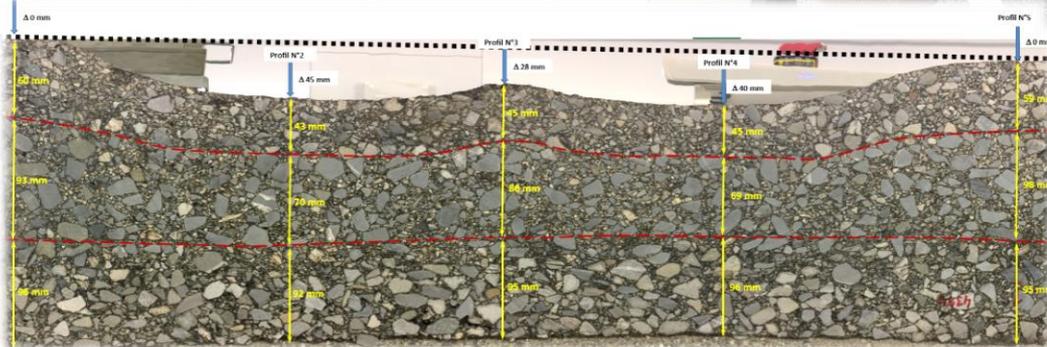
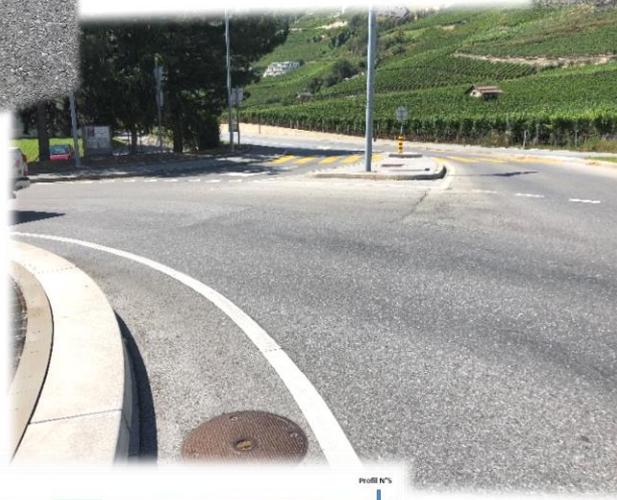


J E R I

Revêtements bitumineux anti-orniérants

Pascal Bauer
infralab sa
Lausanne, le 12 novembre 2019

infralab





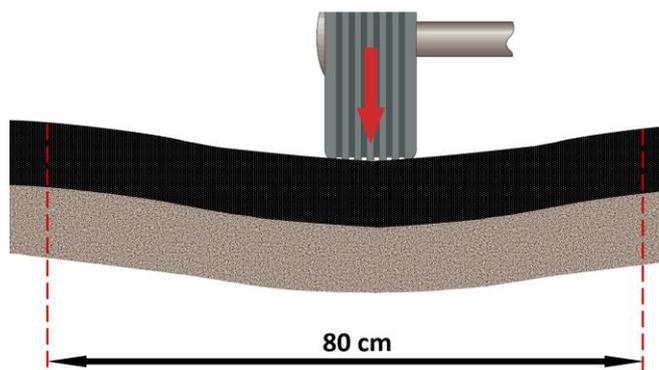
- Définition et terminologie
- Conséquences de l'orniérage
- Paramètres influents
- Aspects normatifs et réglementaires
- Composition des revêtements anti-orniérants
- Domaines d'emploi privilégiés et contraintes
- Bilan et perspectives

Définition et terminologie

- Orniérage : Déformation permanente longitudinale occasionnée par le passage des roues au même endroit

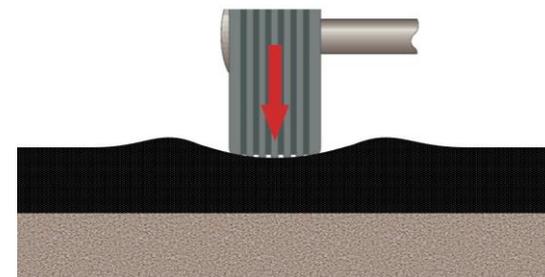
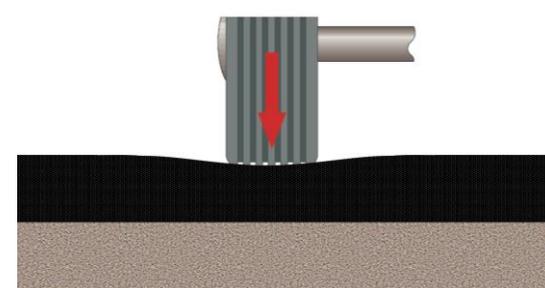
Orniérage à grand rayon

Largeur de déformation > 80 cm



Orniérage à petit rayon

- Orniérage par usure
- Orniérage par post-compactage
- Orniérage par fluage



Définition et terminologie

- Enrobés anti-ornières :

Enrobés dont la formulation permet d'augmenter la résistance à l'orniérage (Définition dictionnaire Eyrolles).

De façon conventionnelle, un enrobé est dit "anti-ornière" lorsqu'il présente à l'essai d'orniérage une profondeur d'ornière inférieure à 5% à 30 000 cycles et 60°C.

- Dénominations usuelles :

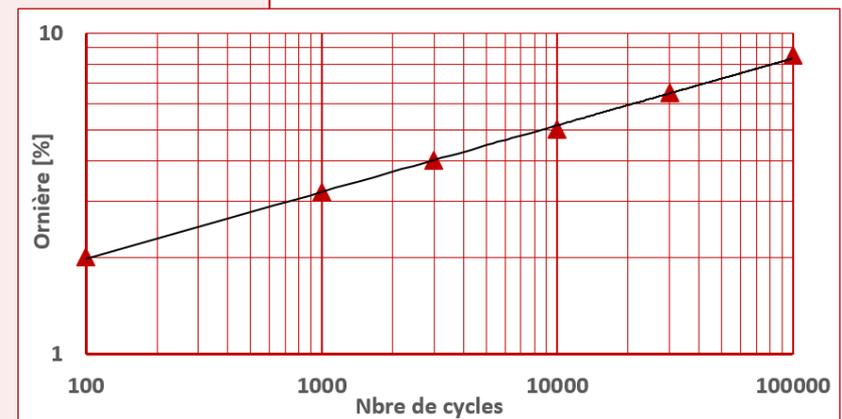
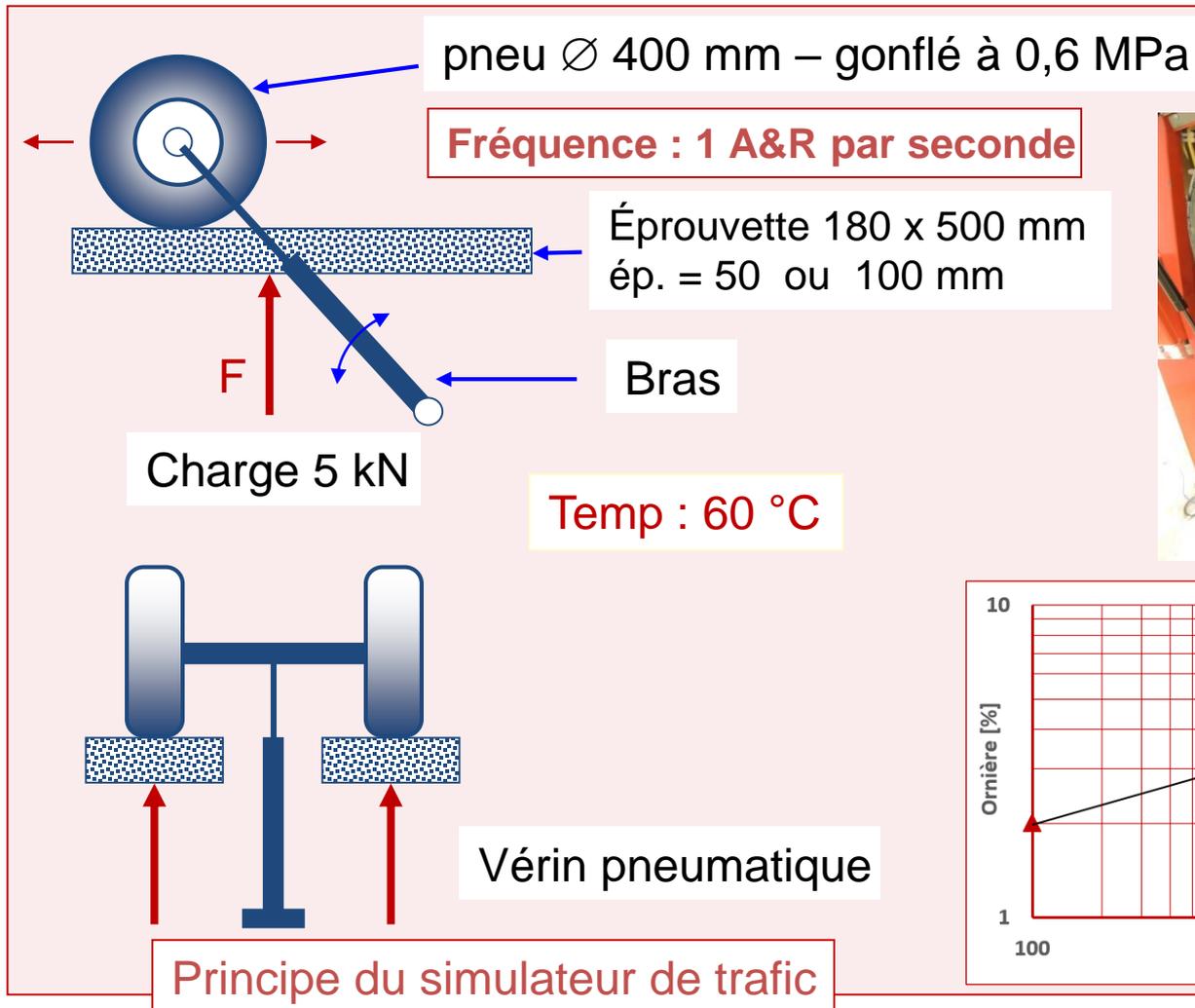
- BBAO : Béton Bitumineux Anti-Ornière

- AC AO : Asphalt Concrete Anti-Ornière

Définition et terminologie

Le simulateur de trafic (Dispositif de grandes dimensions)

EN 12697-22



Conséquences de l'orniérage

- Pas d'effet sur la durabilité de la structure (au sens patrimonial)
- Sécurité :
 - Aquaplanage par accumulation d'eau dans les ornières
 - Canalisation de la trajectoire pour les deux roues (effet de guidage)
- Inconfort pour les automobilistes
- Esthétique
- Gêne aux piétons ...



Paramètres influents

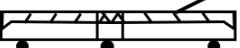
Quatre paramètres en lien direct avec le niveau d'orniérage :

- Le trafic
- La géométrie et la localisation de la chaussée
- Le climat
- Les matériaux



Paramètre : trafic

- Paramètre prédominant pour le fluage
- Caractérisé par :
 - La vitesse
 - Le nombre de Poids Lourds et/ou de bus
 - L'agressivité :
 - Type de PL et de bus
 - Charge de l'essieu
 - Type de roue

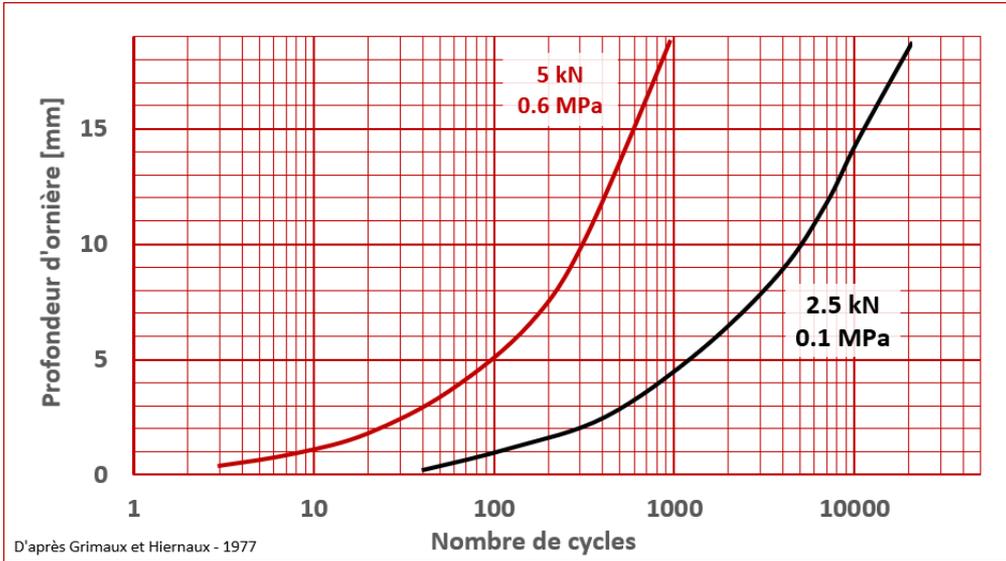
Facteurs d'équivalence k Chaussée souple et semi-rigide			
VL*	PL		TBA (remplissage 100%)
			
0.001	0.8	2.4	12

* Pour information

Source VSS 40 320 et Infralab

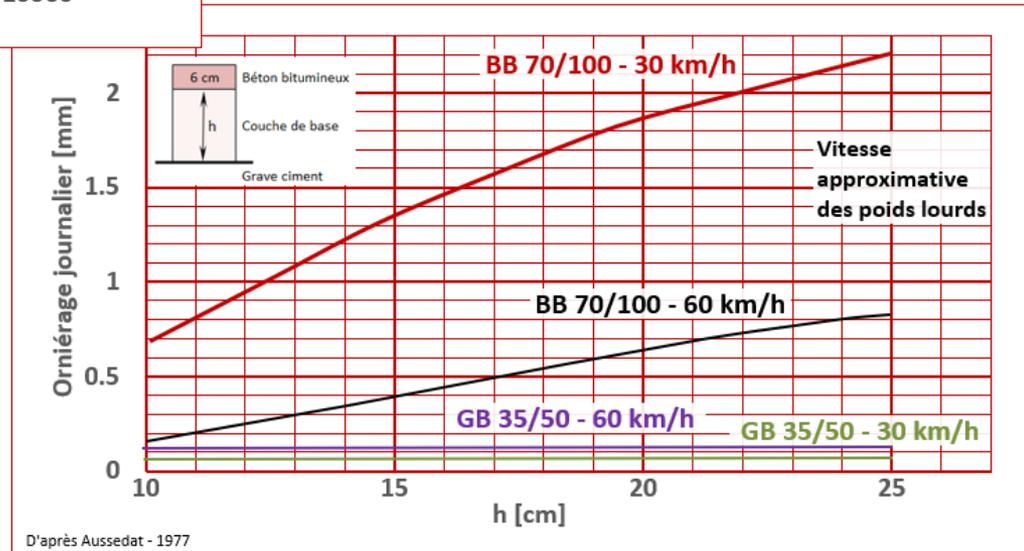


Paramètre : trafic



Influence de la charge et de la pression de gonflage

Influence de la vitesse



Paramètre : géométrie et localisation

Affectent la vitesse et l'organisation du trafic :

- Zones urbaines : ralentissement/bouchon aux heures de pointe
- Fortes déclivités
- Largeur des voies (canalisation du trafic)
- Zones de freinage : feux de circulation, stop, péages, intersections, ...



Lausanne, le 12.11.2019

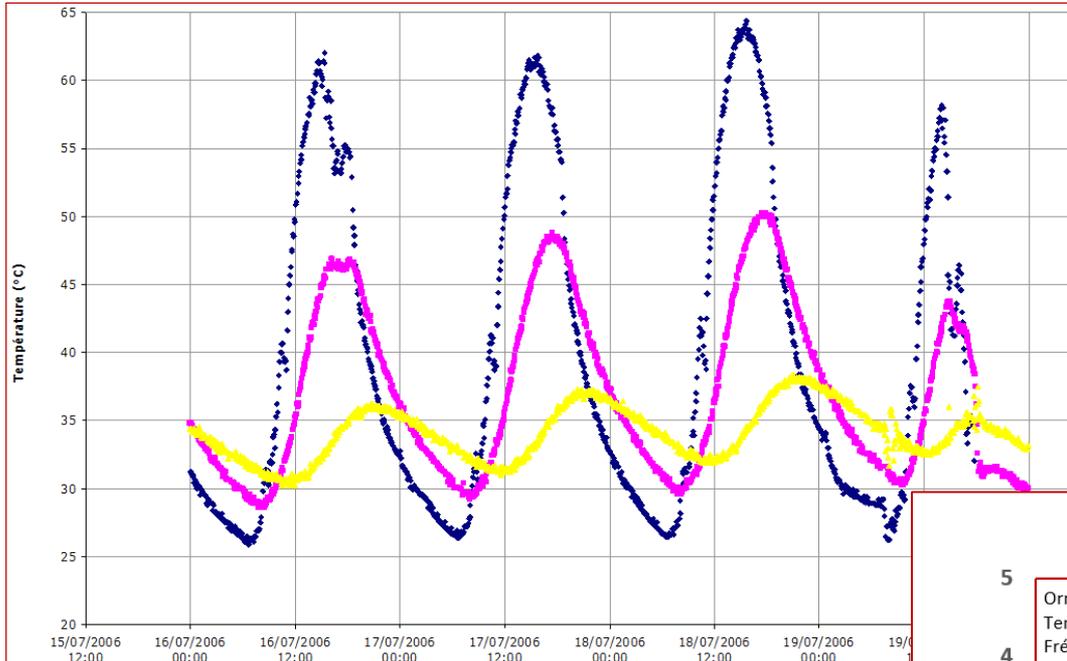


Conférence JERI



Paramètre : climat

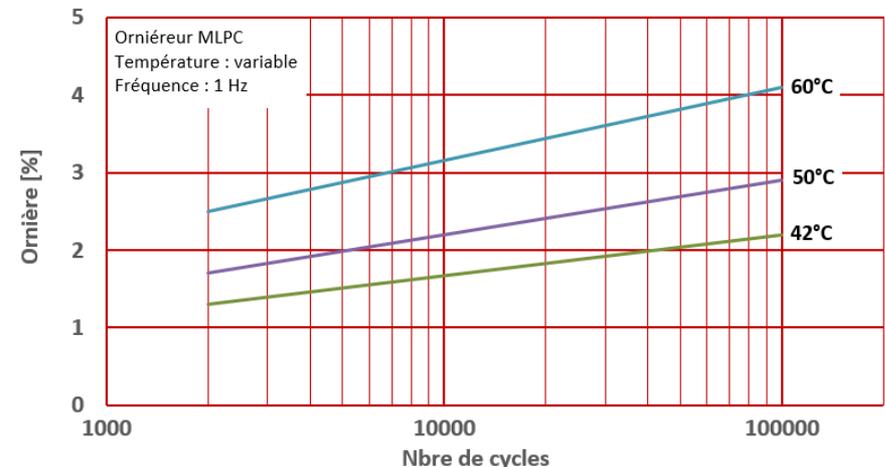
Exemple d'évolution de température de la chaussée en période caniculaire



Source : Direction Technique Eurovia - 2006

- Suivi sur 4 journées en juillet (2006)
- Sondes en surface, -10cm et -27cm
- Température max en surface > 60°C
- Gradient de température > 35°C

Orniérage en fonction de la température



D'après Grimaux et Hiernaux - 1977

Incidence de la température de sollicitation sur l'orniérage

Paramètre : matériaux

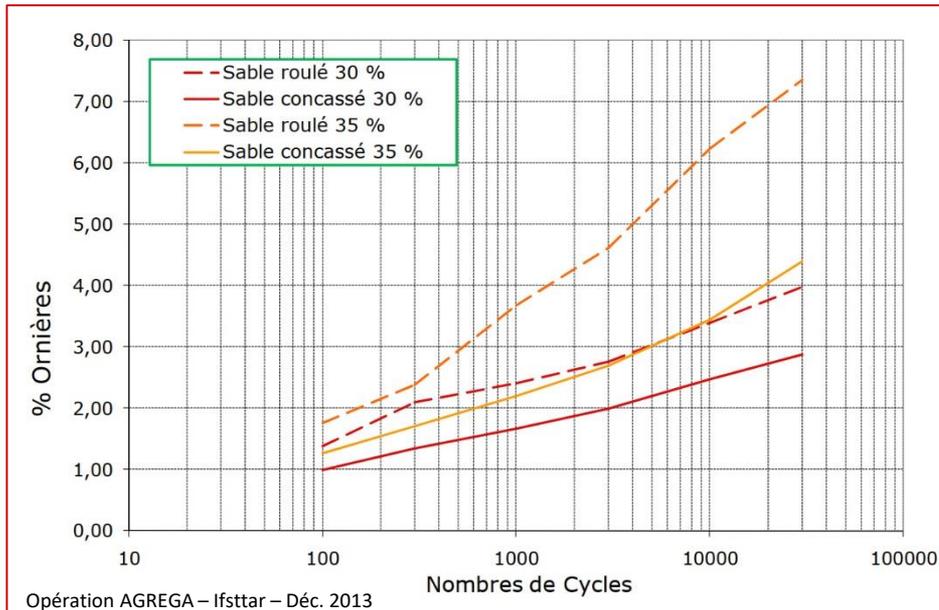
Six éléments principaux ont une grande influence

- Le squelette minéral :
 - Pourcentage de gravillons, de sable, de filler
 - L'homogénéité du mélange
- Les caractéristiques des granulats et du filler :
 - Granulats : dureté, forme, angularité, surface
 - Filler : pouvoir rigidifiant et absorbant
- Teneur en liant
- Type de liant :
 - Grade, degré de modification, susceptibilité thermique, ...
- Teneur en vides
- Épaisseur des matériaux



Paramètre : matériaux

Forme et angularité des granulats



Aplatissement fraction 2/14	Orniérage	
	Profondeur d'ornière [%]	
	1 000 cycles	3 000 cycles
3.7	15	Non mesurable
9.5	9	18

EB14-BBSG à 5.4% de bitume Roche massive broyée/concassée

Incidence du coefficient d'aplatissement

Incidence de l'angularité du sable

Mode de concassage	Angularité			Orniérage	
	Sable	Gravillons		Profondeur d'ornière [%]	
		Écoulement [s]	Surf. Cassées	3 000 cycles	30 000 cycles
Giratoire tertiaire	39	124	C _{95/1}	3.2	5.7
Axe vertical à enclumes	37	122	C _{95/1}	3.2	5.4
Axe vertical boîte à cailloux	33	106	C _{95/1}	10.8	Non mesurable

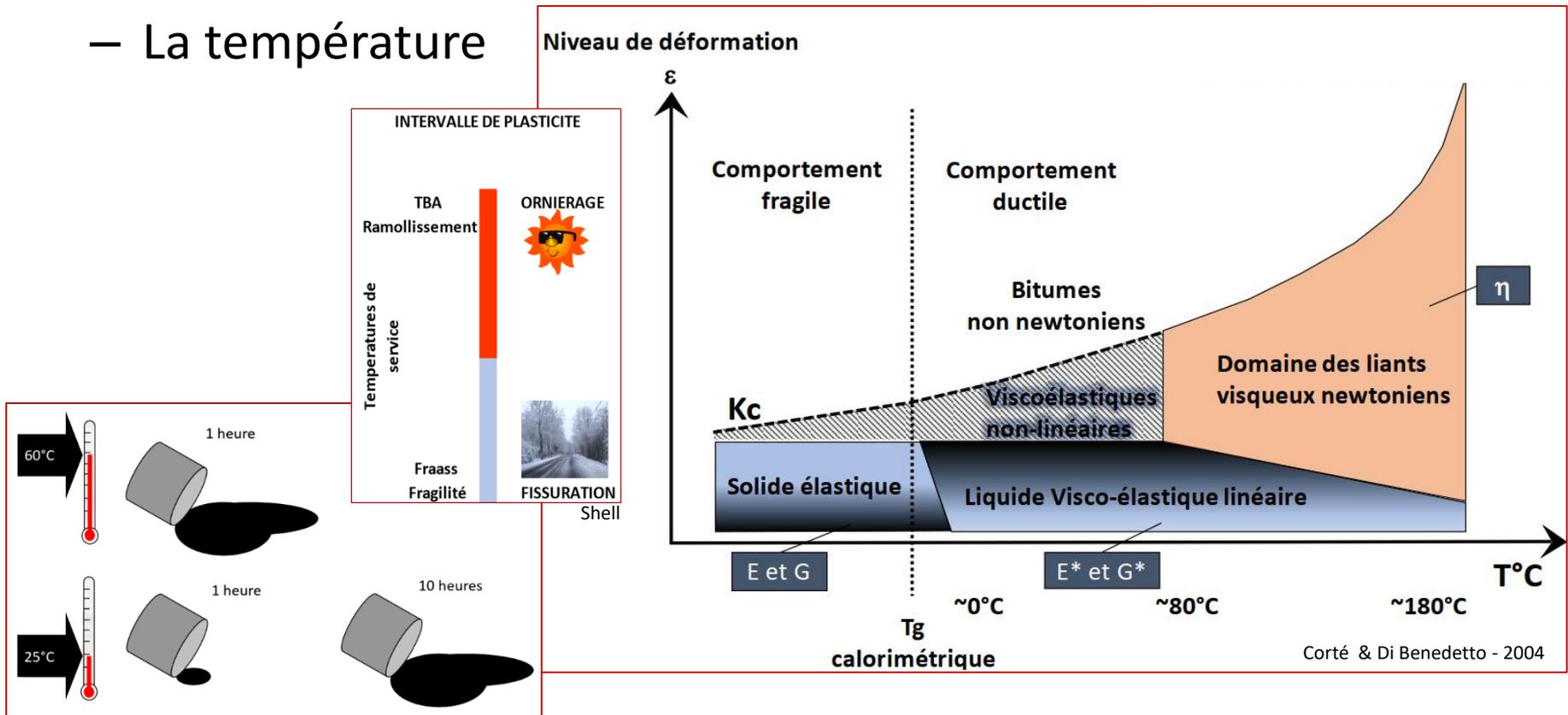
Incidence du mode de concassage

EB10-BBSG - Mtx silico-calcaire - Mines et carrières

Paramètre - Matériaux

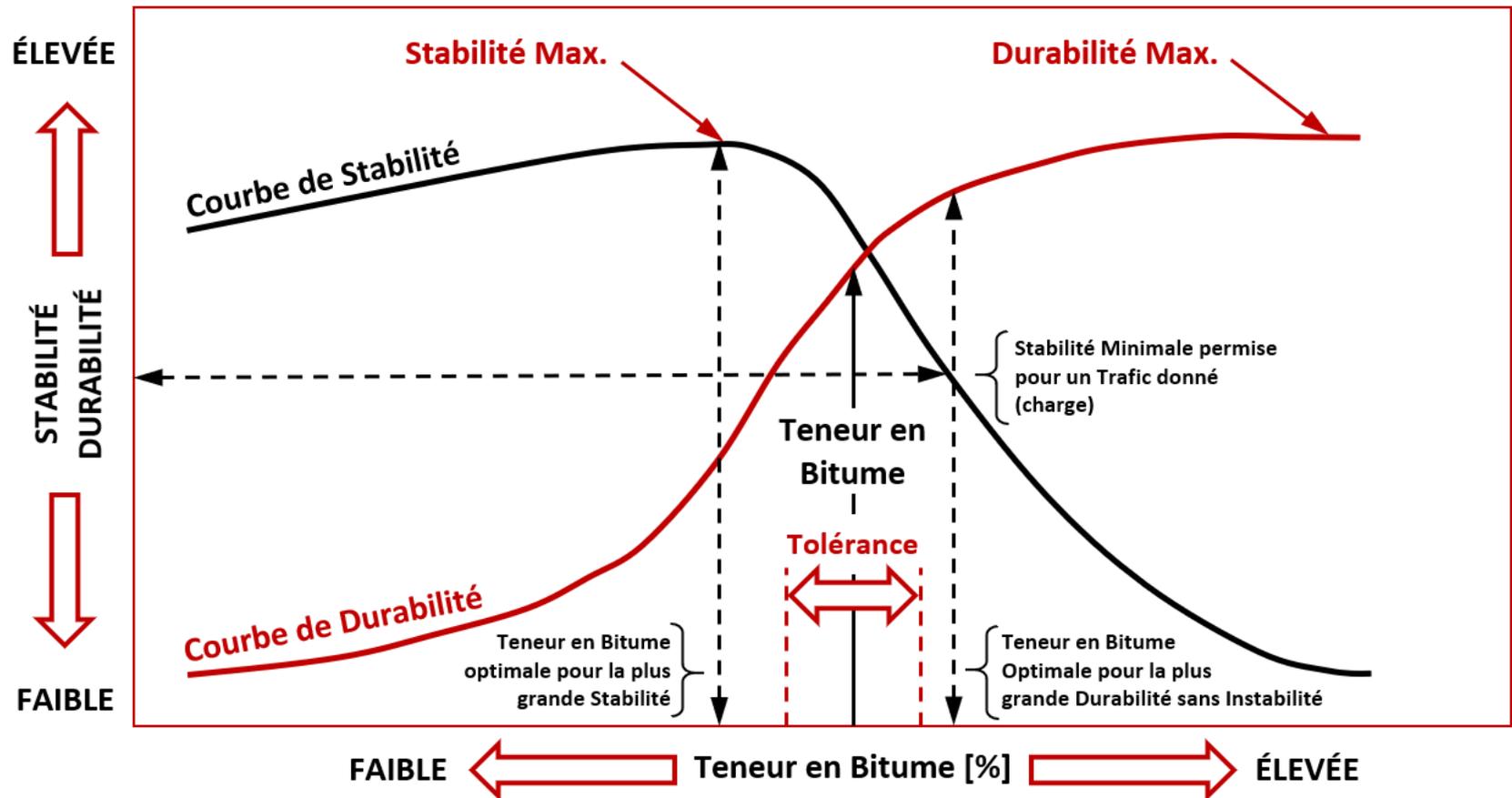
Le liant bitumineux :

- Un comportement viscoélastique selon :
 - Le temps de charge
 - La température



Paramètre : matériaux

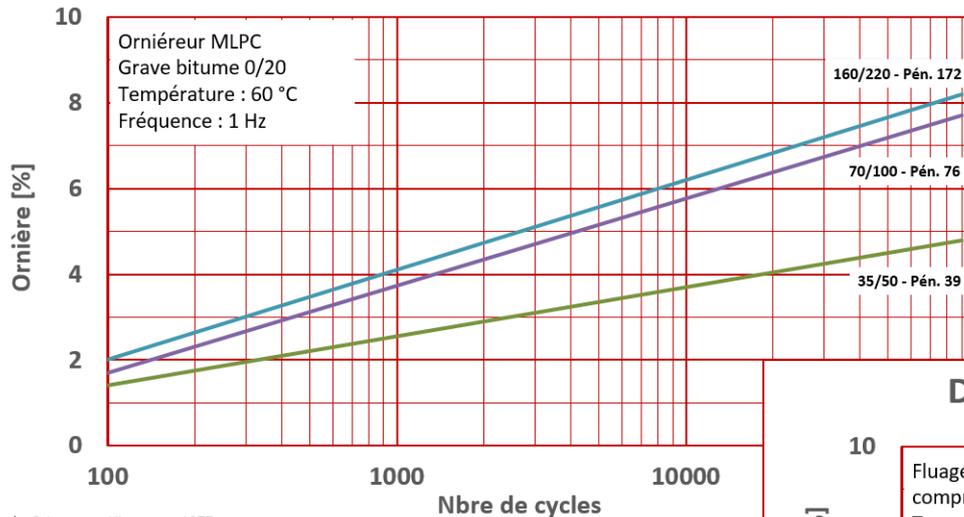
Teneur en liant:



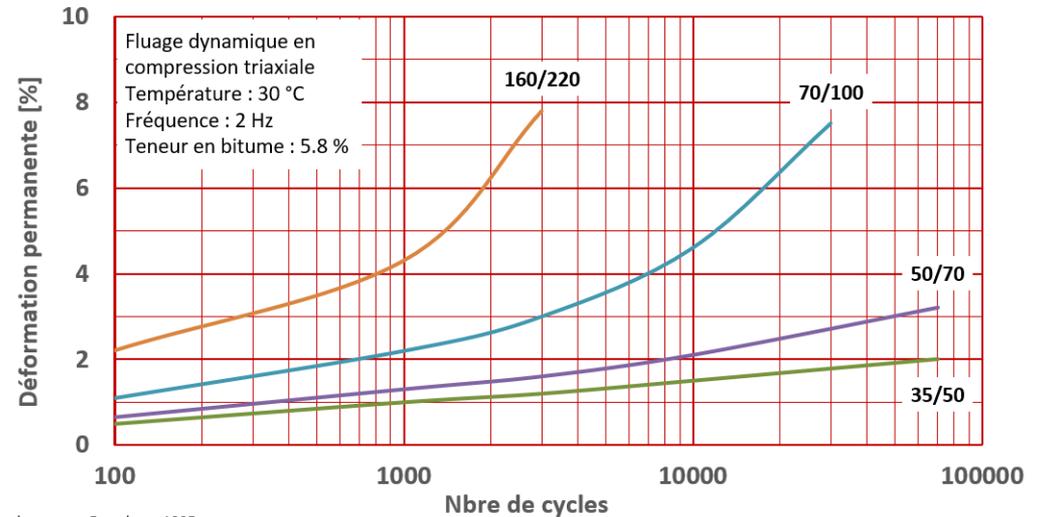
Paramètre : matériaux

Grade du liant:

Orniérage en fonction du grade de bitume

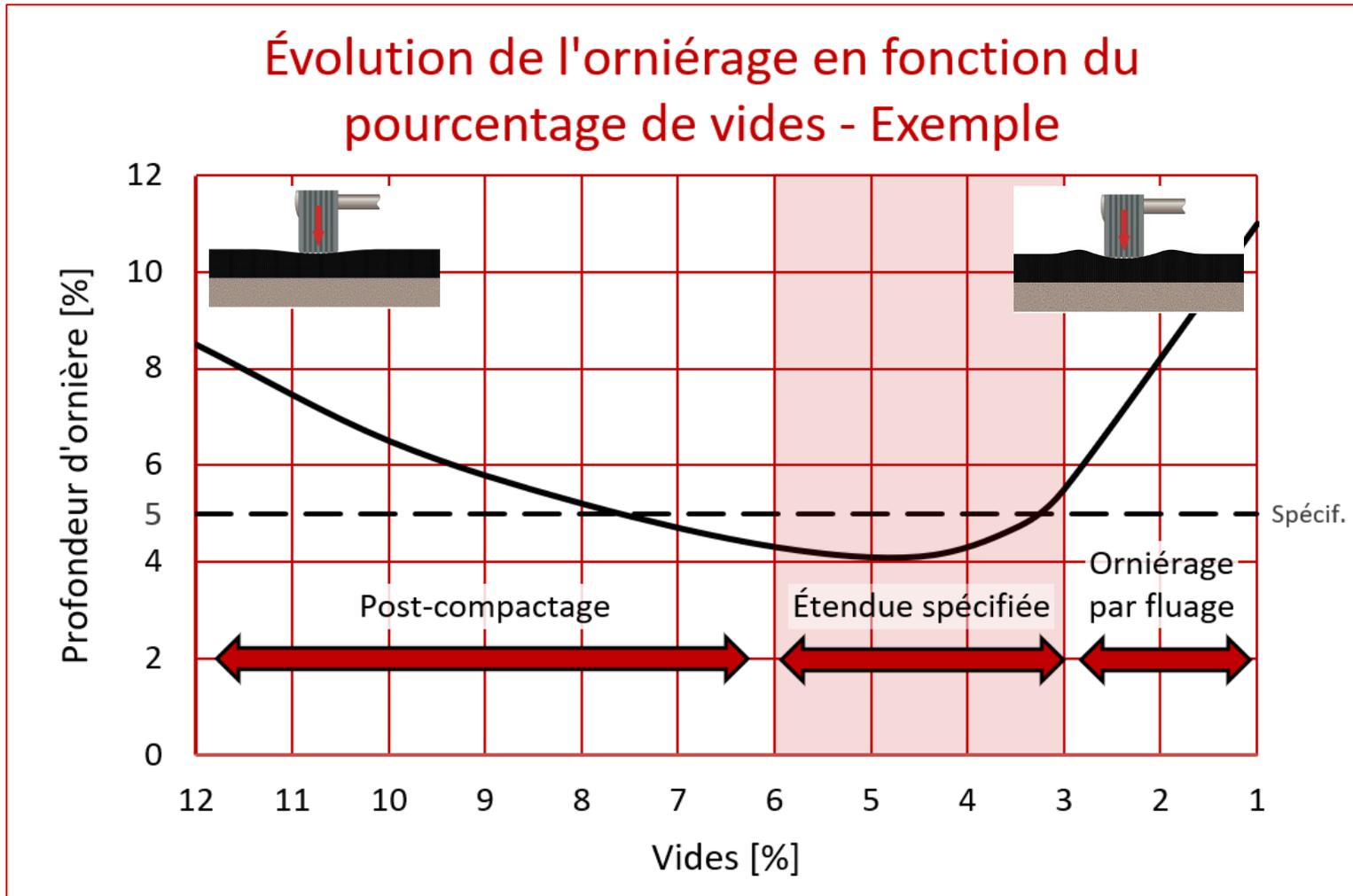


Déformation en fonction du grade de bitume



Paramètre : matériaux

Pourcentage de vides :



Paramètre : éléments déclenchants

- Période de chaleur inhabituelle
- Formule d'enrobé inadaptée :
 - À l'environnement, aux sollicitations
- Défaut de fabrication :
 - Grade et % du bitume, angularité, granulométrie
- Défaut de compactage :
 - Sous-compactage, sur-compactage
- Sollicitation exceptionnelle (augmentation du trafic)
- Pollution exceptionnelle du matériau (hydrocarbure)

Aspects normatifs et réglementaires

- Enrobés AO non normalisés en tant que tel :
 - Adaptation et amélioration d'enrobés normalisés
 - Produits d'entreprise :
 - Composants et formulation non divulgués
 - Responsable de la fabrication et de la mise en œuvre
 - Garante des caractéristiques techniques annoncées
- Pas de norme sur les caractéristiques :
 - Des composants
 - Du produit final :
 - En laboratoire
 - In situ
- En absence de norme, il conviendrait de prendre en compte des caractéristiques au moins de types "H"



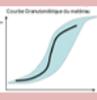
Choix des composants - Granulats

Caractéristiques intrinsèques et de fabrication :

Caractéristiques principales des gravillons										
Couche	Référence		Forme 	Angularité 	PSV 	Résist. Fragmentation			Pétrographie Gravillons durs 	Incorporation d'Agrégats d'Enrobés
						4/8	8/11	11/16		
Roulement	Enrobé AC H	Norme	A ₂₅	C _{95/1}	50	LA ₂₅	LA ₂₀	-	≥ 60%	Non
	Enrobé AC AO	<i>Suggestion*</i>	10 à 15	C _{95/1}	53	LA ₂₀	LA ₂₀	LA ₂₀	≥ 80%	Non
Liaison	Enrobé AC B H	Norme	A ₂₅	C _{70/10}	Nr	LA ₃₀	LA ₃₀	LA ₃₀	≥ 60%	≤ 15% à froid ≤ 30% à chaud
	Enrobé AC AO	<i>Suggestion*</i>	10 à 15	C _{95/1}	53	LA ₂₀	LA ₂₀	LA ₂₀	≥ 60%	≤ 10%

* Pour des sollicitations extrêmes

Normes VSS 70 115 - SN 670 103b - SN 640 431-1-NA

Caractéristiques principales des sables							
Couche	Référence		Teneur en fines 	Angularité 	Granularité 	Pétrographie	
						Improperes [%] 	Phyllosilicates [%] 
Roulement	Enrobé AC H	Norme	f ₂₂	E _{CS} déclaré	G _{F85} G _{TC10}	≤ 6	≤ 2
	Enrobé AC AO	<i>Suggestion*</i>	f ₁₆	E _{CS} 38	G _{F85} G _{TC10}	≤ 6	≤ 2
Liaison	Enrobé AC B H	Norme	f ₂₂	E _{CS} déclaré	G _{F85} G _{TC10}	≤ 10	≤ 5
	Enrobé AC AO	<i>Suggestion*</i>	f ₁₆	E _{CS} 38	G _{F85} G _{TC10}	≤ 6	≤ 2

* Pour des sollicitations extrêmes

Normes VSS 70 115 - SN 670 103b - SN 640 431-1-NA



Choix des composants – Bitumes

Principaux liants hydrocarbonés employés seuls :

Type de bitume	Sorte	Dénomination	Pénétrabilité à 25°C	Point de ramollissement	Indice de pénétrabilité Ip	Point de fragilité Fraass	Retour élastique	Référence
			[1/10 mm]	[°C]	[-]	[°C]	[%]	
Routier	Standard	35/50	35 à 50	50 à 58	-1.5 à +0.7	≤ -5	-	EN 12591
Modifié	Multigrade	MG 35/50-57/67	35 à 50	57 à 67	+0.1 à +1.5	≤ -12	-	EN 13924-2
	Polymère	PmB 25/55-65 (CH-E)	25 à 55	≥ 65	-	≤ -10	≥ 80	EN 14023
		PmB 35/55-70	35 à 55	≥ 70	-	≤ -15	≥ 80	EN 14023
		PmB 30/50-70	30 à 50	≥ 70	-	≤ -16	≥ 80	EN 14023

Des liants hydrocarbonés de grade plus mou peuvent être employés avec des additifs.

Choix des composants - Additifs

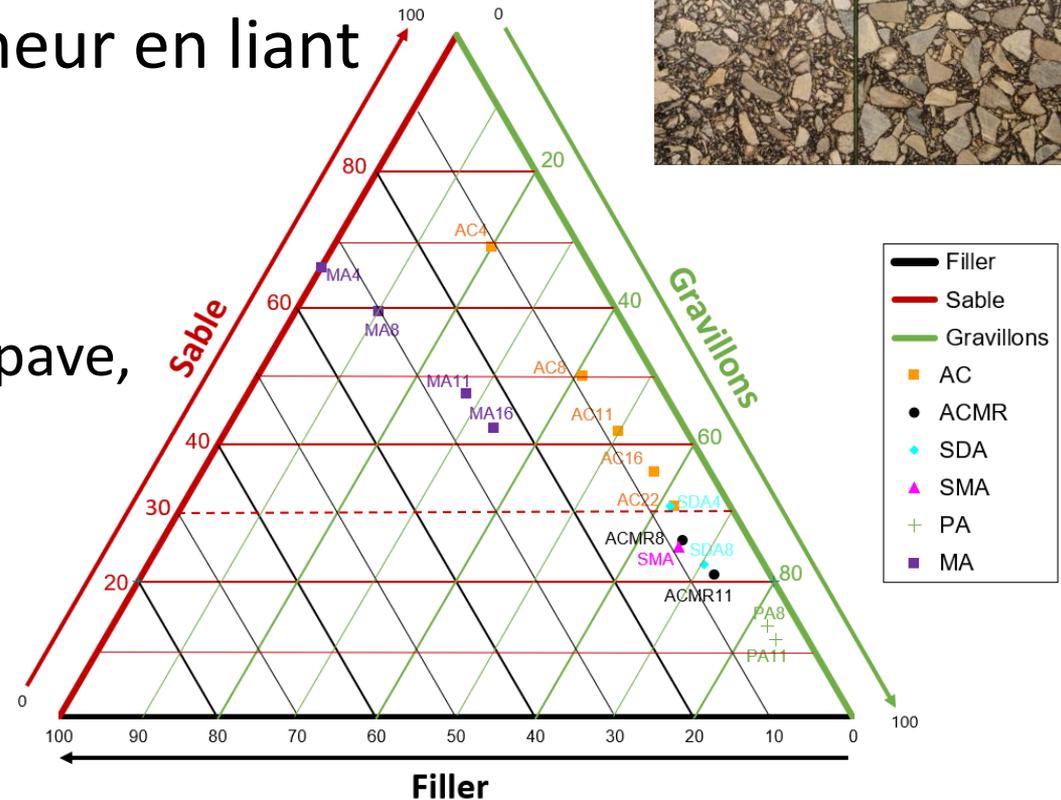
Liste non exhaustive

- Le polyéthylène basse (et moyenne) densité
- Les asphaltes ou bitumes naturels
 - L'asphaltite naturelle
 - La gilsonite (hydrocarbure solide naturel broyé)
 - Le trinidad épuré ou trinidad 50/50
- Les fibres minérales :
 - Les fibres de verre
 - Les fibres de roche (basalte fondu)
- Les fibres synthétiques :
 - Les fibres en polyamides aromatiques (Kevlar®)



Formulation

- Choix des composants ✓
- Détermination des % de Gravillons, Sable et Filler :
 - Optimisation de l'empilement granulaire pour assurer la stabilité
- Détermination de la teneur en liant
- Essais de performances
- Plusieurs méthodes :
 - Hveem, Marshall, Superpave,*
 - LPC, CRR (Prado), ...*
- Si possible :
 - Étude de sensibilité



Formulation

Principaux facteurs affectant le phénomène d'orniérage

Facteur		Condition de changement	Effet sur la résistance à l'orniérage
Granulats	Angularité	Arrondie à anguleuse	↑
	Dimension	↑ Dmax	↑
	Granulométrie	Discontinue à continue	↑
	Partie sableuse	↑	↓
	Texture de surface	Lisse à rugueuse	↑
	Dureté	↑	↑
	Propreté	↑	↑
Liant	Dureté	↑	↑
Enrobé bitumineux	% de liant	↑	↓
	Vides intergranulaires	↑	↓
	% de vides	↑ vides de formulation	↑
Conditions d'essai in situ	Température	↑	↓
	État de contrainte / Déformation	↑ de la pression de contact des pneus	↓
	Nombre de cycles de sollicitations	↑	↓
	Présence d'eau	Sec à mouillé	↓ *

D'après Sousa et coll. (1991) et Verstraeten (1995)

* si enrobé sensible à l'essai de tenue à l'eau

Prédiction de l'orniérage

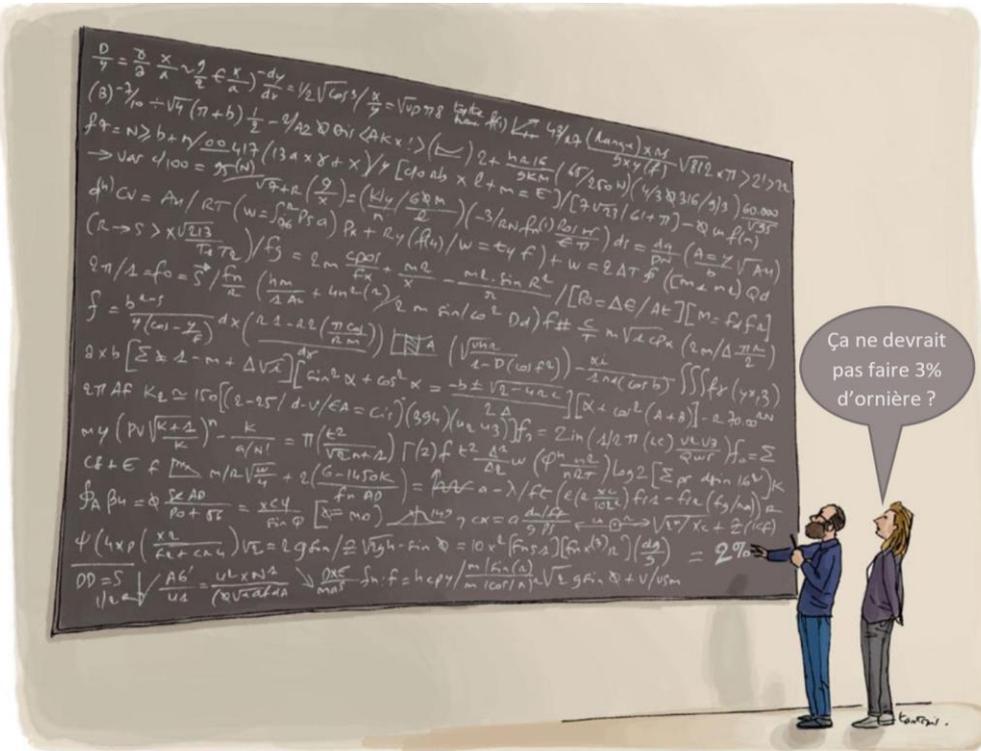
- Prédiction de l'orniérage :

- Nombreuses méthodes :
Esso, Orni, Aramis, Castor ...
- Nombreuses thèses
- Essais sur le bitume, le mastic et/ou sur l'enrobé bitumineux :
 - Essai de compression cyclique
 - Essai triaxial à chargements cycliques
 - Essai MSCR (Multiple Stress Creep Recovery)



Le simulateur de trafic :

- Essai de caractérisation :
pour une température, une fréquence et une charge figées
- Ne permet pas de prédire l'orniérage d'une chaussée



Le Point – Les maths au quotidien - HS - Adaptation

Domaines d'emploi

- Utilisé en couche de roulement ou de liaison :
(Différenciation des fonctions : bruit, adhérence, ...)
- Construction neuve ou entretien des chaussées
- Traitement des zones localisées
- Quelques domaines privilégiés :
 - Carrefours et giratoires
 - Voies à forte déclivité
 - Voies poids lourds et voiries industrielles
 - Couloirs et *arrêts de bus*
 - *Plateformes industrielles*
 - *Installations portuaires et aéroportuaires*



Domaines d'emploi

- Pour des sollicitations statiques (ou assimilées) :
 - Privilégier des matériaux durs et frottants
 - Prendre en compte :
 - Les températures ambiantes
 - Les pressions de contact des charges roulantes et statiques

Aide à la décision :

Pression de contact maximale [MPa]	ACH - AC B H			AC AO			AC EME C2			ENROBÉ PERCOLÉ			BÉTON
	Sol en intérieur	Sol en extérieur Température		Sol en intérieur	Sol en extérieur Température		Sol en intérieur	Sol en extérieur Température		Sol en intérieur	Sol en extérieur Température		
		≤ 60 °C	> 60 °C		≤ 60 °C	> 60 °C		≤ 60 °C	> 60 °C		≤ 60 °C	> 60 °C	
Charge roulante	2.0	1.5	1.0	2.5	1.75	1.5	3.0	2.0	1.5	7.5	6.0	5.0	≥ 15 selon classe
Charge statique	1.5	1.0	0.75	1.75	1.25	0.85	2.0	1.5	1.0	7.5	6.0	5.0	

D'après Eurovia - 2005

Contraintes

- Souvent faibles surfaces (giratoire, arrêt bus) :
 - Faibles tonnages :
 - Gestion des cuves de liant, des ajouts
 - Intégration dans le planning de fabrication
 - Matériel à adapter à la géométrie du chantier :
 - Transport
 - Atelier de mise en œuvre (finisseuse, compacteur)
- Augmentation du temps de malaxage (si ajout)
- Pas de stockage en trémie
- Travail à la main difficile et non recommandé
- Délais de compactage réduit
- Température extérieure : support $> 10^{\circ}\text{C}$

Bilan

- Globalement positif pour les applications routières "usuelles"
- Mitigé pour les arrêts BHNS :
 - Trafic canalisé, lent ou statique
 - Charge à l'essieu agressive
 - Aggravé par les périodes caniculaires successives
- Formulation type inadaptée ou incomplète
- Absence de repère normatif pour :
 - Les composants
 - Les caractéristiques du produit final
 - Les domaines et précautions d'emploi



Perspectives

- Pérenniser les arrêts de bus et les carrefours giratoires en revêtements anti-orniérants
- Rédaction d'un guide pour les AC AO afin de :
 - Cadrer les composants et les caractéristiques
 - Conseiller les maitres d'œuvre dans la rédaction des cahiers des charges
 - Aider les entreprises dans la formulation
 - Favoriser le développement et le suivi de la technique
- D'une manière générale :
 - Commencer la transition vers la mise en application d'essais plus pertinents sur les bitumes et les enrobés



Merci pour votre attention