



Constituants des enrobés en France



- Granulats
- Liants hydrocarbonés
- Additifs

Les granulats


Bitume Québec


EUROVIA
Une société de VINCI 





PLAN DE LA NORME XP P 18-545



Article 1 : domaine d'application

Article 2 : références normatives

Article 3 : symboles utilisés dans les EN et ce document

Article 4 : termes et définitions

Article 5 : essais alternatifs et dispositions particulières de caractérisation des granulats

Article 6 : critères de conformité appliqués aux contrôles effectués par le fournisseur et l'acquéreur

Article 7 - granulats pour chaussées : couches de fondation, base, liaison

Article 8 - granulats pour chaussées : couches de roulement utilisant des liants hydrocarbonés

Article 9 - granulats pour chaussées : béton de ciment

Article 10- granulats pour bétons hydrauliques et mortiers

Article 11- Granulats pour voies ferrées : assises

Article 12- Granulats pour voies ferrées : ballasts et gravillons de soufflage

Article 13- granulats légers pour bétons hydrauliques

Article 14- enrochements



DEFINITIONS

- > Naturel Aucune autre transformation que mécanique
- > Artificiel Origine minérale résultant d'un procédé industriel
- > Recyclé Traitement d'une matière inorganique précédemment utilisée dans la construction

Granulat =
Matériau granulaire

Classe granulaire d/D = granulat de dimension inférieure (d) et de dimension supérieure (D)

TERME	DEFINITION
FILLER	La plupart des grains passent au tamis de 0,063mm
FINES	Fraction granulométrique d'un granulat qui passe au tamis de 0,063mm
SABLE	Mélanges bitumineux et enduits: $D \leq 2 \text{ mm}$
	Matériaux traités et non traités 0/6,3mm
GRAVILLON	Mélanges bitumineux et enduits: $d \geq 2\text{mm}$ et $D \leq 45 \text{ mm}$
	Matériaux traités et non traités : $d \geq 1\text{mm}$ et $D > 2 \text{ mm}$
GRAVE	Granulats formés d'un mélange de gravillons et de sable (peut provenir d'un mélange ou d'une fabrication directe)



CARACTERISTIQUES – ESSAIS ET CODES



CARACTERISTIQUES	ARTICLE 7 (Fondation, base et liaison)		ARTICLE 8 (Roulement en liant bitumineux)	
	ESSAIS	CODES	ESSAIS	CODES
Intrinsèques des gravillons et de la fraction gravillon des graves	LA MDE	De B à F	LA MDE PSV	De A à C
De friabilité pour la fraction sable			Friabilité des sables	
De fabrication des gravillons	Granularité Teneur en fines Aplatissement	De III à V	Granularité Teneur en fines Aplatissement	De I à III
De fabrication des sables et graves	Granularité Propreté	De a à d	Granularité Propreté	a
D'Angularité des gravillons et des sables alluvionnaires et marins	Analyse visuelle Vitesse d'écoulement	De Ang 1 à Ang 4	Analyse visuelle Vitesse d'écoulement	
De sensibilité au gel	Essai d'absorption d'eau		Essai d'absorption d'eau	
De masse volumique des gravillons sables et graves	Masse volumique des granulats préséchés	Valeur sur FTP	Masse volumique des granulats préséchés	Valeur sur FTP
Des Fillers des sables et graves pour enrobés d'assise et de liaison	Granularité, masse volumique, MB, porosité Rigden, ΔT bille et anneau		Granularité, masse volumique, MB, porosité Rigden, ΔT bille et anneau	
Complémentaires pour recyclés	Teneur en sulfates	De Ssa à Ssc		
Complémentaires pour granulats de laitier	Désintégration volumique et des silicates biocalciques et de fer		Désintégration volumique et des silicates biocalciques et de fer	



CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES ET DE FABRICATION

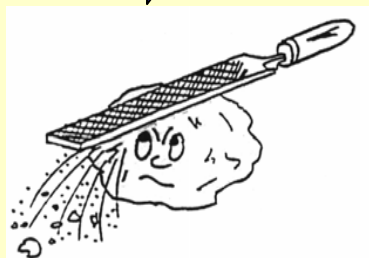
CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES DES GRAVILLONS ET DE LA FRACTION GRAVILLON DES GRAVES

➡ *Résistance à la fracturation par choc*



Essai Los angeles

➡ *Résistance à l'usure par abrasion/attrition*



Essai Micro Deval en présence d'Eau

➡ *Résistance au polissage (microrugosité)*

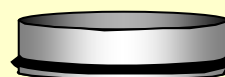


Mesure du coefficient de polissage accéléré PSV

Qualité de A (les meilleurs) à F (les moins bons)

CARACTERISTIQUES DE FABRICATION DES GRAVILLONS

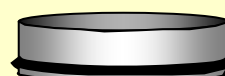
➡ *Composition* Analyse granulométrique



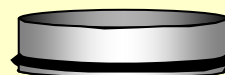
2D 0% de refus



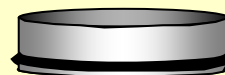
1,4D 2% maxi de refus



D



D/1,4 ou D/2



d



d/2 5% de passant maxi

Limites imposées
et étendue de
fabrication imposée

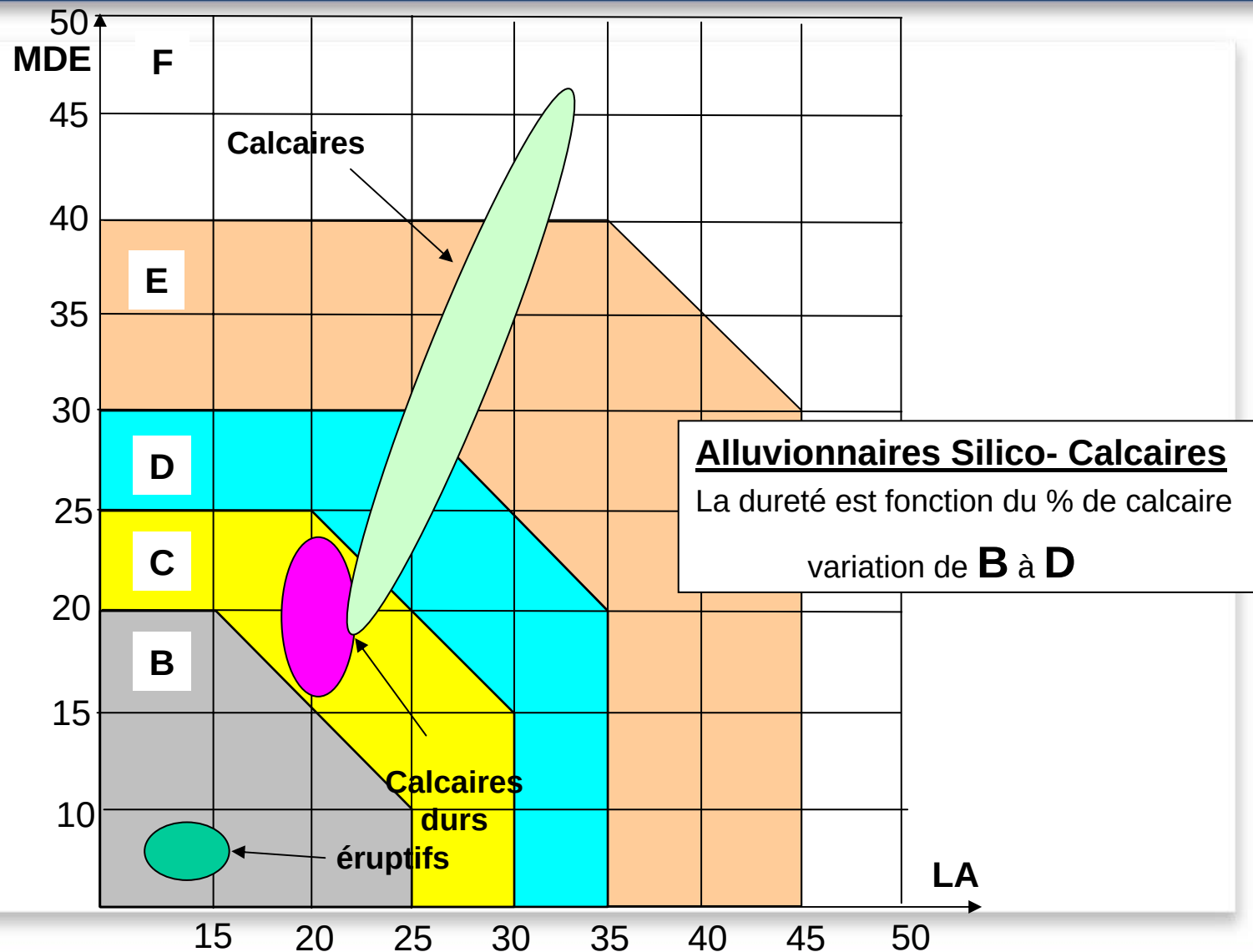
➡ *Aplatissement* FI

➡ *Propreté*

Qualité de I (les meilleurs) à V (les moins bons)

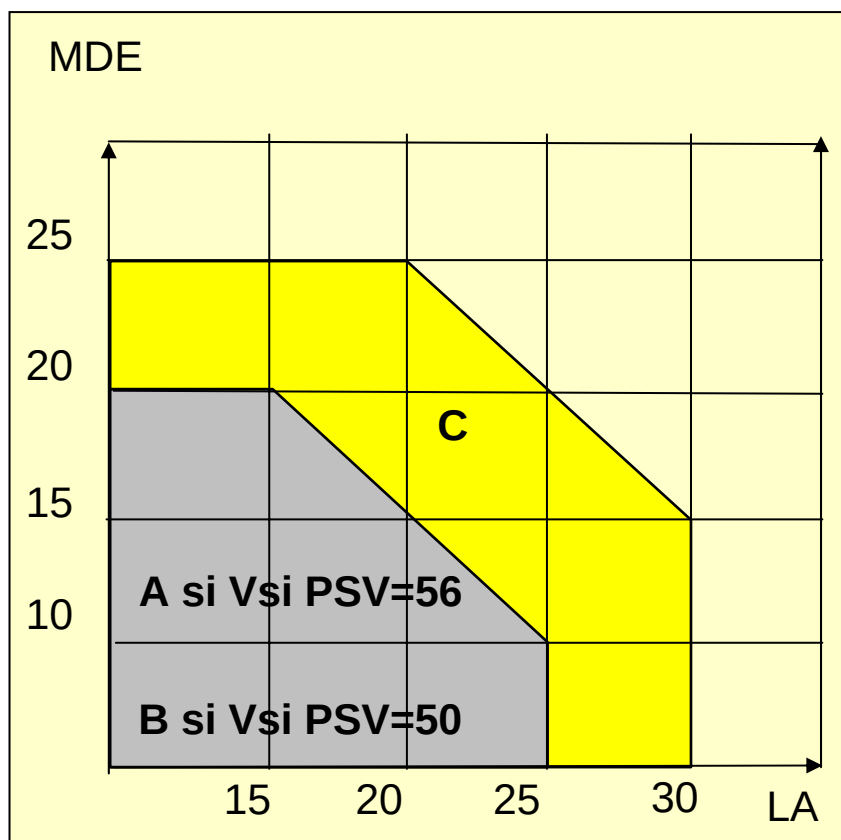


CLASSES DE RESISTANCE MECANIQUE POUR ASSISE ET COUCHE DE LIAISON ART. 7





CLASSES DE RESISTANCE MECANIQUE POUR COUCHES DE ROULEMENT AUX LIANTS HYDROCARBONES ART. 8



Vsi=valeur spécifiée inférieure



Les calcaires durs ont un PSV maximum de l'ordre de 46

En couche de liaison (art 7) ils sont catégorie C

En couche de roulement (art 8) ils ne sont pas admis

Les éruptifs peuvent être A ou B ou C



CARACTERISTIQUES DE FABRICATION

- **Fuseau de spécification:**

- limité par L_i et L_s (spécifiés dans la norme)

- Régularité de la production : **Fuseau de régularité**

- limité par V_{si} et V_{ss} , $V_{ss} - V_{si} = e$ (étendue donnée par la norme)
- le carrier se fixe V_{ss} et V_{si} et s'engage dessus

- **Fuseau de fabrication**

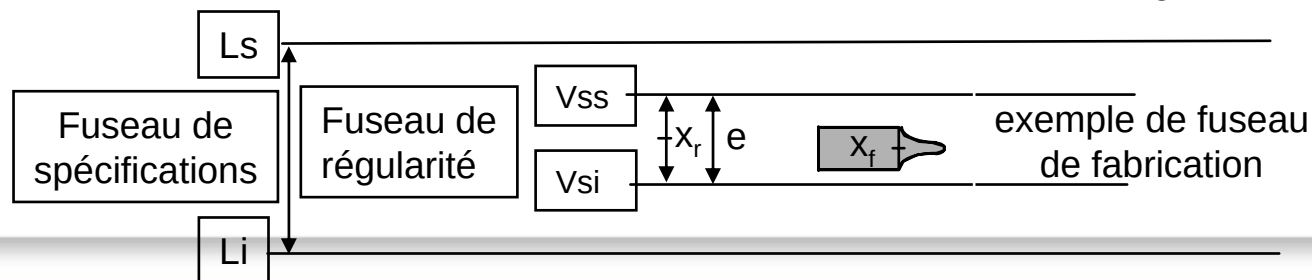
- Caractérisé par X_f et s_f

X_f : moyenne de fabrication

s_f : écart type

- **Domaine d'acceptation:**

- Moins de 15 résultats: tous les x_i à l'intérieur du fuseau de régularité
- Plus de 15 résultats
 - Chacun des résultats doit être compris entre les valeurs V_{ss} et $V_{si} \pm$ l'incertitude des essais
 - Le fuseau de fabrication doit être contenu dans le fuseau de régularité.





CARACTERISTIQUES DE FABRICATION DES GRAVILLONS



Granulats pour chaussée : fondation, base et liaison

Granularité								Teneur en fines	FI	
code	2*D	1.4*D	D	D/1.4 (2)		D/2 (3)	d			d/2
III	Vsi 100	Vsi 98	Ls 99 Li 85 (1) e10 (± 5)	Ls 80 Li 25	Ls 70 Li 20	Ls 70 Li 20	Ls 20 Li 0 e 10 (± 5)	Vss 5	Vss 1	Vss 25 (4)
IV			Ls 99 Li 80 e10 (± 5)	e 30(±15)	e 30(±15)	e 35 (±17.5)	Ls 20 Li 0 e 15 (± 7.5)	Vss 5	Vss 2	Vss 35
V	FTP renseignées									

(1) : Li= 80 si $D \leq 2*d$ ou si utilisation en GTLH ou GNT

(2) : si $2 \leq D/d < 4$

(3) : si $D/d \geq 4$

(4) : Vss35 pour usage en GTLH ou GNT



CARACTERISTIQUES DE FABRICATION DES GRAVILLONS



Granulats pour chaussée: Roulement

Code	Granularité						Teneur en fines	FI
	2*D	1.4*D	D	D/1.4 (2)		d		
I			Ls 99	Ls 80	Ls 70	Ls 20 (3)	Vss 0.5	Vss15 (5)
II	Vsi 100	Vsi 98	Li 85(1) e10 (± 5)	Li 25 e 30(±5)	ou Li 20 e 30(±5)	Li 0 e 10 (± 5)	Vss 5 (4)	Vss20 (5)
III							Vss 1	Vss25

(1): sur les gravillons de classe granulaire serrés d/D où $D \leq 2*d$, le passant à D de la catégorie $G_c 85/20$ est abaissé à 80 %

(2): si $2 \leq D/d < 4$

(3) : Ls 15 si emploi en formule discontinue ; la valeur Ls =15 doit être indiquée sur la FTP

(4) : Vss 2 si emploi en formule discontinue ; la valeur Vss =2 doit être indiquée sur la FTP

(5) : Vss est majorée de 5 si $D \leq 6.3$ mm.

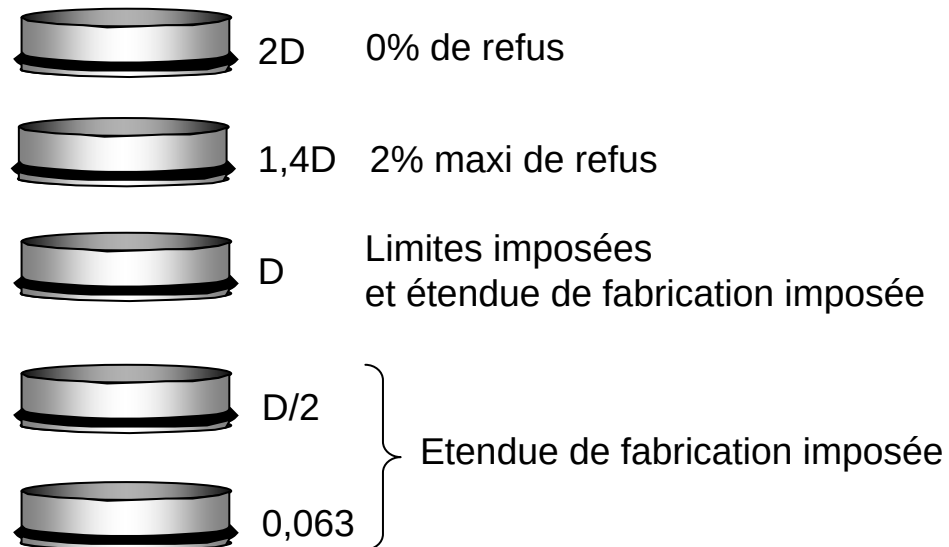


LES CRITERES CLASSANTS DES GRAVES ET DES SABLES



CARACTERISTIQUES DE FABRICATION

→ *Composition Granulométrique*



→ *Propreté*

MB Valeur de bleu
ou

SE Equivalent de sable

Les graves et sables les mieux fabriquées sont classées **a**, les moins bien fabriquées sont classées **d**



Granularité:

- Fuseau - Spécification
- Etendue

Propreté:

- Equivalent de sable à 10% de fines ou SE
- Ou Valeur au Bleu MB

4 catégories de sables ou graves : a, b, c, d...

ASSISES

ROULEMENT

Code	2*D	1.4*D	D	D/2	0.063	MB ou SE	
a	Vsi 100	Vsi 98	Ls 99	e 20 (± 10)	e 6 (± 3)	Vss 2	Vss 60
b			Li 85 e10 (± 5)			Vss 2.5	Vss 50
c			Ls 99 Li 80 e10 (± 5)			Vss 3	Vss 40
d	FTP renseignées						



LA FICHE TECHNIQUE PRODUIT FTP

Classe granulaire

6.3 10

Valeurs spécifiées sur lesquelles le producteur s'engage

Norme

Norme XP P 18-545 Article 10 - EN 12620 et EN 13139

Catégorie

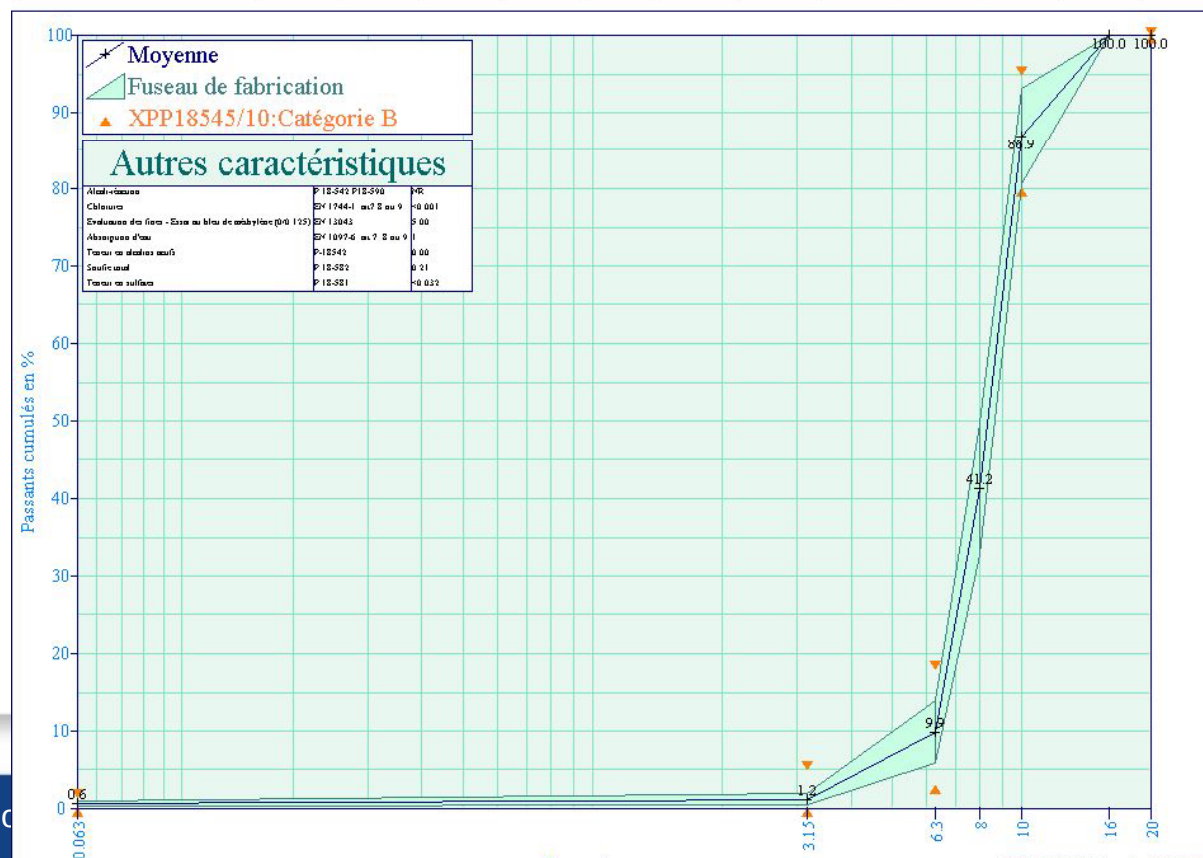
Catégorie B

	2D		D		d	d/2						
	20	16	10	8	6.3	3.15	0.063	A	MVV	LA	MDE	P
V.S.S.+U			100		23	6						
V.S.S.			95		18	5	1.5	35.00		40.00		
V.S.I.	100		80		3							
V.S.I.-U	100		75		0							
Ecart-type max												

Partie informative

Résultats de production

	du 25/02/04 au 02/11/04											
	20	16	10	8	6.3	3.15	0.063	A	MVV	LA	MDE	P
Maximum	100	100	95	57	18	3	1.3	23.90		14.40	16.6	1.32
Xf+1.25xEcart-types	100	100	93	50	14	2	0.9	22.70		14.48	17.2	0.94
Moyenne Xf	100	100	87	41	10	1	0.6	18.91	1.35	14.10	14.4	0.63
Xf-1.25xEcart-types	100	100	81	33	6	1	0.3	15.13		13.73	11.7	0.32
Minimum	100	100	75	28	4	1	0.3	12.87		13.80	12.2	0.30
Ecart-type	0.00	0.00	4.96	6.78	3.24	0.53	0.25	3.03		0.30	2.20	0.25
Nombre de résultats	31	31	31	31	31	31	31	31	1	2	2	31

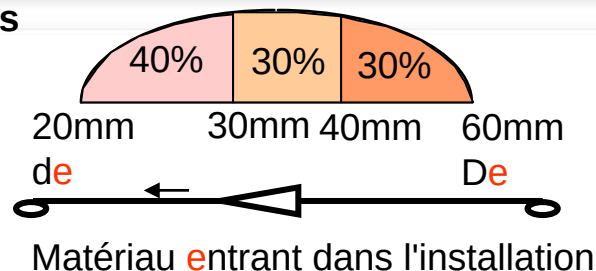


Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication



CARACTERISTIQUES COMPLEMENTAIRES INDICE DE CONCASSAGE ET RAPPORT DE CONCASSAGE

Concerne les matériaux alluvionnaires



IC = pourcentage de matériau > Ds dans le matériau d'origine

RC = de/Ds

RC= 1

RC= 2

IC= 30 Sortie 0/40
0/Ds

IC= 60 Sortie 0/30

IC= 100 Sortie 0/20

IC= 100 Sortie 0/10

Plus IC ↗ plus les grains se bloquent

Difficulté de compactage ↗

Traficabilité du chantier ↗

Plus RC ↗ plus les arêtes sont vives

Frottement interne ↗

Orniérage ↘



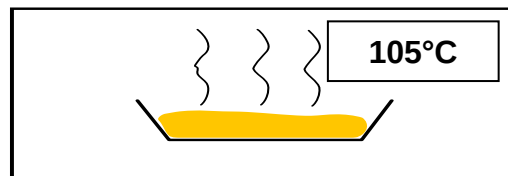
- La norme XP P 18-545 utilise d'autres essais pour caractériser l'angularité:
- NF EN 933-5: Visuel Détermination du pourcentage de surfaces cassées dans les gravillons
- NF EN 933-6: Coefficient d'écoulement des granulats



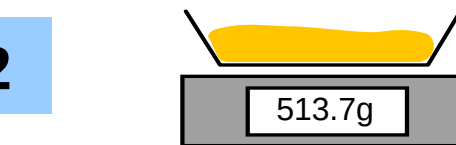


ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE

1



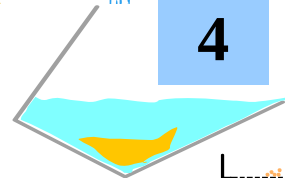
2



3



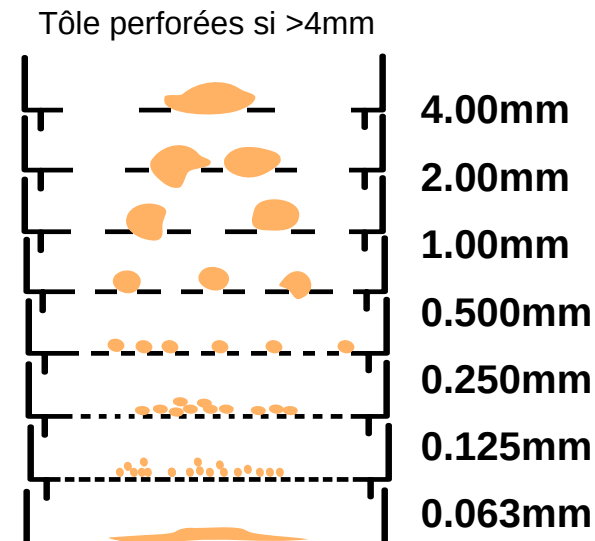
4



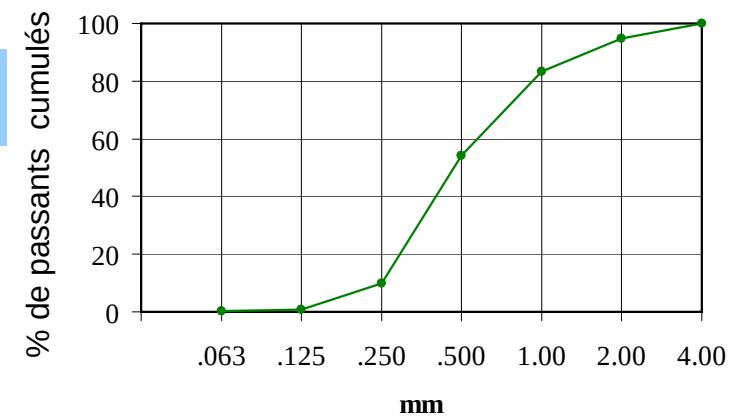
5

0.063mm

6



7





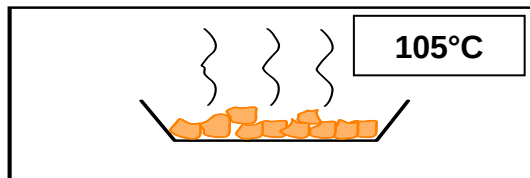
ESSAI LOS ANGELES (LA)



1

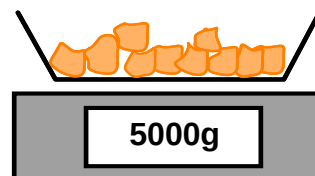


2

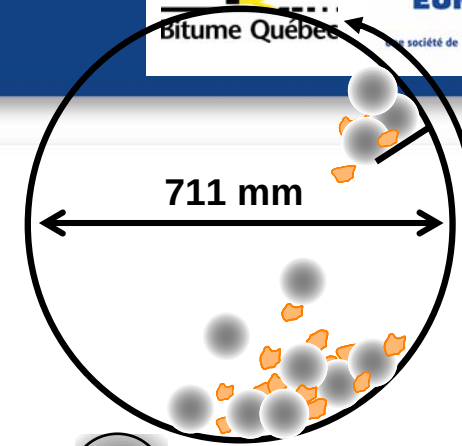


6

3

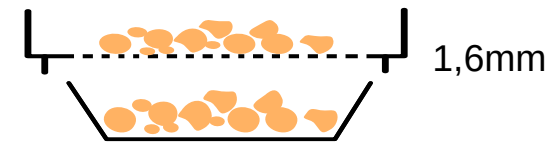


4

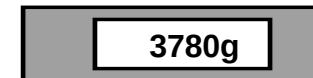


Pour 10/14: 11 x (47 mm , 430 g)

5



7



$$LA = \% < 1.6 \text{ mm}$$

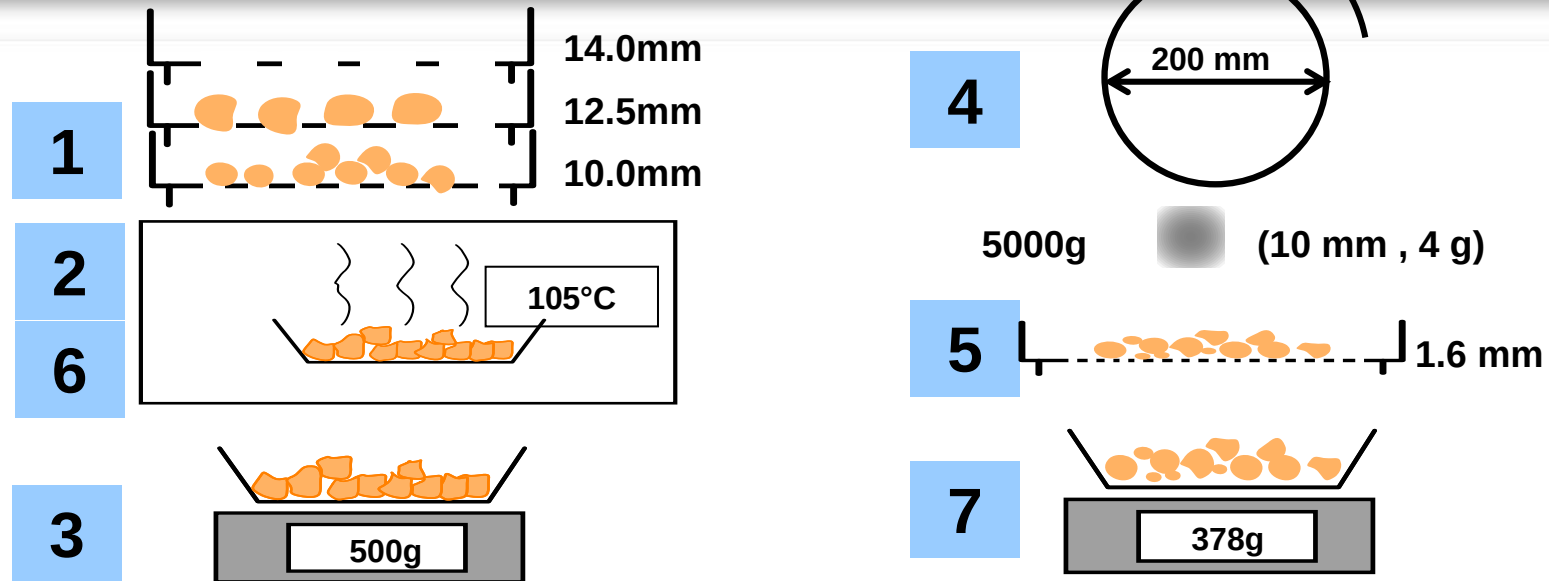
LA ↗ RESISTANCE ↘

- L'essai caractérise la résistance aux chocs d'une fraction d/D de granulats.
- Après lavage et séchage, 5000g de fraction d/D sont placés dans un tambour avec des boulets d'acier, et subissent 500 rotations.
- Le % passant à 1,6mm est alors déterminé. C'est la valeur Los Angeles.





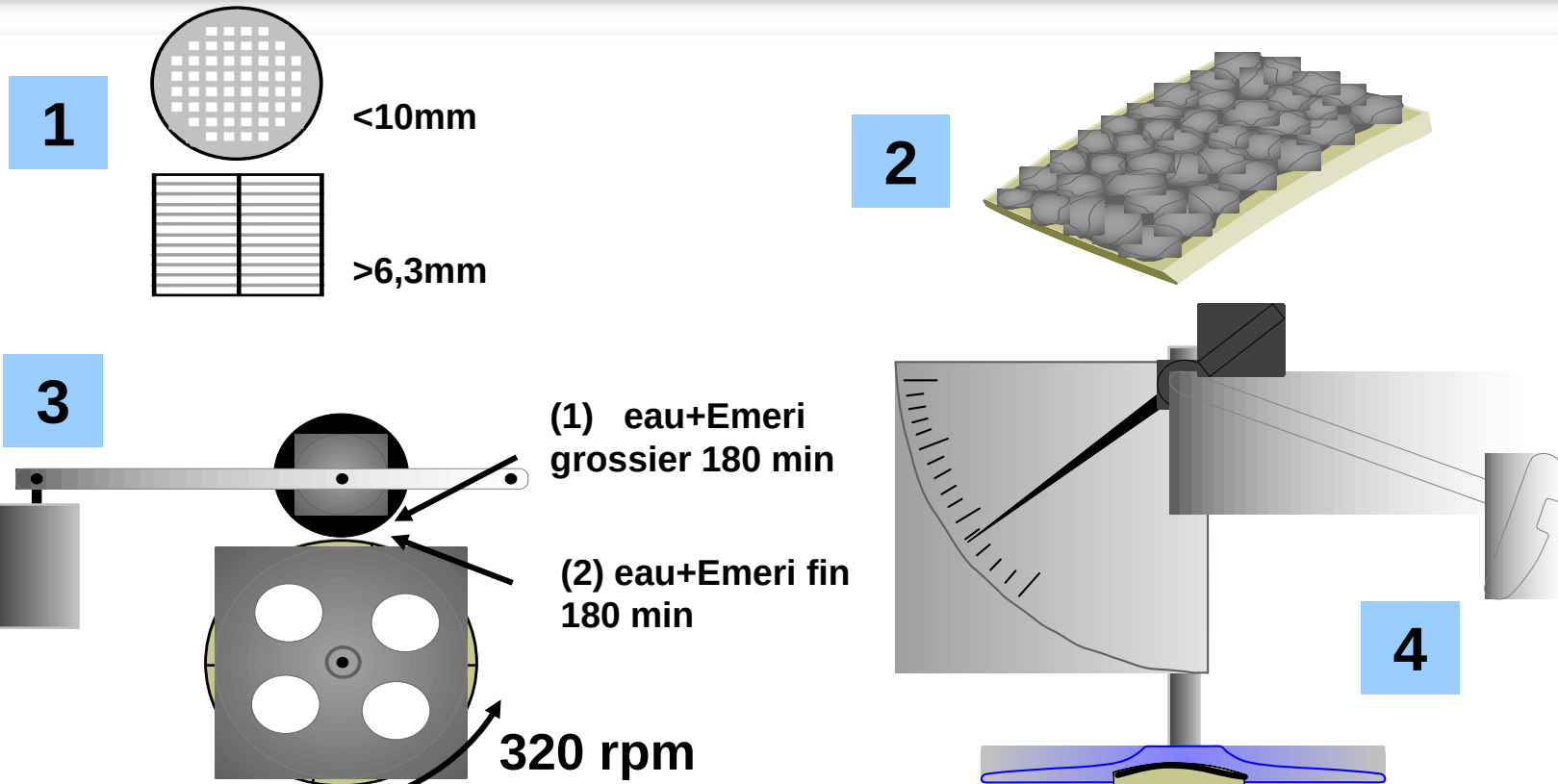
ESSAI MICRO DEVAL EN PRESENCE D'EAU (MDE)



$$\text{MDE} = \% < 1.6 \text{ mm}$$

- L'essai est réalisé sur une fraction d/D (10/14 sur l'exemple) de granulats coupés, lavés et séchés, recomposés par fraction.
- La prise d'essai de 500g est placée dans une jarre avec une charge abrasive de billes d'acier (5000g pour le 10/14) et 2,5 l d'eau.
- Après 2 heures et 12 000 rotations, la jarre est ouverte et la fraction résiduelle inférieure à 1,6 mm est récupérée, lavée, séchée et pesée.
- La valeur MDE est le % passant à 1,6mm.



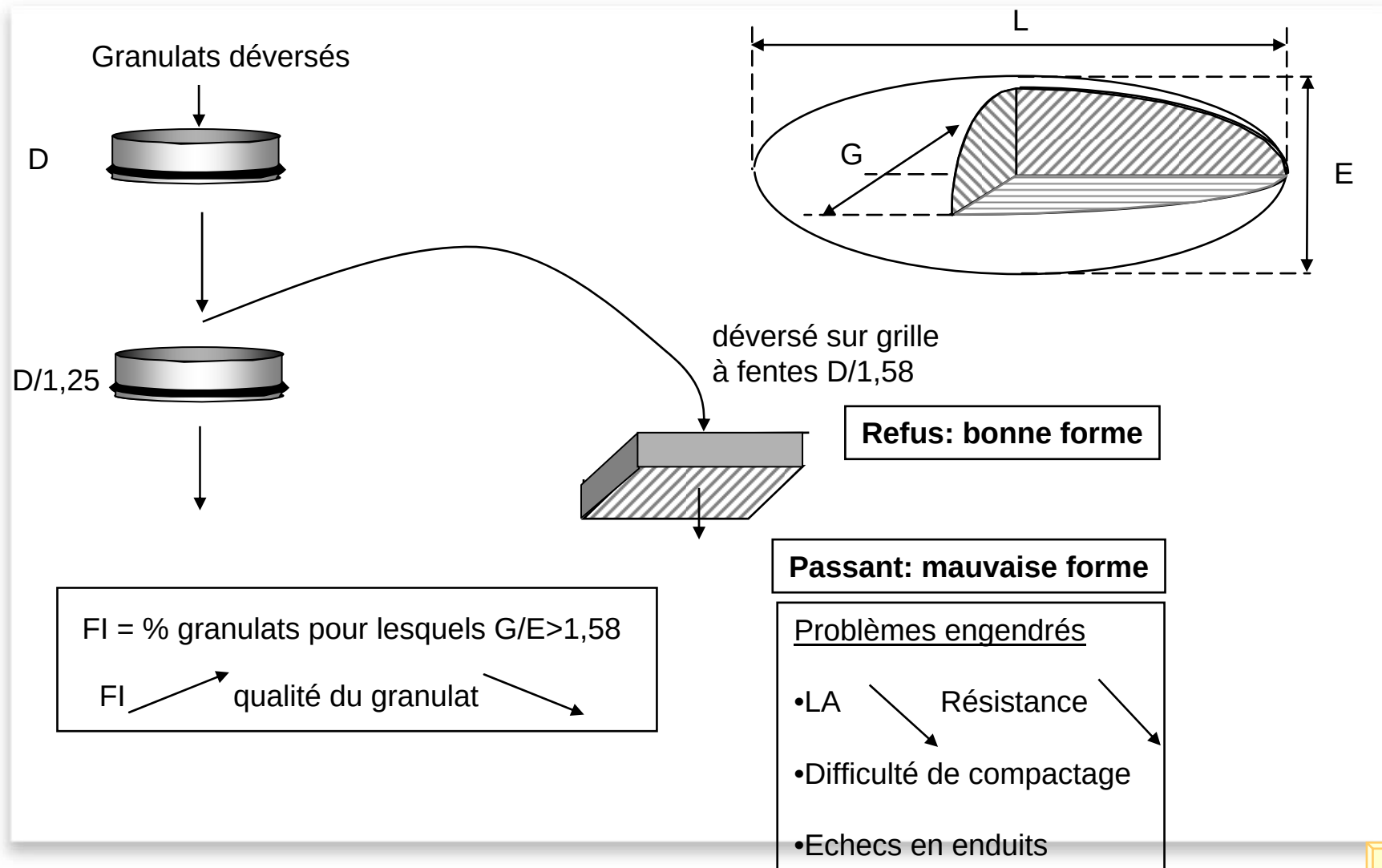


- L'essai est réalisé sur une fraction granulaire 6/10 calibré, déplaté.
- Après disposition des granulats dans un moule et collage avec de la résine, les éprouvettes subissent deux cycles de polissage, puis une mesure de rugosité résiduelle, à l'aide du pendule SRT, qui comparée à un granulat de référence, donne la valeur PSV du granulat ($45 < \text{PSV} < 65$).





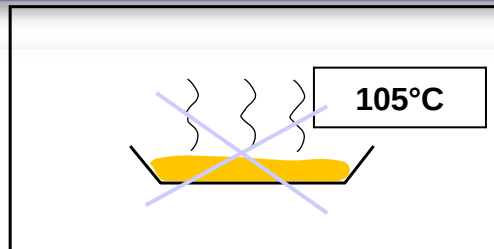
APLATISSEMENT FI





ESSAI D'EQUIVALENT DE SABLE

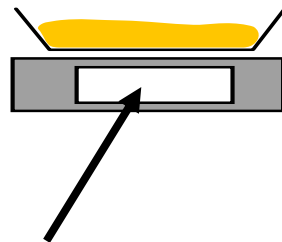
1



2

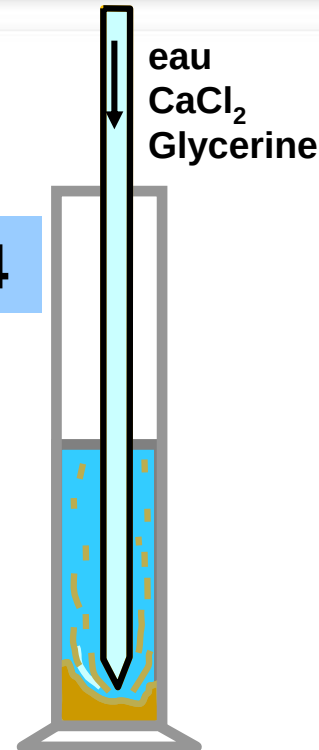


3

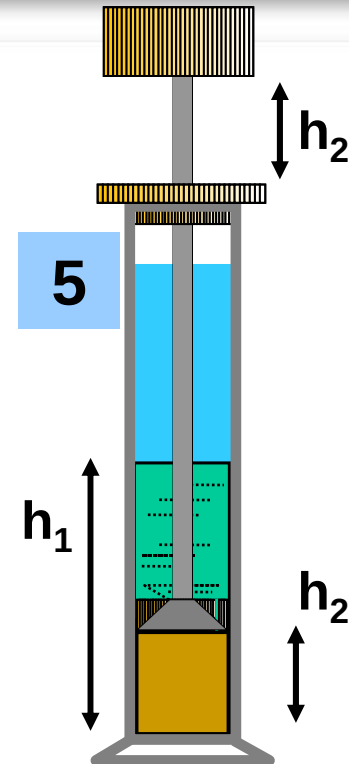


$120 (1 + w) \text{ g}$

4



5



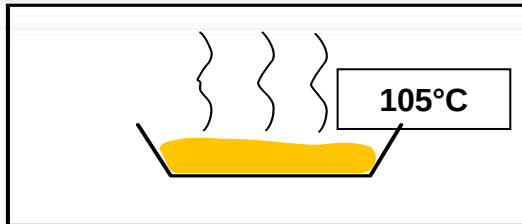
$$SE = 100 h_2 / h_1$$

- L'essai se fait sur la fraction 0/2 des sables et graves (120 g)
- Après un lavage normalisé, le sable et les fines floculées sont laissés reposer 20 minutes.
- On mesure la hauteur de sable sédimenté h_2 et la hauteur de sable propre plus fines floculées h_1 .
- Le rapport en pourcentage SE est d'autant plus proche de 100 que le sable testé est propre (pas d'argile ou d'ultra fines).

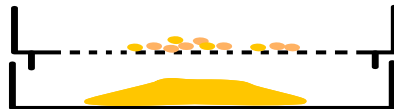


MASSE DE BLEU

1

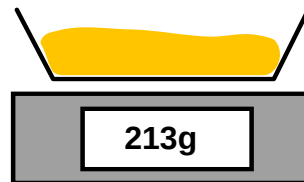


2



0/2 mm ou 0/0.125mm

3

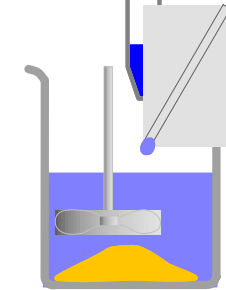


4

5

6

MB
10 g/L



5

4

2

3

$$MB = g (MB) / kg (0/2 \text{ sec})$$

- Le résultat est exprimé en g de bleu par kg de 0/2 sec.
- L'essai est réalisé sur la fraction 0/2mm des sables et graves, et caractérise l'activité argileuse des fines.
- La prise d'essai (environ 200g) est pesée, placée dans un bécher avec 500ml d'eau et le mélange est agité en permanence.
- La solution de bleu est ajoutée en doses de 5ml, jusqu'à saturation : apparition du halo bleu autour de la tâche sur le papier filtre.





Note du CFTR n°10 (2005)

**XP P 18-545 - ARTICLE 7 :
CHAUSSEES
COUCHES DE BASE , LIAISON ET FONDATION**

**XP P 18-545 - ARTICLE 8 :
CHAUSSEES
COUCHES DE ROULEMENT**

Catégories NF EN Spécifications complémentaires de la norme XP P 18-545

CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES

Codes		Los Angeles	Micro-Deval	Polissage accéléré	Codes	
-		LA ₂₀	M _{DE} 15	PSV 56	Anc	A ⁽¹⁾
B ⁽¹⁾	Bnc	LA ₂₅	M _{DE} 20	PSV 50	Bnc	B ⁽¹⁾
C ⁽¹⁾	Cnc				Cnc	C ⁽¹⁾
D ⁽¹⁾	Dnc				-	
E ⁽¹⁾	Enc	LA ₄₀	M _{DE} 35	-		

⁽¹⁾ Une compensation maximale de 5 points est possible entre les valeurs de LA et de M_{DE}

CARACTERISTIQUES DE FABRICATION DES GRAVILLONS

Codes	Granularité	à D et d	à D/1,4 ou D/2		Propreté	Aplatissement	Codes	
			NF EN 13242	NF EN 13043				
-	G _C 85/20 ⁽¹⁾	e 10	GT _C 25/15 ou GT _C 20/15 ou GT _C 20/17,5	G _{25/15} ou G _{20/15}	f _{0,5}	Fl ₁₅ ⁽⁸⁾	I	
						f _{0,5} ⁽³⁾	Fl ₂₀ ⁽⁷⁾	II
III	G _C 85/20 ⁽²⁾					f ₁ ⁽⁴⁾	Fl ₂₅ ⁽⁸⁾⁽⁹⁾	III
IV	G _C 80/20	e 15		-	f ₂ ⁽⁵⁾	Fl ₃₅	-	
V	Autres catégories de la norme NF EN 13242 : FTP renseignée							
⁽¹⁾ G _C 85/15 si emploi en formule discontinue			⁽³⁾ f ₁ si MB _F 10	⁽⁶⁾ Fl ₂₀ si D ≤ 6,3	⁽⁷⁾ Fl ₂₅ si D ≤ 6,3		Notes NF EN 13043	
⁽²⁾ G _C 80/20 pour GNT ou GTLH			⁽⁴⁾ f ₂ si MB _F 10	⁽⁸⁾ Fl ₃₀ si D ≤ 6,3			Notes NF EN 13242	
			⁽⁴⁾ f ₂ pour GNT ou GTLH	⁽⁵⁾ f ₄ si MB _F 10	⁽⁹⁾ Fl ₃₅ pour GNT et GTLH			



Note du CFTR n°10 (2005)

CARACTERISTIQUES DE FABRICATION DES SABLES ET GRAVES

Codes	Granularité		Propreté des éléments < 2 mm		Code
	NF EN 13242	NF EN 13043	SE ou	MB	
a	-	$G_{F85}^{(3)}$	SE_{60}	$MB_2^{(4)}$	a
b	G_{F85} $GT_{F10}^{(1)}$	G_{TC10}	SE_{50}	$MB_{2,5}$	-
c	G_{F80} $GT_{F10}^{(2)}$	-	SE_{40}	MB_3	
d	Autres catégories de la norme NF EN 13242 : FTP renseignée				
Notes NF EN 13242	⁽¹⁾ G_{A85} et GT_{A10} si $D > 6,3$ mm ⁽²⁾ G_{A80} et GT_{A10} si $D > 6,3$ mm		⁽³⁾ G_{A85} si $2 < D \leq 6,3$ mm ⁽⁴⁾ Implique l'appartenance à la catégorie MB_{F10}		Notes NF EN 13043

ANGULARITE DES GRAVILLONS ET DES SABLES D'EXTRACTION ALLUVIONNAIRE OU MARINE

Codes	Gravillons			Sables et graves	Codes
	Pourcentage de surfaces cassées (NF EN 933-5)		Essai d'écoulement (NF EN 933-6)		
	NF EN 13242	NF EN 13043	Alternatif ⁽¹⁾	NF EN 13043 ⁽²⁾	
Ang 1	-	C _{95/1}	E _{CG} 110	E _{CS} 38 ⁽³⁾	Ang 1
Ang 2	C _{90/3}	C _{90/1}	E _{CG} 105	E _{CS} 35	Ang 2
Ang 3	C _{50/10}	C _{50/10}	E _{CG} 95	E _{CS} 30	Ang 3
Ang 4	C _{NR/50}	-	E _{CG} 85	E _{CS} déclaré	Ang 4
⁽¹⁾ Sur la fraction granulaire 4/6.3, 6.3/10, 4/10 ou 10/14 la plus représentée		⁽²⁾ Sur la fraction 0/2 des sables et graves pour enrobés		⁽³⁾ E _{CS} 35 sous réserve d'une vérification à l'essai d'orniérage	



Utilisation des granulats

Usages Produits	Caractéristiques	Classes de trafic		
		≤ T3	T2 – T1	≥ T0
LIAISON BBSG, BBME	Caractéristiques intrinsèques des gravillons	code D	code C	
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	code III		
	Caractéristiques de fabrication des sables (1)	code a		
LIAISON BBM	Caractéristiques intrinsèques des gravillons	code C		
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	code III		
	Caractéristiques de fabrication des sables(1)	code a		
BASE, FONDATION GB, EME	Caractéristiques intrinsèques des gravillons	code D		code C
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	code III		
	Caractéristiques de fabrication des sables(1)	code a		



Utilisation des granulats

Produits	Caractéristiques	Classes de trafic		
		≤ T3	T2 – T1	≥ T0
BBSG BBME BBM	Caractéristiques intrinsèques des gravillons	code C	code B	
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	code III		
	Caractéristiques de fabrication des sables(1)	code a		
	Angularité des gravillons et des sables alluvionnaires	code Ang 1		
BBDr BBTM BBUM	Caractéristiques intrinsèques des gravillons	code B		
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	code II		
	Caractéristiques de fabrication des sables(1)	code a		
	Angularité des gravillons et des sables alluvionnaires	code Ang 1		
BBS	Caractéristiques intrinsèques des gravillons	code C		
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	code III		
	Caractéristiques de fabrication des sables(1)	code a		
	Angularité des gravillons et des sables alluvionnaires	code Ang 3		



Les liants hydrocarbonés

B
Bitume Québec

EUROVIA
Une société de VINCI





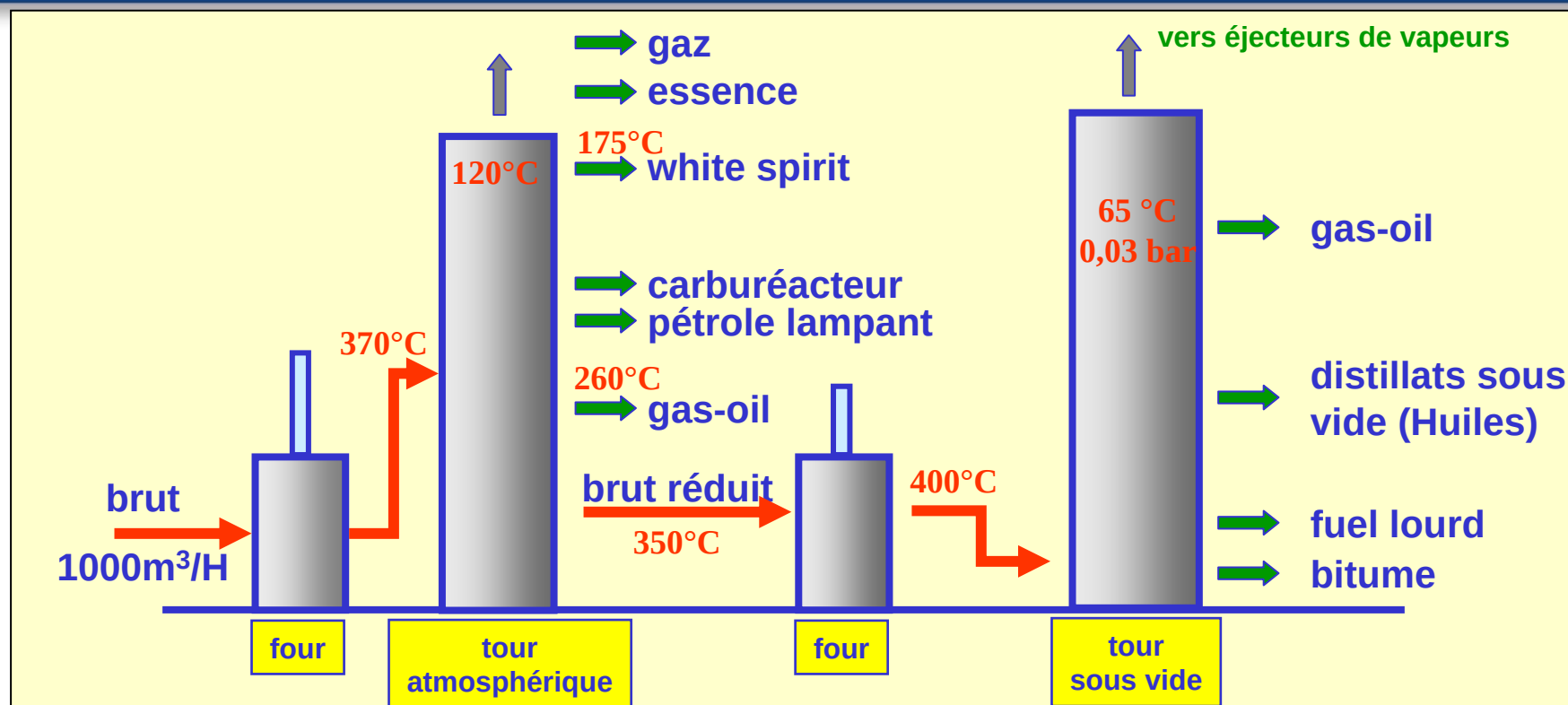
- **LIANT** : substance pour rassembler et maintenir réunies les particules
- **Colle pour** :
 - agglomérer des granulats (enrobés)
 - fixer des gravillons (enduits)
 - Imperméable pour étancher
- **HYDROCARBONÉ** : carbone + hydrogène
 - Liant noir (par opposition aux liants hydrauliques « blancs »)
- **ORIGINE**
 - Végétale : goudron (pyrogénéation de la houille)
 - Animale : bitume
 - bitume natif (asphalte naturel)
 - raffinage du pétrole



- **Connu depuis l'antiquité**
- **Aujourd'hui, provient essentiellement du pétrole**
- **PROPRIÉTÉS FONDAMENTALES**
 - **Adhésif thermoplastique**
 - **Imperméable à l'eau**
 - **Viscoélastique**
 - **Chimiquement peu réactif**
 - **Non toxique (contrairement au goudron et dérivés)**



LE BITUME : distillation



Distillation atmosphérique

Brut →

- .Gaz
- .Essences
- .Kerosenes
- .Gazoles
- .Résidu atmosphérique = Fioul (< 400°C)

Distillation sous vide (< 50 mm Hg)

Fioul →

- .Gazole léger
- .Distillat léger
- .Distillat lourd
- .Bitume

Distillation directe

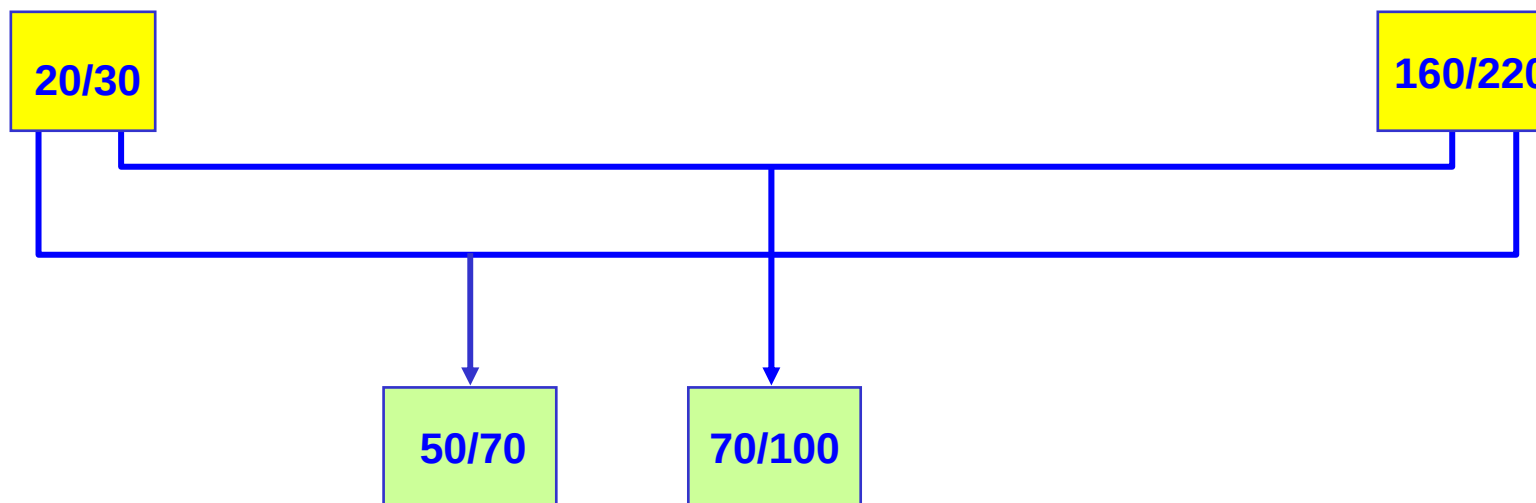
Désasphaltage

Mélange



En faisant varier Pression, Température et Débit : obtention des différents grades

Certificats de conformité : la fraction du mélange est vérifiée



Certificats de qualité : le grade du bac est contrôlé

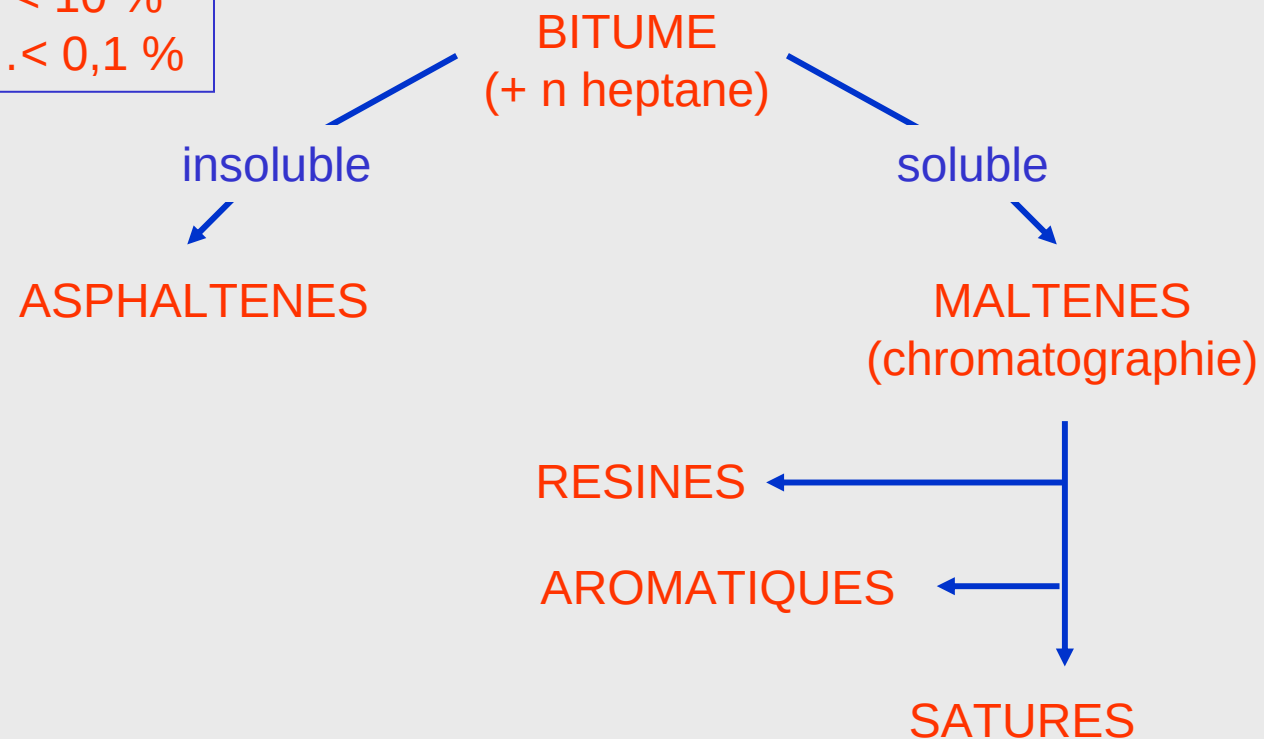


COMPOSITION DES BITUMES

Composition chimique

- Carbone $\approx 80 \%$
- Hydrogène $\approx 10 \%$
- S, O, N, ... $< 10 \%$
- V, Ni, Fe, ... $< 0,1 \%$

Composition générique





Le comportement mécanique dépend non seulement de la température et
mais aussi du temps de charge

Solide élastique
•basse température
•faibles temps de charge

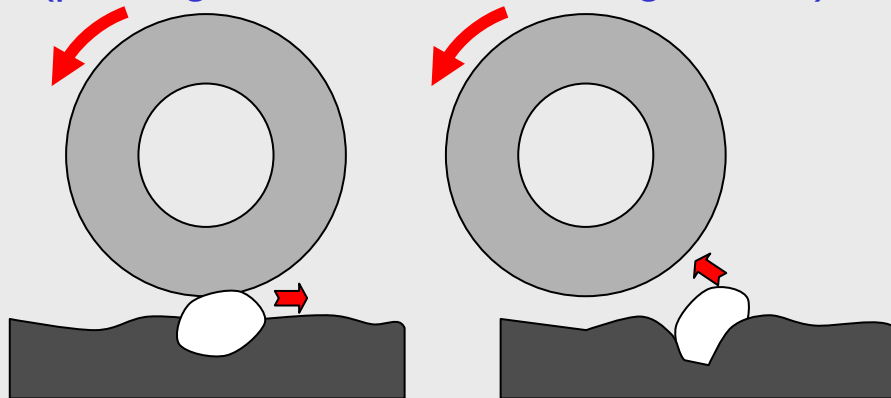
GEL



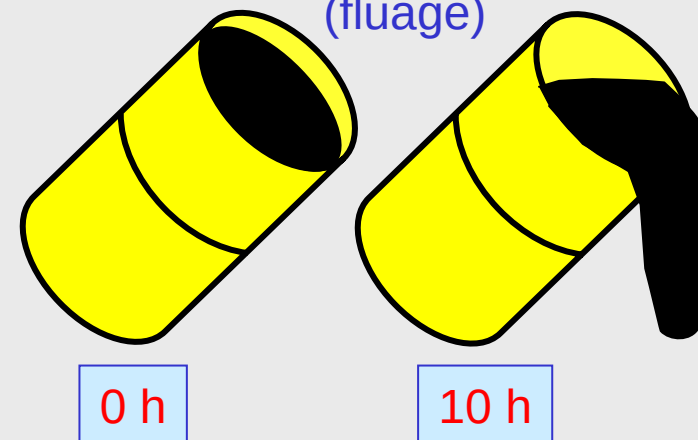
Liquide visqueux
•haute température
•longs temps de charge

SOL

Réponse élastique
(passage d'une roue sur un gravillon)



Réponse visqueuse
(fluage)





<u>Bitumes purs</u>	de distillation directe, aucun ajout destiné à en modifier la consistance.
<u>Bitumes durs</u>	de grade inférieur au 20/30 (au sens de la norme EN 12591), souvent obtenus par « soufflage à l'air » après distillation directe.
<u>Bitumes modifiés</u>	▪ ajout d'agents chimiques (caoutch., polymères,...) destinés à modifier les propriétés rhéologiques
<u>Bitumes spéciaux</u>	obtenus selon un procédé spécial en raffinerie, liants de synthèse (liants « multigrade », liants clairs,
<u>Bitumes oxydés</u>	réaction avec l'air à température élevée + catalyseur (usage industriel)
<u>Bitume fluxés</u>	▪ amollis par l'addition d'huile de fluxage de faible volatilité (origine pétrolière essentiellement)



IL FAUT ABAISSER LA VISCOSITE

TECHNIQUE DE MISE EN ŒUVRE

OBTENTION DU LIANT FINAL

Chauffage



Refroidissement

Mélange
avec un fluxant



Evaporation partielle
du fluxant

Mise en émulsion



Rupture de l'émulsion
Coalescence/Evacuation de l'eau

Mousse de bitume



Injection d'air et d'eau lors de
l'utilisation



- **CARACTERISATION CONVENTIONNELLE**

Basée essentiellement sur des essais « empiriques » validés pour les bitumes purs par l'observation du comportement in-situ.

- **CARACTERISATION « AVANCEE »**

Recherche d'essais mesurant effectivement un niveau de performance en relation avec les diverses fonctionnalités de la chaussée (*capacité portante, résistance à l'orniérage, la fatigue, au vieillissement, ...*)

Cette caractérisation est basée sur la mesure de grandeurs « rhéologiques »

(la rhéologie est la science traitant de l'écoulement des matériaux sous l'effet de diverses sollicitations)



Les systèmes « conventionnels » de caractérisation, développés pour les bitumes purs, couvrent trois types de propriétés :

■ **CONSISTANCE (fonction de la température)**

- Pénétrabilité
- Point de Ramollissement Bille & Anneau
- Point de FRAASS
- Viscosité

■ **PROPRIETES SPECIFIQUES**

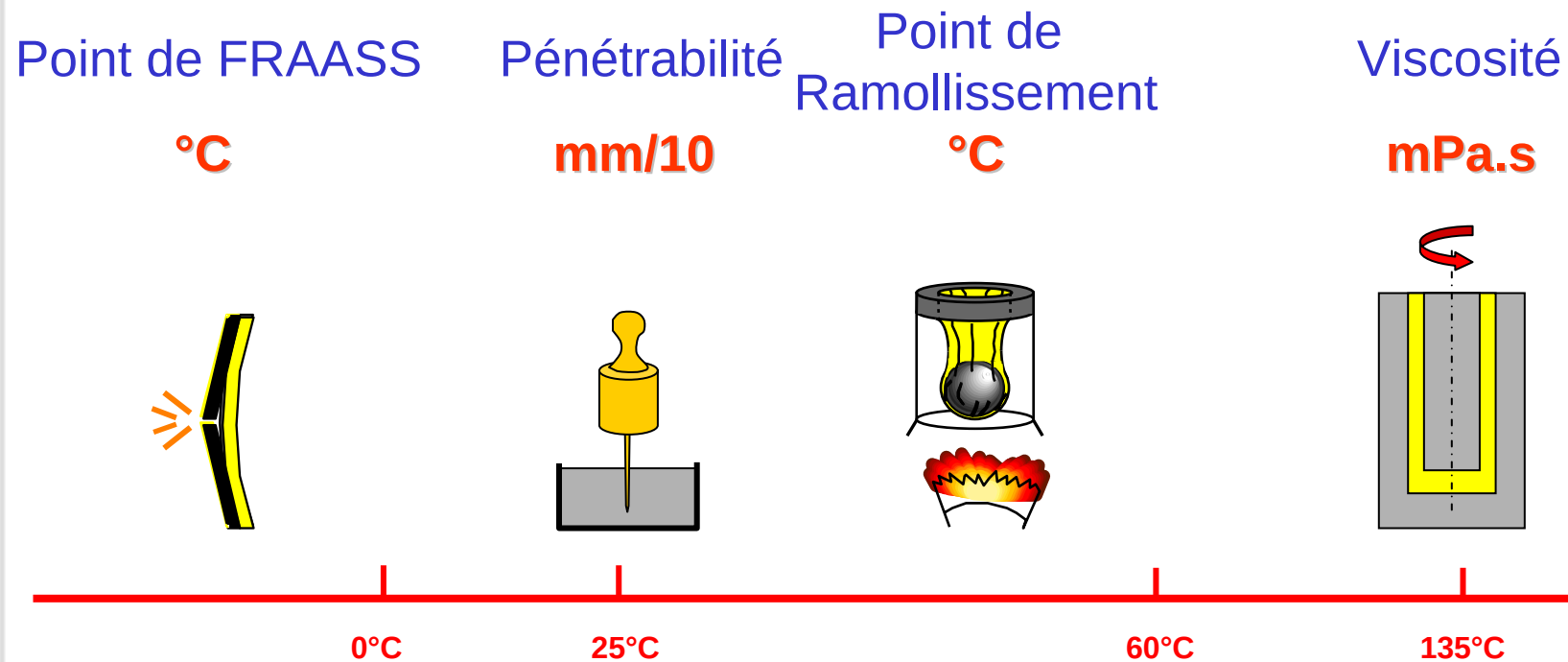
- Tenue au vieillissement
- Teneur en paraffines (susceptibilité thermique, adhésivité)

■ **PROPRIETES LIEES A LA MISE EN OEUVRE**

- Densité
- Point d 'éclair
- Teneur en insolubles
- Viscosité

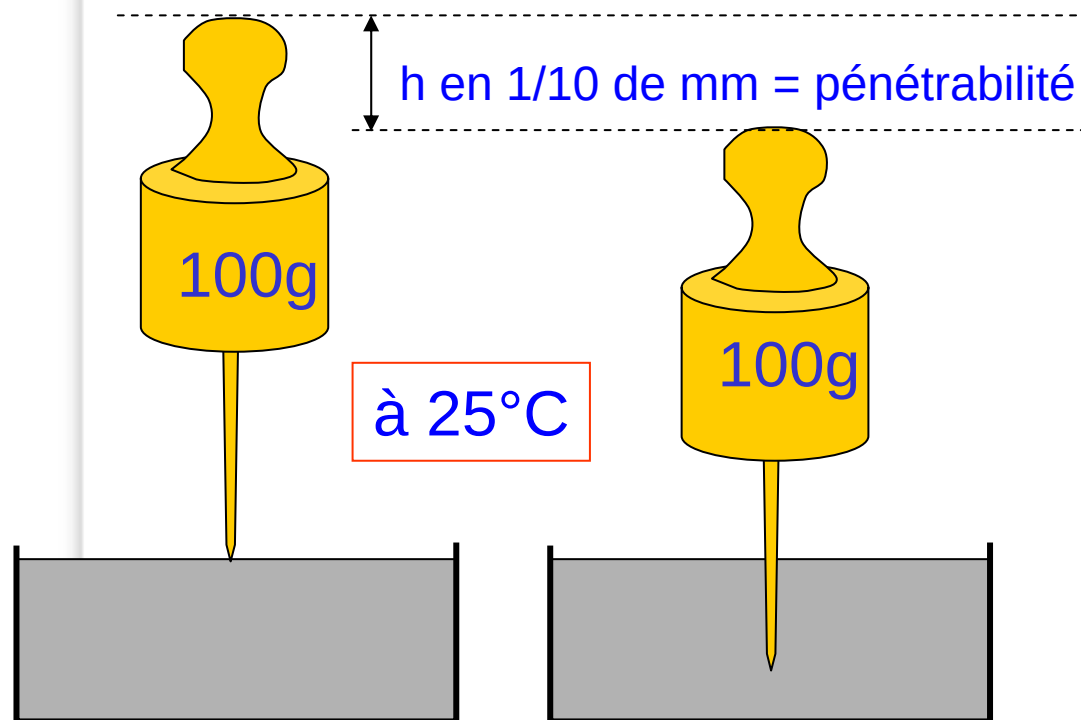


LA CONSISTANCE DÉPEND DE LA TEMPÉRATURE !





LE BITUME : essai de pénétrabilité Norme EN 1426



avant

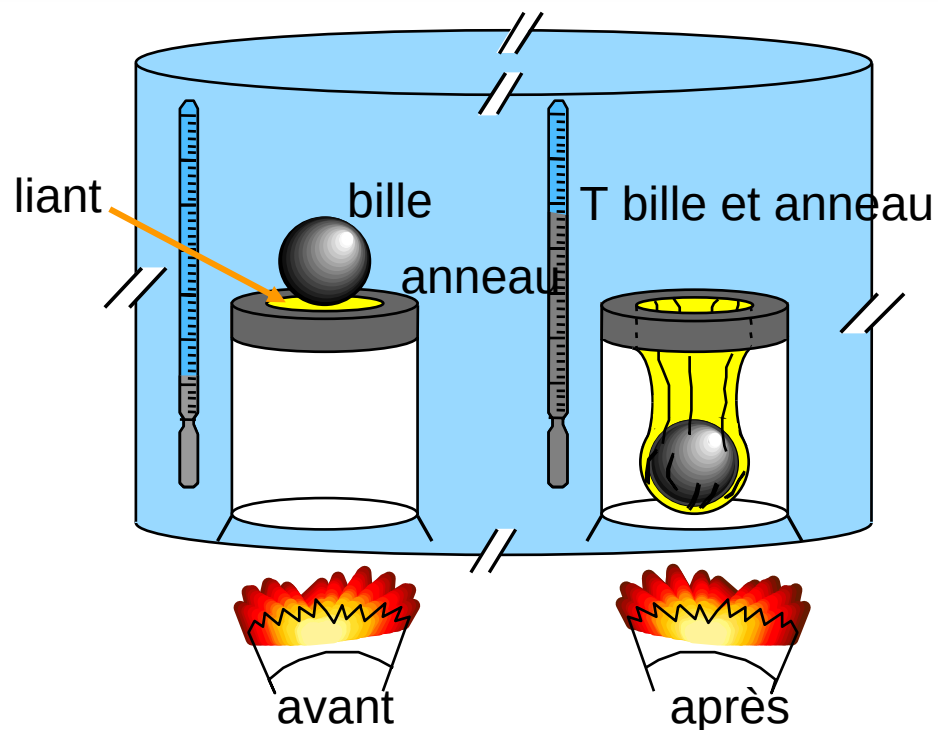
après 5 secondes

Classes	20/30	35/50	50/70	70/100	160/220
Péné (1/10mm)	20/30	35/50	50/70	70/100	160/220



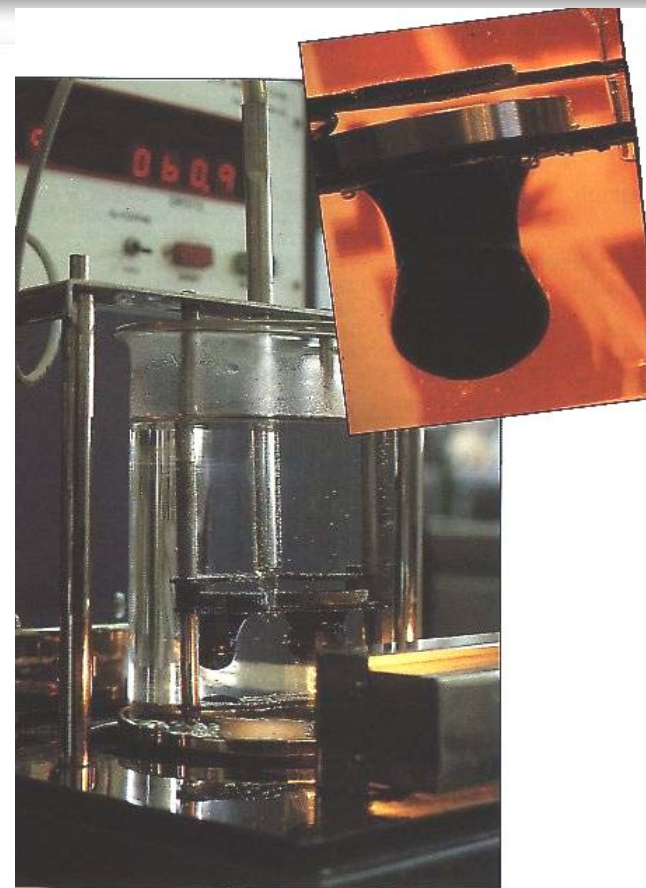


LE BITUME : essai bille et anneau Norme EN 1427



T début = 5°C

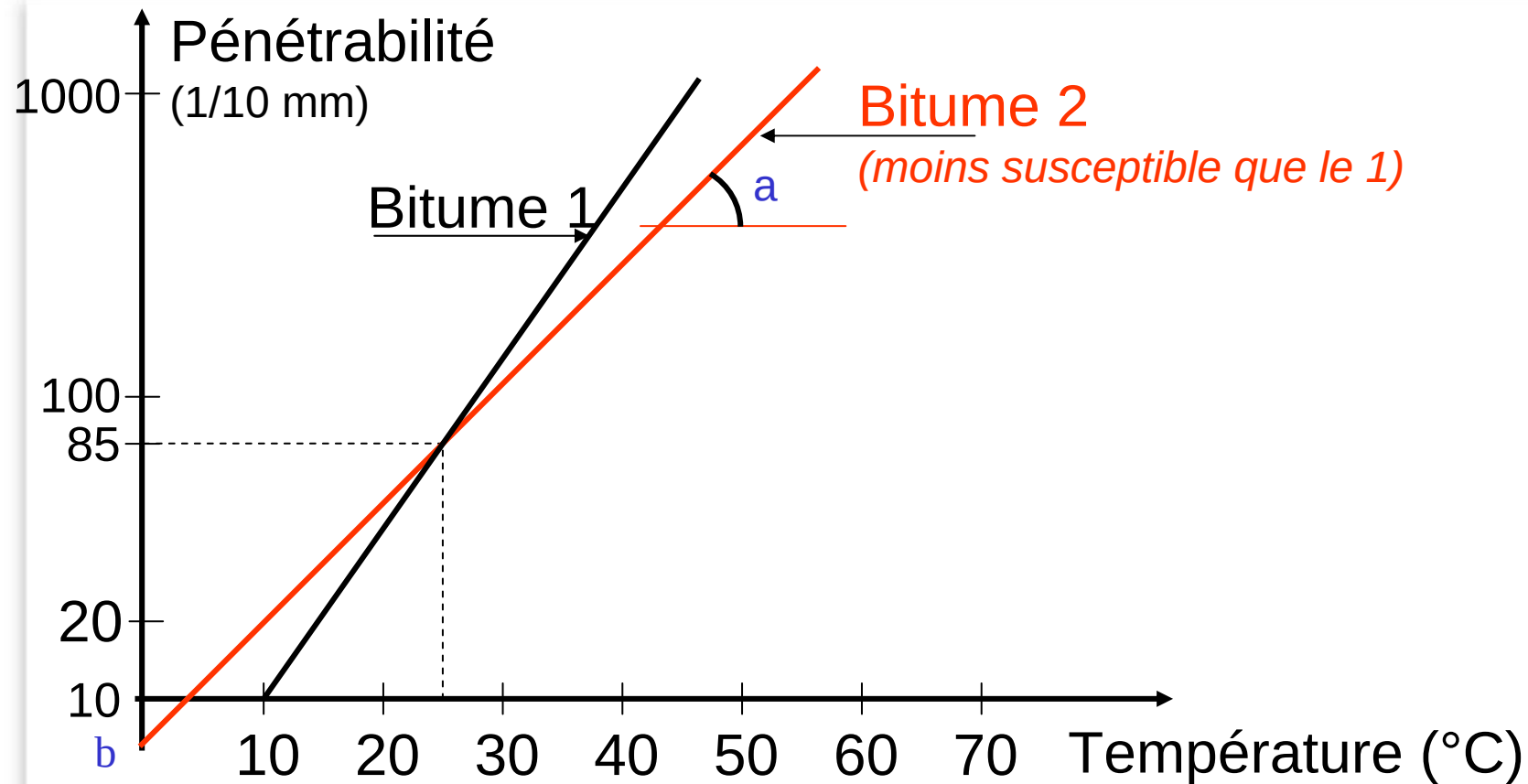
Chauffage + agitation
(+ 5°C/min)



Classes	20/30	35/50	50/70	70/100	160/220
TBA (°C)	55/63	50/58	46/54	43/51	35/43



L'indice de pénétrabilité du bitume



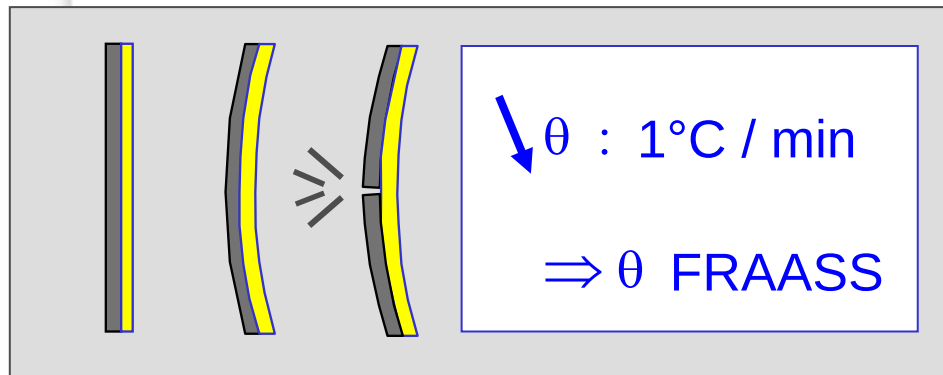
$$\log P = aT + b \quad \frac{\log P_1 - \log P_2}{T_1 - T_2} = \frac{1}{50} \times \frac{20 - IP}{10 + IP} \quad IP = \frac{20 - 500a}{50a + 1}$$

Permet de mesurer la susceptibilité thermique des bitumes



LE BITUME : essai de FRAASS EN 12593

Film de bitume sur une lame d'acier



Refroidissement de l'échantillon,
puis flexions successives
à différentes températures

Cet essai n'est pas retenu au niveau français

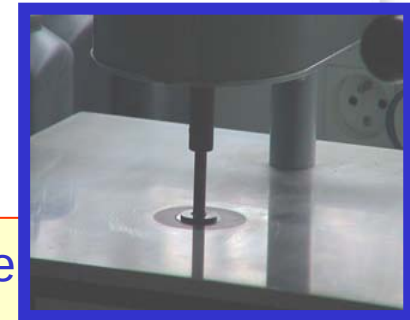




Viscosité : propriété d'un fluide d'opposer une résistance à tout déplacement ou changement de forme

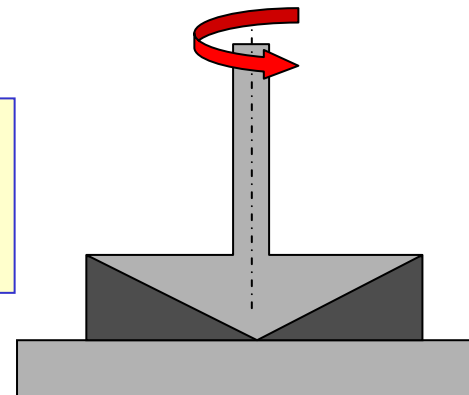


Viscosité $\eta = \text{Contrainte de Cisaillement} / \text{taux de cisaillement}$
 $= (F/S) / (V/e)$ en mPa.s (Cpo –centipoise)

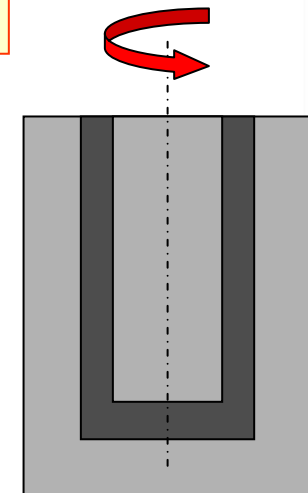


Viscosité préconisée (bitumes purs):

- Enrobage : 150 mPa.s
- Limite pompabilité : 1500 mPa.s



Cône - plan

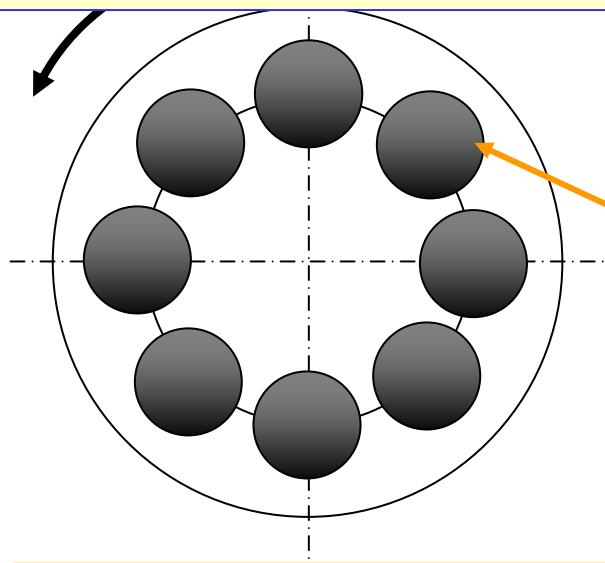


Cylindres coaxiaux



LE BITUME : essai RTFOT

RTFOT = Rolling thin film – oven test
Norme NF EN12607-1



Bouteilles porte échantillon

thermocouple

Arrivée d'air

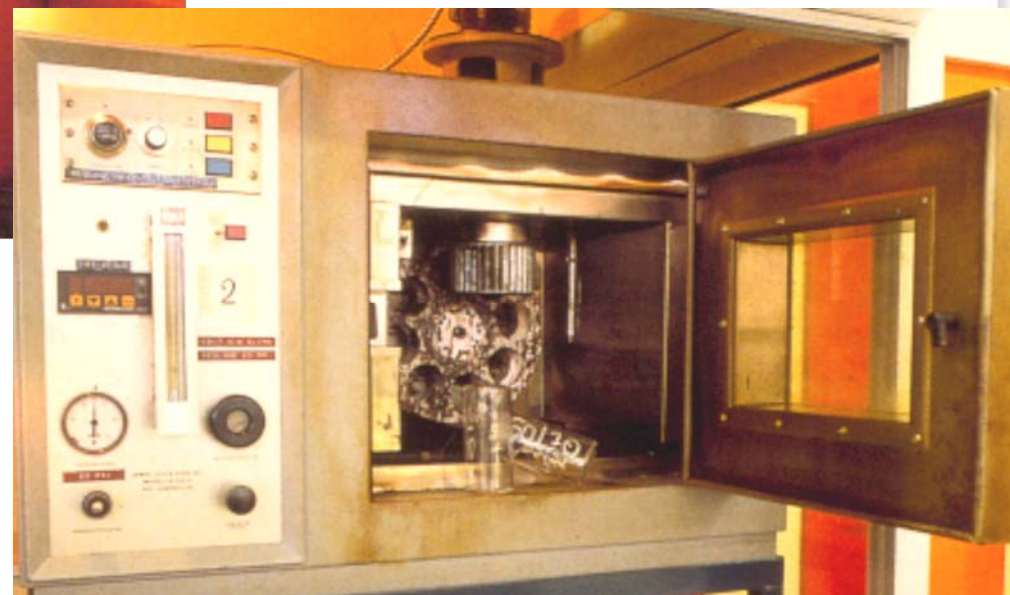
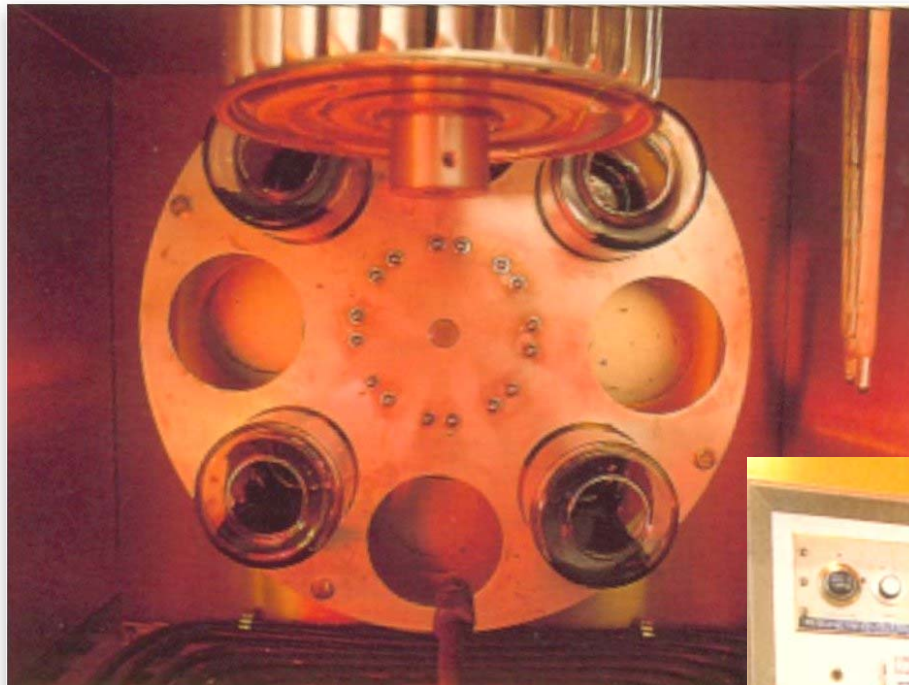
Etuve

Conditions : $m = 35 \text{ g}$ $T = 163^\circ\text{C}$ 15 tours/min - 75 min
débit de l'air = 4 l/min

Classes	20/30	35/50	50/70	70/100	160/220
Variation de masse, maximum, $\pm$ (%)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Pénét. restante après durciss., minimum (%)	55	53	50	46	37
Point de ram. après durciss., minimum ($^\circ\text{C}$)	57	52	48	45	37
Augmentation du point de ram., maximum ($^\circ\text{C}$)	8	8	9	9	11



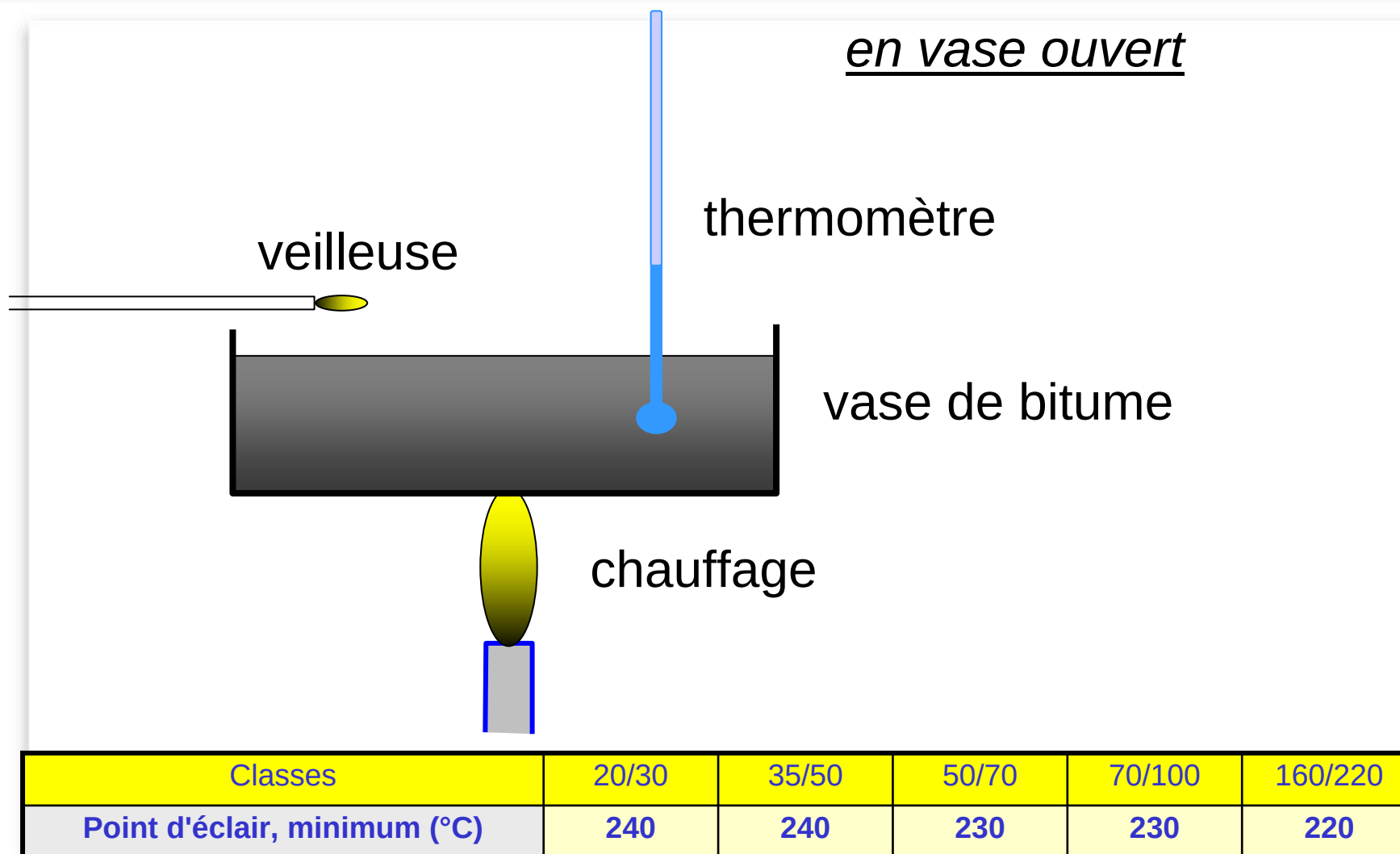
Essai RTFOT





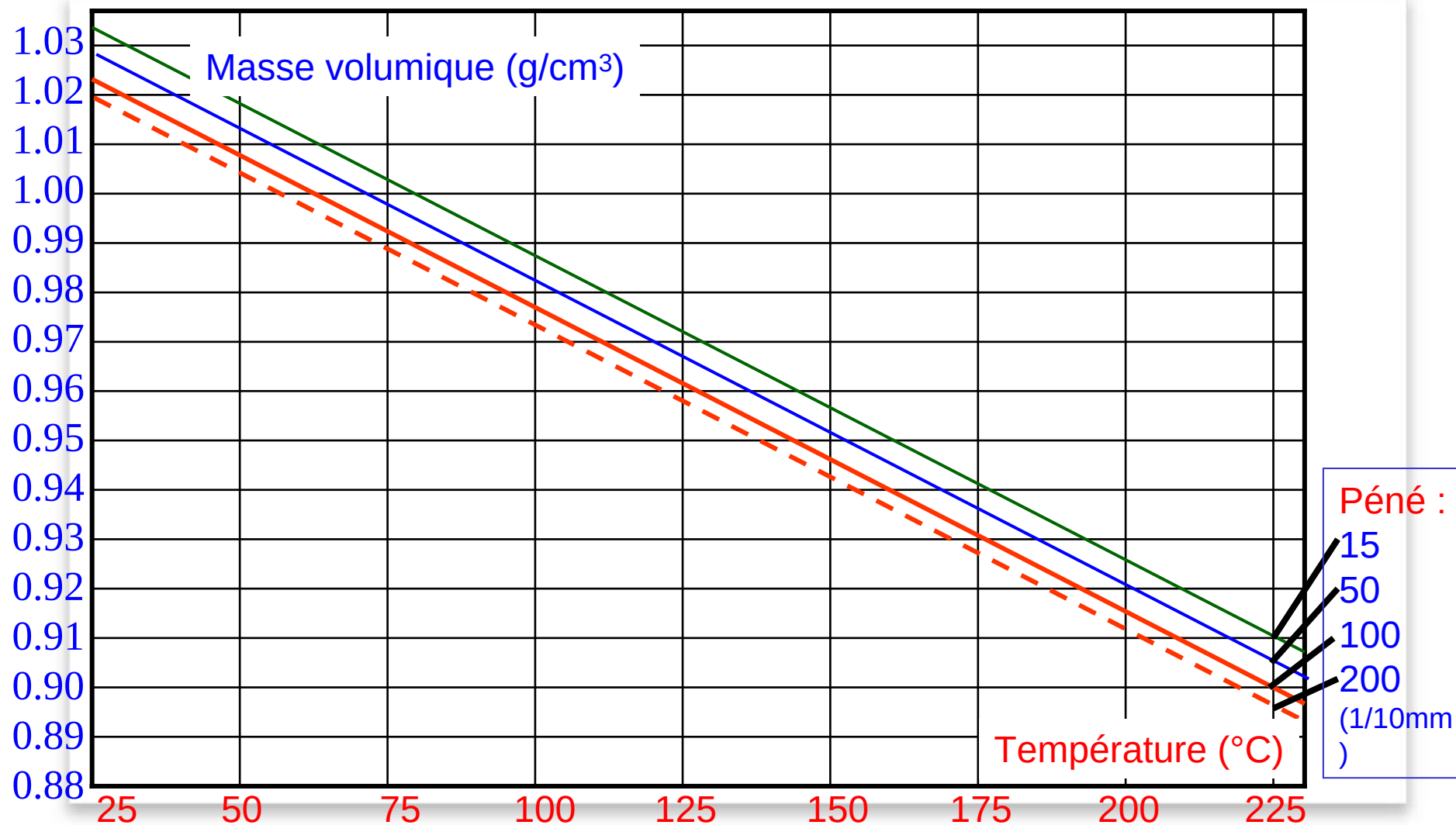
LE BITUME : point d'éclair

Norme NF EN 22592





Corrélation densité - température





LE BITUME : les classes

Norme NF EN 12591



Caractéristiques	U	Méthode normalisée de référence	Classes les plus appropriées en France				
			20/30	35/50	50/70	70/100	160/220
Pénétrabilité à 25 °C	1/10mm	EN 1426	20-30	35-50	50-70	70-100	160-220
Point de ramollissement	°C	EN 1427	55-63	50-58	46-54	43-51	35-43
Résistance au durcissement RTFOT à 163 °C		EN 12607-1					
- variation de masse, maximum ±	%	EN 12607-1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
- pénétrabilité restante après durcissement, minimum	%	EN 1426	55	53	50	46	37
- point de ramollissement après durcissement, minimum	%	EN 1427	57	52	48	45	37
-augmentation du point de ramollissement, maximum	°C	EN 1427	8	8	9	9	11
Point d'éclair, minimum	°C	EN 22592	240	240	230	230	220
Solubilité, minimum	%(m/m)	EN 12592	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
Teneur en paraffines, maximum	%(m/m)	EN 12606-2	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5

Une norme (prEN 13924) concernant les bitumes durs (10/20 et 15/25) est en préparation



Bitumes purs : Conditions nationales particulières Classes de pénétrabilité de 20 à 330 Norme NF EN 12591



	Unité	Méthode d'essai	Classes									Pays dans lesquels les propriétés s'appliquent
			20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220	250/330	
Teneur en paraffines,maximum	%m/m	EN 12606-1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	AT,DK,DE,FR,GR
		EN 12606-2	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	
Viscosité dynamique à 60 °C, minimum	Pa-s	EN 12596	440	260	225	175	145	90	55	30	18	AT,DK,IS,NL,NO, CH,SE
Viscosité cinématique à 135 °C, minimum	mm²/s	EN 12595	530	400	370	325	295	230	175	135	100	AT,BE,DK,GB,IS, FI,NL,NO,PT,CH,SE
Point de Fragilité Fraass, maximum	°C	EN 12593		-5	-5	-7	-8	-10	-12	-15	-16	AT,BE,CZ,DK,ES,FI, DE,IS,IT,NO,CH,SE
Résistance au durcissement Une des options suivantes peut être choisie :		EN 12607-1 ou EN 12607-3										
1-Augmentation du point de ramollissement, maximum	°C	EN 1427	8	8	8	9	9	9	10	11	11	AT,DK,FR,DE,IS, NO,PT,SE
2-Augmentation du point de ramollissement, maximum et du point de Fraass, maximum	°C	EN 1427 EN 12593	10	11 -5	11 -5	11 -7	11 -8	11 -10	12 -12	12 -15	12 -16	CZ,IT
3-Augmentation du point de ramollissement, maximum et de l'indice de pénétrabilité minimum maximum	°C	EN 1427 annexe B	10 -1,5 +0,7	11 -1,5 +0,7	11 -1,5 +0,7	11 -1,5 +0,7	11 -1,5 +0,7	11 -1,5 +0,7	12 -1,5 +0,7	12 -1,5 +0,7	12 -1,5 +0,7	BE,ES,NL,CH,GR



Bitumes durs : pr EN 13924

Exigence Essentielle	Caractéristique de remplacement	Méthodes d'essai	Unité	Classes				
				0	1	2	3	4
Consistance à température intermédiaire de service	Pénétrabilité à 25 °C	EN 1426	0,1 mm	NPD	TBR	15 à 25 ^f	10 à 20	
Consistance à température élevée de service	Point de ramollissement ^d	EN 1427	°C	NPD	TBR	55 à 71 ^{d-f}	58 à 78 ^d	60 à 76 ^d
	Viscosité dynamique à 60 °C	EN 12596	Pa.s	NR	TBR	≥ 550 ^f	≥ 700	
Durabilité (Résistance au durcissement à 163 °C, EN 12607-1) ^b	Variation de masse	EN 12607-1	%	NPD	TBR	≤ 0,5		
	Pénétrabilité résiduelle	EN 1426	%	NPD	TBR	≥ 55		
	Point de ramollissement après durcissement	EN 1427	°C	NPD	TBR	≥ Orig. Min. +2 ^g		
	Augmentation du point de ramollissement	EN 1427	°C	NPD	TBR	≤ 8	≤ 10	
	Augmentation du point de ramollissement, et Indice de pénétrabilité avant l'essai (c-à-d sur le bitume initial)	EN 1427 Calcul de l'I _p (voir Annexe A)	°C	NR	TBR	≤ 10 de -1,5 à +0,7	≤ 10 ≤ -1,5	
Autres propriétés^c	Viscosité cinématique à 135°C	EN 12595	mm²/s	NR	TBR	≥ 600 ^f	≥ 700	
	Point de fragilité Fraass	EN 12593	°C	NR	TBR	≤ 0 ^f	≤ 3	
	Point d'éclair ^e	EN ISO 2592	°C			≥ 235	≥ 245	
	Solubilité	EN 12592	% fraction massique	NR	TBR	≥ 99,0		



- Augmentation de la viscosité
- Amélioration de la cohésion
- Diminution de la susceptibilité thermique
- Amélioration des propriétés rhéologiques
- Amélioration de l'adhésivité passive (meilleure résistance au désenrobage sur la chaussée)



- **Polymère:** Un polymère est une substance constituée de macromolécules dont la structure est caractérisée par la répétition d'un ou plusieurs motifs monomères
- **Copolymère:** Un copolymère est un polymère particulier renfermant plusieurs monomères différents. Par exemple, le copolymère EVA est composé de monomères d'éthylène et d'acétate de vinyle.
- **Réticulation:** La réticulation est la formation de liaisons chimiques suivant les différentes directions de l'espace, qui conduit à la formation d'un réseau.



BITUMES POLYMERES

Les polymères les plus utilisés



THERMOPLASTIQUES ELASTOMERES

Copolymères Styrène-Butadiène : SBS / SB / SBR / SEBS

Copolymère Styrène-Isoprène-Styrène : SIS

THERMOPLASTIQUES PLASTOMERES

Copolymères d'éthylène : EVA / EMA / EBA

Polyisobutylène : PIB (amélioration prop. à froid)

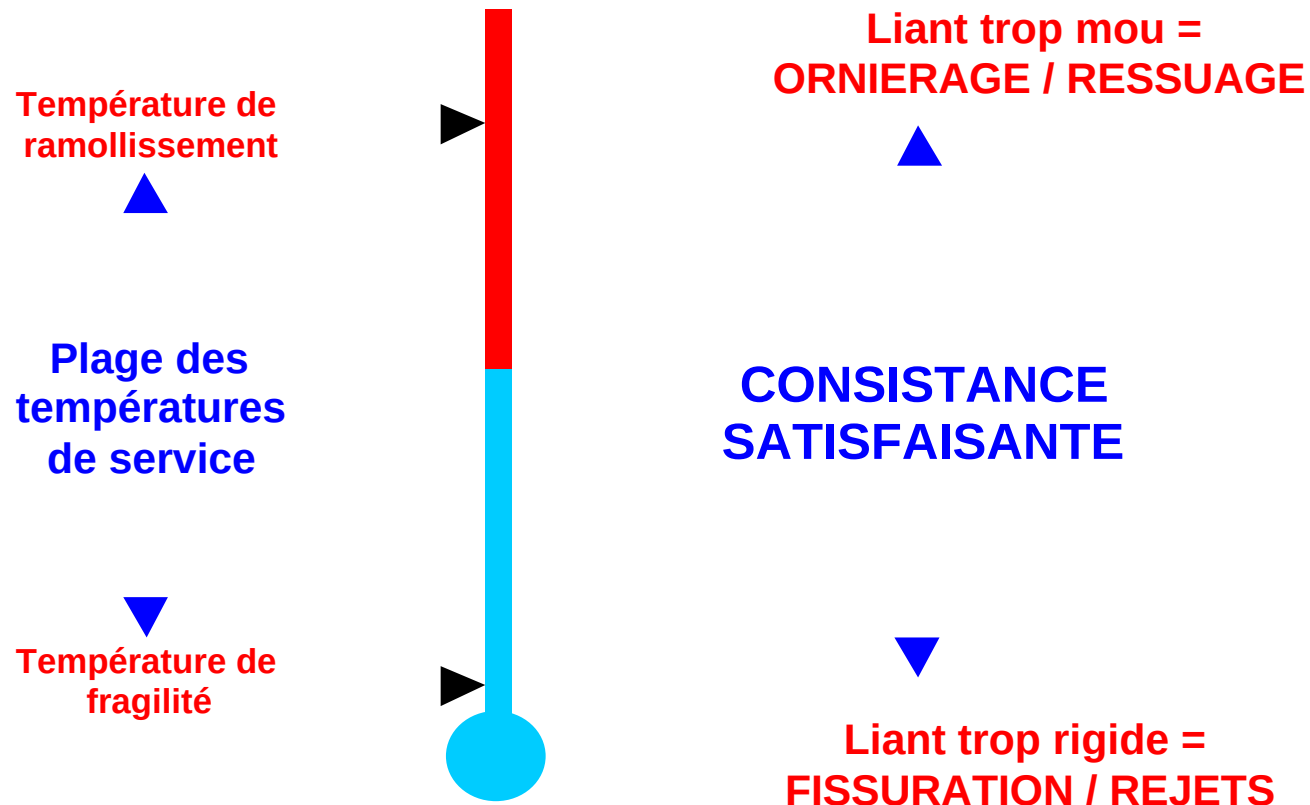
LATEX (Emulsion de caoutchouc)

Polychloroprène / SBR / Caoutchouc naturel

Additif : POUDRETTE DE CAOUTCHOUC
(Recyclage des pneumatiques)



LA NOTION D'INTERVALLE DE PLASTICITE





- **enduits superficiels (bitumes fluxés ou émulsions)**
 - fort trafic
 - forte sinuosité
 - réduction des risques d'échec dans des conditions d'applications limitées
- **couches d'accrochage (émulsions)**
- **enrobés (liants chauds)**
 - BBD_r, BBUM, BBT_m
- **procédés spéciaux**
 - complexes anti-remontée de fissures
 - membranes d'étanchéité

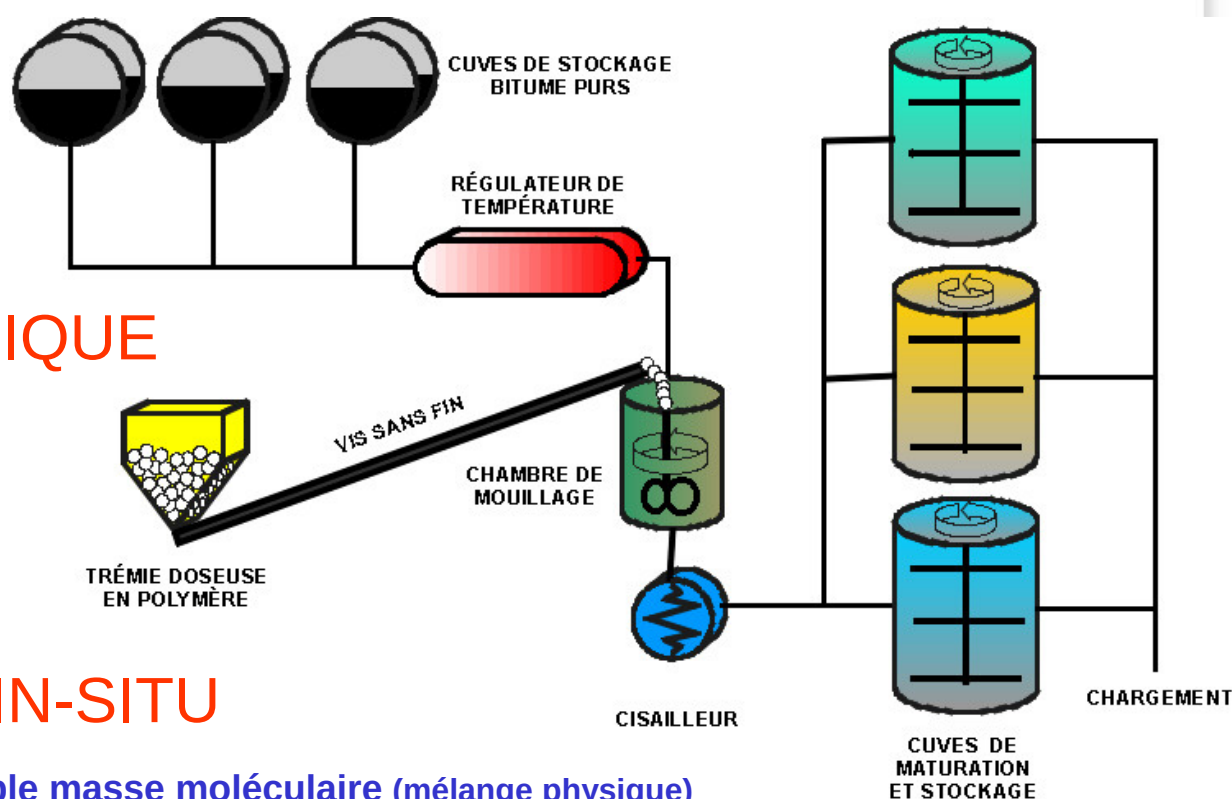


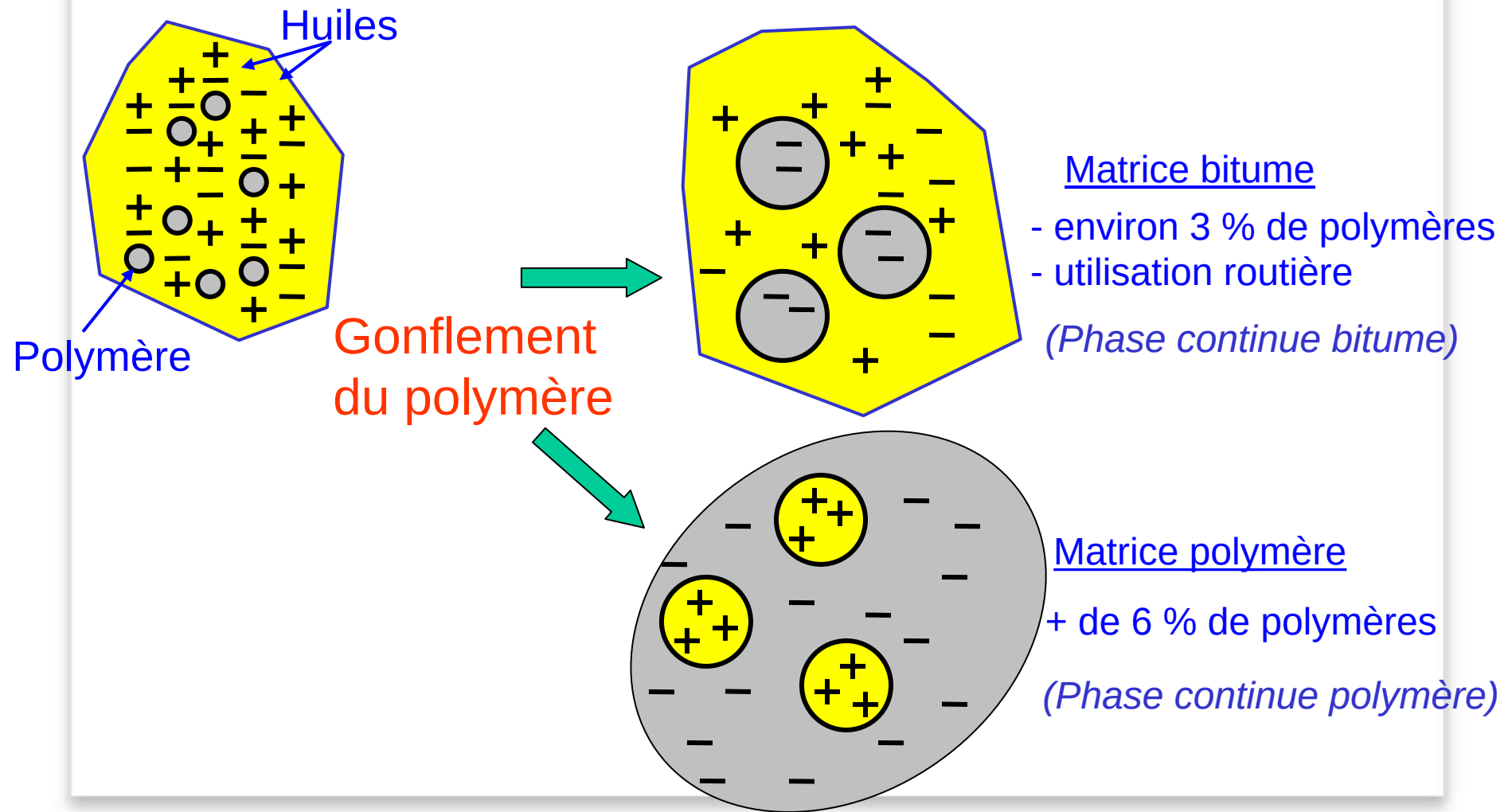
MELANGE PHYSIQUE

RETICULATION IN-SITU

Bitume + copolymère de faible masse moléculaire (mélange physique)

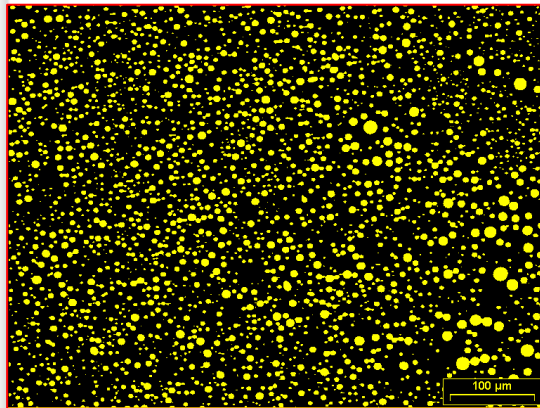
Puis réticulation in-situ du copolymère par greffage chimique
(par ex. avec du soufre) *exemple : le STYRELF*







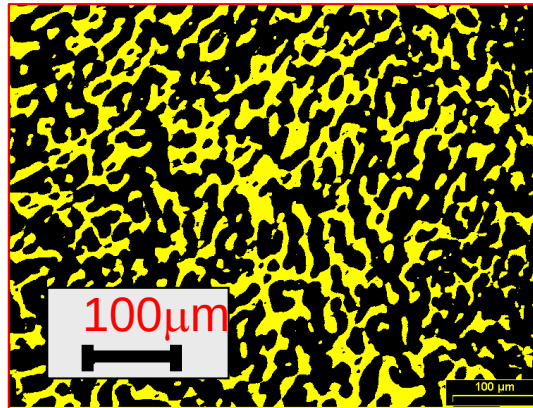
MICROSTRUCTURE



Polymères < 3 % :

matrice bitume

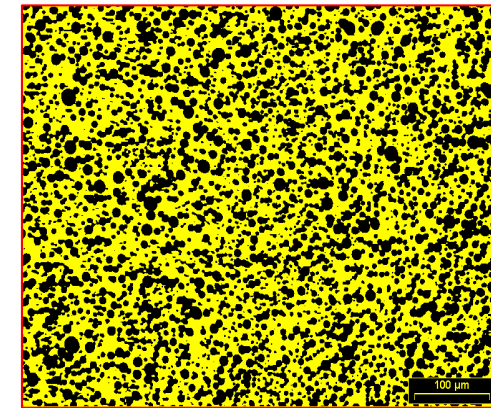
- Cohésion ↑
- Susceptibilité thermique ↓
- Propriétés rhéologiques ↑
- Stabilité au stockage ?



Polymères ~ 5 % :

deux phases continues

- Cohésion ↑↑
- Propriétés rhéologiques ↑↑
- Stockage ??
- Histoire thermique ???



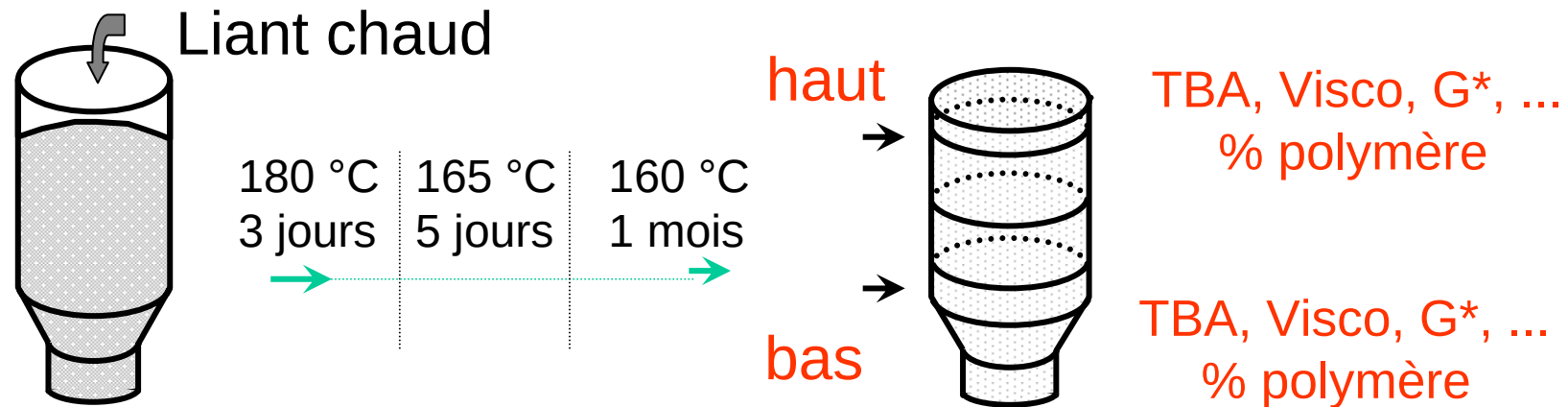
Polymères > 7 % :

matrice polymère

- Cohésion ↑↑↑
- Propriétés rhéologiques ↑↑↑
- Stockage ???



COMPATIBILITE - STABILITE AU STOCKAGE



UN PROBLEME DE CINETIQUE CONDITIONNE PAR :

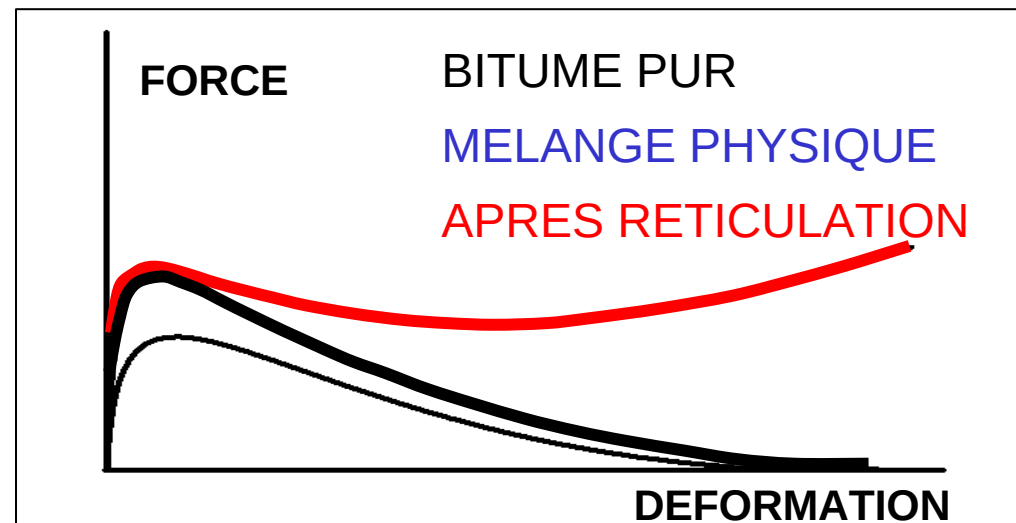
- Température et temps de stockage
- Teneur en polymère
- Différence de densité entre les phases
- Solubilité du polymère, microstructure
- Géométrie et taille du récipient !



Bien maîtrisée, la réticulation in-situ permet la réalisation d'un réseau polymère fin et homogène. D'où :

- Une très bonne stabilité au stockage
- Des propriétés mécaniques améliorées

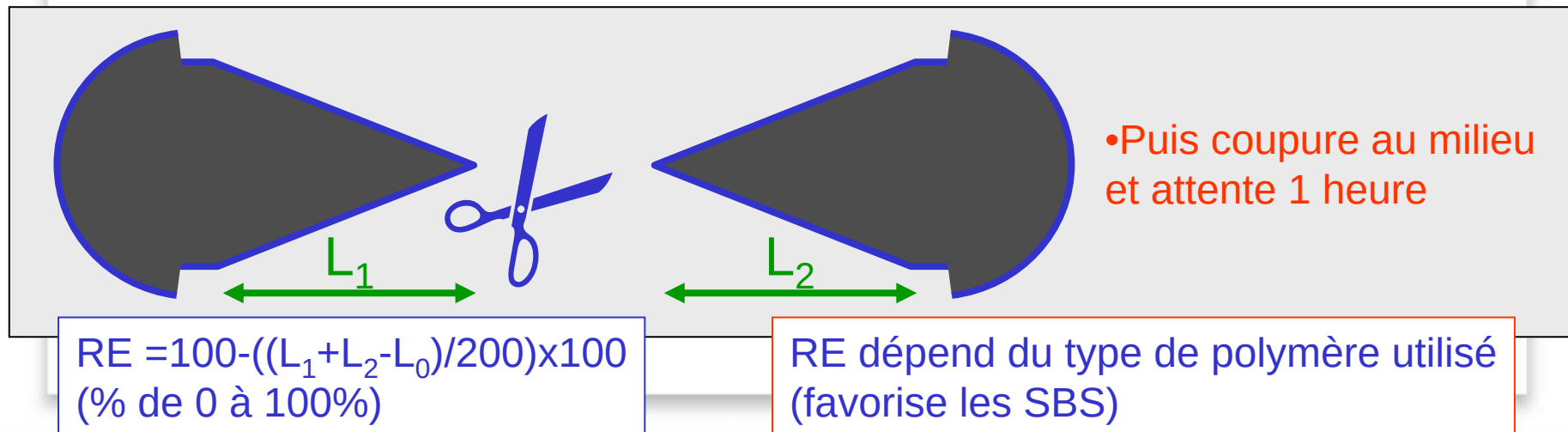
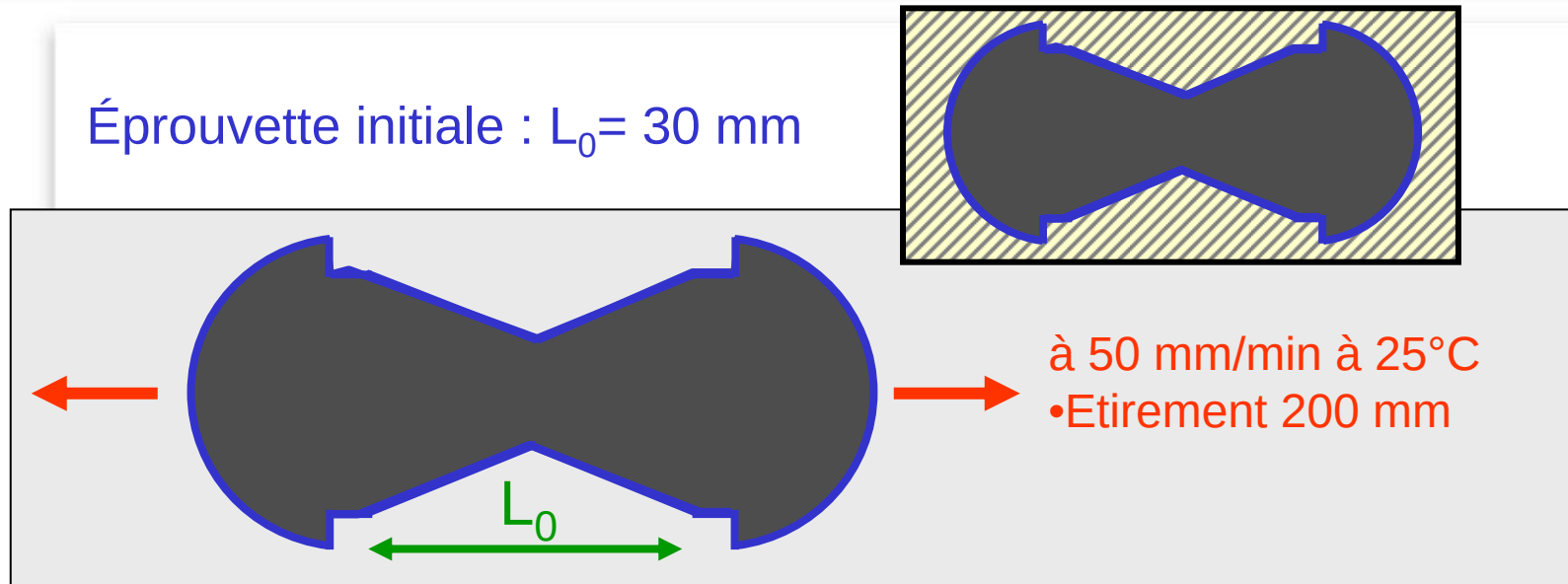
MICROSTRUCTURE

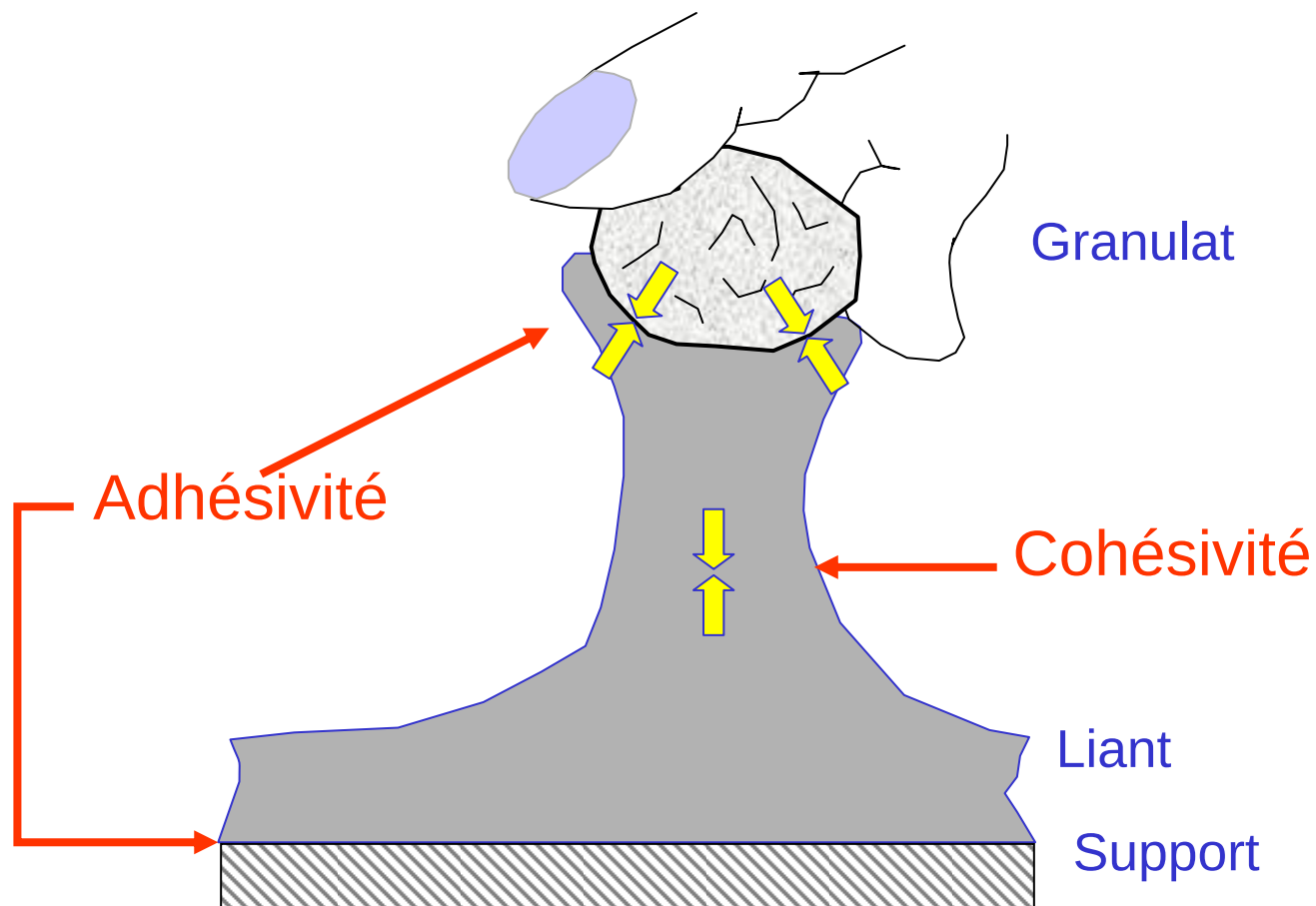




Liants modifiés : retour élastique NF EN 13398

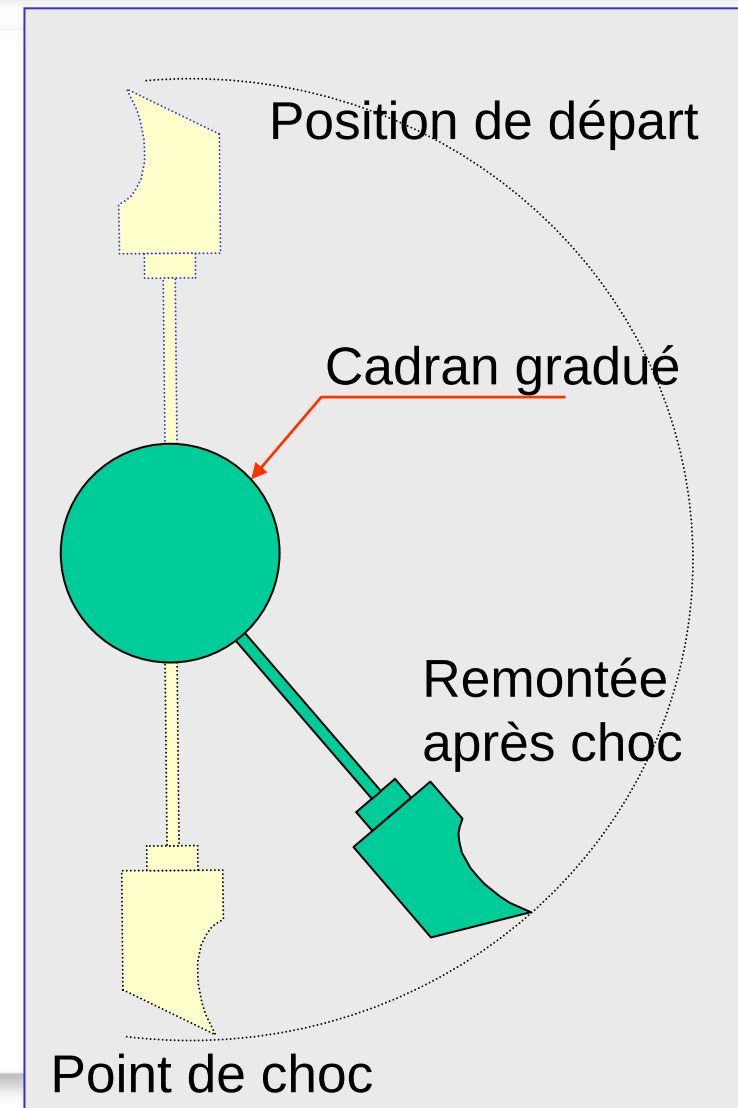
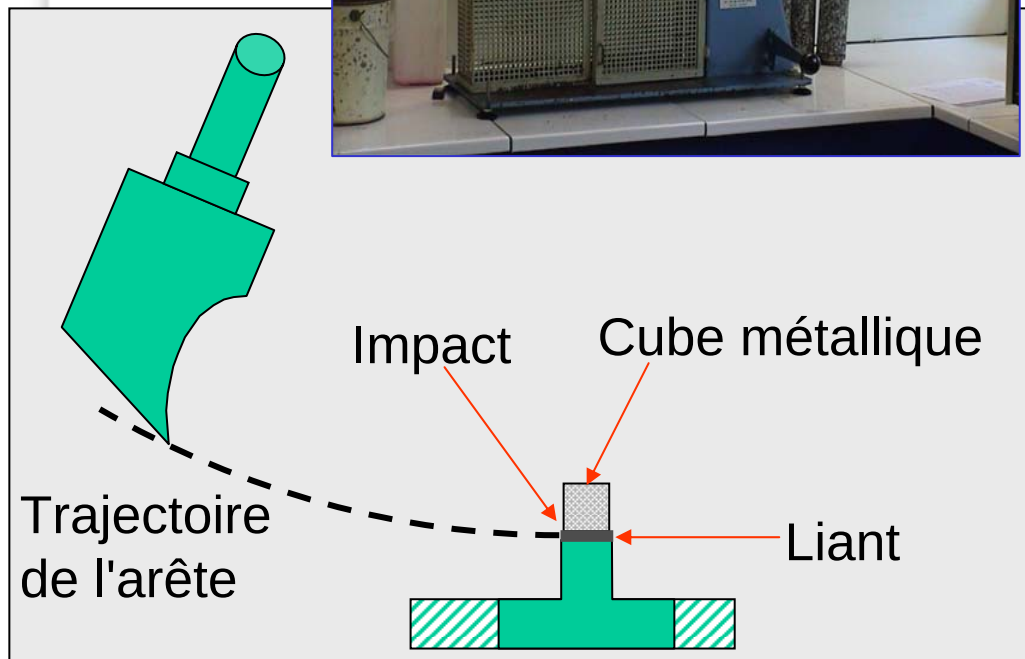
Éprouvette initiale : $L_0 = 30$ mm

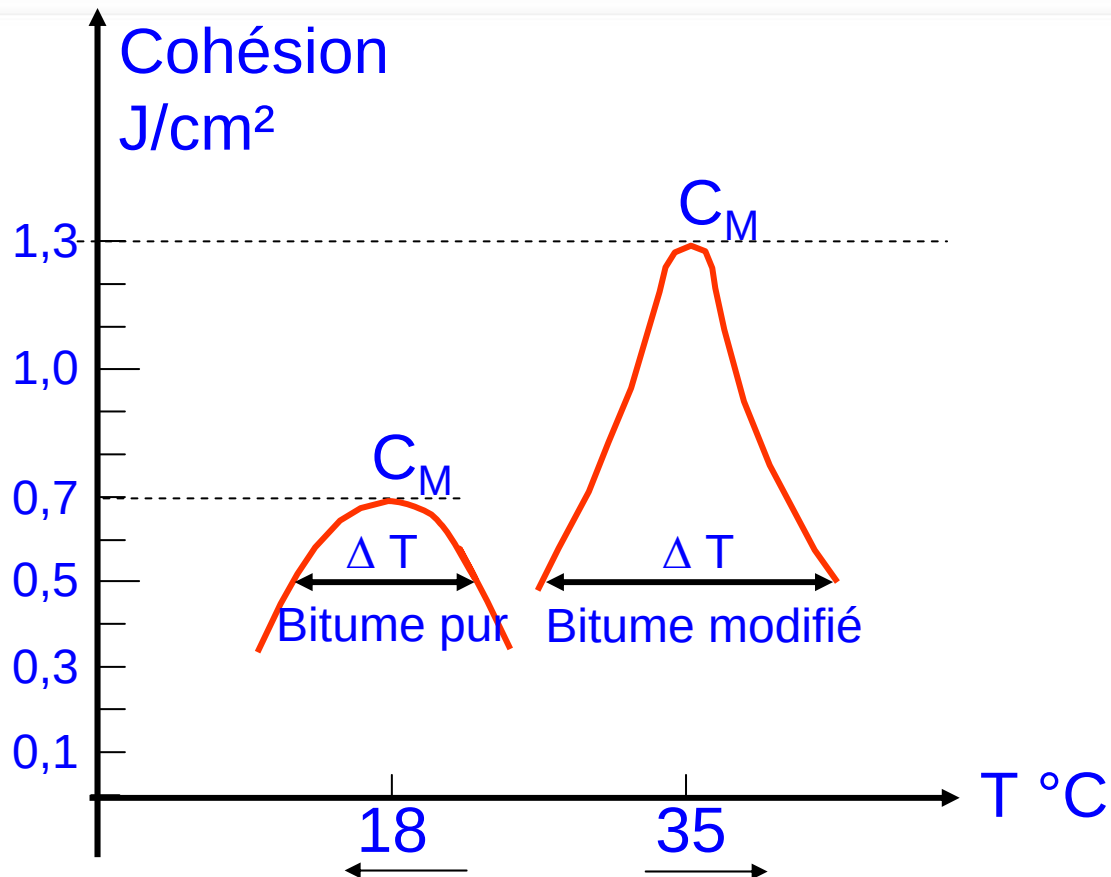






Bitume : cohésivimètre VIALIT NF EN 13588

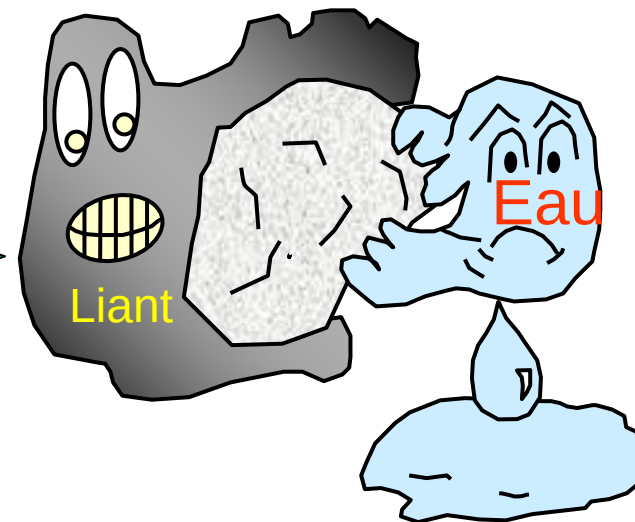




2 critères : → Cohésion maximale C_M
→ Intervalle de température (ΔT) pour $C \geq 0,5 J/cm^2$



Adhésivité active = mouillabilité



Adhésivité passive = résistance au désenrobage





- **Critères de choix :**
 - **le niveau de modification nécessaire**
 - **le site de production**
 - **les cadences du chantier**
 - **les quantités**
 - **les équipements de la centrale d'enrobage :
stockage, brassage, possibilité d'utiliser des
additifs**
 - **le prix**



Liants modifiés $\neq$ bitumes purs

Précautions d'emploi spécifiques :

- conditions de stockage
- température de pompabilité
- température d'enrobage
- température de mise en œuvre
- vieillissement
- viscosité plus élevée



■ Types d'additifs :

-Gilsonite (poudre d'asphalte naturel)

-Fibres

-Polyéthylène (PE)

utilisés uniquement
pour ajout en centrale

■ Petits chantiers - Sacs thermofusibles (ou en vrac)

■ Centrales discontinues (ou continues avec anneau de recyclage)

❖ Gilsonite : Bitume 50/70 + 0,7 ppc / granulats

❖ Fibres cellulosiques : Bitume 50/70 + 0,3 ppc fibres / granulats

❖ PE : Bitume 35/50 + 0,6 ppc PE / granulats

Valeurs
indicatives



- **Qualités disponibles en France : 25/35, 35/50, 50/70, 70/100**
- **Base (végétale ou pétrolière) de résine et huile avec ou sans polymère**

Liant de synthèse

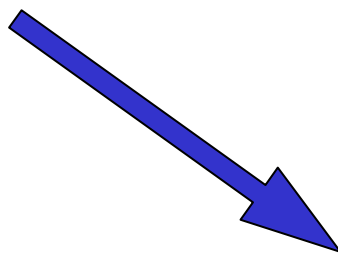


Enrobés clairs ou colorés

BBTM, BBM, BBSG



- **Plus grande susceptibilité thermique que le bitume classique**



**Excellente maniabilité de l'enrobé
ou de l'asphalte coulé**

- **Moindre vieillissement à l'enrobage**
- **Excellente tenue à l'eau**
- **Excellente adhésivité sur toutes natures de granulats**



- **Enrobé rouge au bitume classique pigmenté à l'oxyde de fer (5 à 7 ppc)**
- **Enrobé rouge ou vert au bitume pigmentable de faible teneur en asphaltènes, pigmentés à l'oxyde de fer (3 à 5 ppc) ou à l'oxyde de chrome (4 à 7 ppc)**
- **Enrobé coloré au liant de synthèse par différents oxydes (fer, chrome, fer, cobalt) en faible quantité (0,5-2 ppc), translucide en film mince, sans asphaltènes, éventuellement modifié polymères**



- **3 TYPES :**
- - Liants spéciaux d'origine pétrolière avec polymère qui résistent à des projections de carburants
- - Liants à base de goudron offrent une bonne résistance mais posent des problèmes toxicologiques
- - Liants à base de résines : époxy, acrylique ... efficaces mais très coûteux et d'utilisation limitée