 - *maniabilité fonction du type d'enrobé.*

Teneur en bitume

- *Le volume de bitume effectif est fixé par type d'enrobé*
 - *Pour formuler en laboratoire, le volume de bitume effectif doit être ramené en terme de masse.*

Formulation LC

- Les spécifications des enrobés LC sont fonction de l'effort requis pour obtenir des vides interstitiels se situant aux valeurs normalement obtenues en chantier après compactage au nombre de giration N_{des} , soit entre 4 et 7% de vides.

Formulation LC

Vides requis à la pcg

	Nombre de girations		
	N _{ini}	N _{des}	N _{max}
ENROBÉ	$V_i \geq 11\%$	$V_i = 4 \text{ à } 7\%$	$V_i \geq 2\%$
Semi grenu	10	80	200
Grenu	10	80	200

Formulation LC

- Niveau 1:
 - P_{cg}
 - Tenue à l'eau

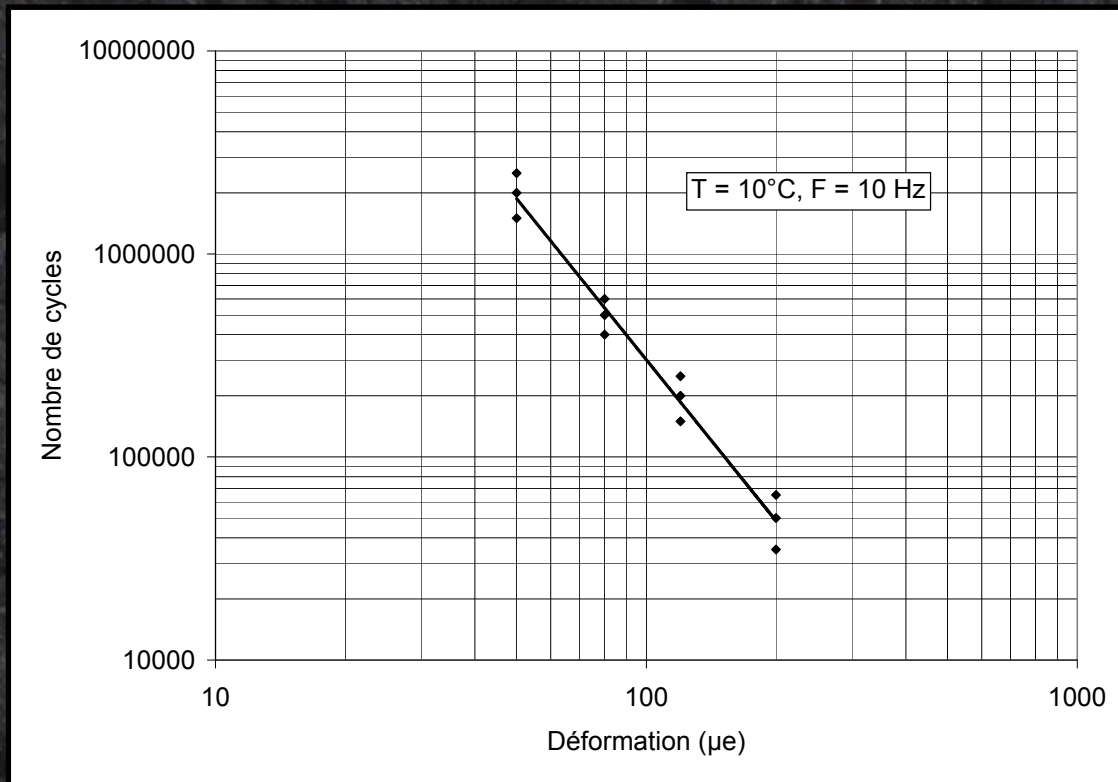
Formulation LC

- *Niveau 2:*
 - *Essai à l'orniéreur*

Formulation LC

- *Niveau 3:*
 - *Fatigue*
 - *Retrait thermique*

Fatigue

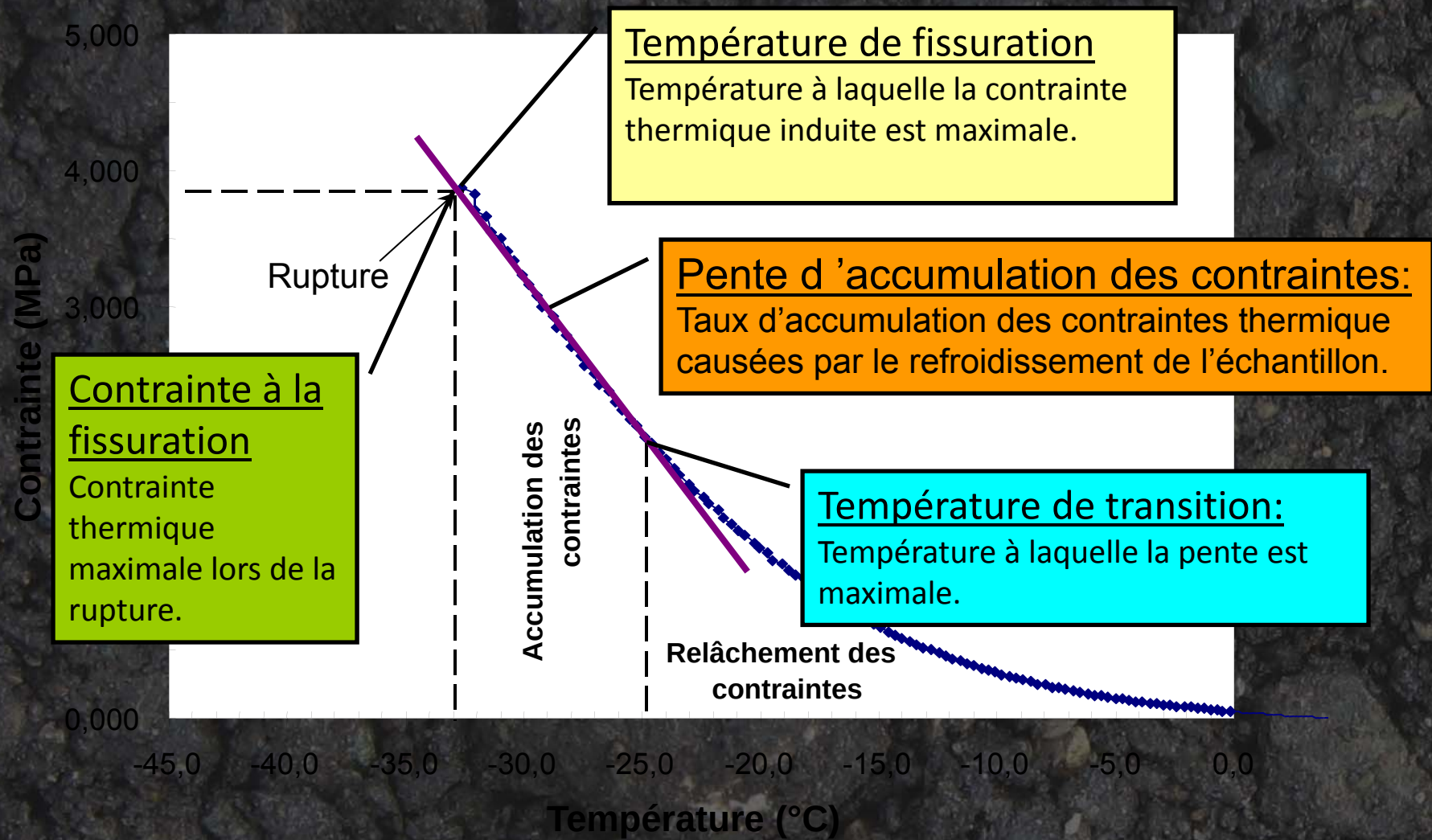


$$N = a \varepsilon^b$$

Déformations = 50 à 200 $\mu\epsilon$
Fréquence = 10 Hz
Température = 10°C

La résistance à la fatigue est le nombre de cycles nécessaire pour atteindre la rupture par fatigue d'un matériau à un niveau de sollicitation donné.

FTSRSTormulation LC



Critères LC & SUPERPAVE

- *Superpave*
 - La maniabilité à la pcg est fonction du niveau de sollicitation du revêtement par le trafic et est valide pour tout type d'enrobé.
- *Méthode LC*
 - La maniabilité est fonction du type d'enrobé et est indépendante du niveau de sollicitation par le trafic.

Critères LC & SUPERPAVE

Maniabilité à la pcg

SUPERPAVE				
Trafic m. ESALs	N_i	$V_i @ N_i$	N_d	N_{max}
$< 0,3$	6	$> 8,5$	50	75
$0,3 < 3$	7	$> 9,5$	75	115
$3 < 30$	8	> 11	100	160
≤ 30	9	> 11	125	205
MÉTHODE LC				
Enrobé	N_i	$V_i @ N_i$	N_d	N_{max}
ESG-10	10	≥ 11	80	200
EG-10	10	≥ 11	80	200
EGA-10	10	≥ 11	80	200
ESG-14	10	≥ 11	100	200

Types d'enrobés

Couches de base (GB-20, ESG-14)

- Enrobés utilisés en couche de base;
- Appelées aussi graves-bitumes;
- Habituellement posées sur la couche de fondation granulaire;
- Dimension nominale maximale de 20 à 28 mm;
- Teneurs en bitume plus faibles (entre 3,5 et 4,8%)
- Épaisseur de pose variant de 80 (minimale) à 120 mm (maximale) (GB-20).

Types d'enrobés

Couches de liaison (ESG-14)

- Enrobés utilisés entre 2 couches;
- Dimension nominale maximale de 14 mm;
- Teneurs en bitume plus faibles (entre 4,5 et 5,2%)
- Épaisseur de pose variant de 60 (minimale) à 80 mm (maximale).

Couches anti fissure (ESG-5)

- Enrobés utilisés en base;
- Chaussées à durée de vie prolongée;
- Fortes teneurs en bitume (5,5 à 6,5%);
- Résistante à la fissuration de fatigue.

Types d'enrobés

Couches de correction (EC-10, EC-5)

- Enrobés utilisés entre 2 couches;
- Pour corriger une surface à recouvrir;
- Dimension nominale maximale de 5 à 10 mm;
- Teneurs en bitume généralement entre 5,5 et 6,0%;
- Épaisseur de pose entre 20 et 40 mm.

Couches de surface (ESG-10, EG-10)

- Assure le confort de roulement pour l'utilisateur;
- Dimension nominale maximale de 10 à 14 mm;
- Teneurs en bitume variant de 5,0 à 6,5%;
- Épaisseur de pose entre 40 et 60 mm.

Merci

- *Encore merci à Pierre Langlois et Michel Paradis pour m'avoir fourni la très grande majorité des diapos!!*