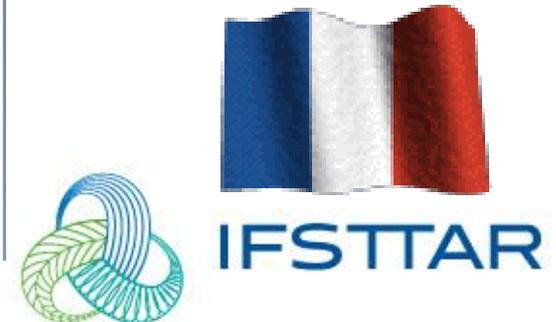




“El reciclado en pavimentos asfálticos y los procesos de mejora de la resistencia al ahuellamiento: la experiencia francesa de más de 25 años.”



Yves BROSSEAUD – Directeur de recherche



Plan de la presentación

- Primera parte - mejora de la resistencia al ahuellamiento:
 - El fenómeno : influencia y agravantes
 - Ensayo y clasificación de mezclas
 - Evaluación del comportamiento : carretera y maneje de fatiga
- Secunda parte - reciclado en pavimentos asfálticos
 - Generalidades e historia del reciclado de mezclas bituminosas en Francia
 - Situación y evolución : algunas cifras
 - Balance global, factores
 - Soportes técnicos
 - Reciclado con bajo, medio y alto contenido de RAP: ejemplos
- Conclusión



Primera parte – ahuellamiento o deformación permanente

No es un fenómeno nuevo, pero estamos hablando de fluencia de materiales bituminosos

Deformación por el desgaste de las piedras,
mientras el paso de tanques

Grandes los
marcado c

via dom
liaison I
118 AV



No es ninguna abstracción de materiales,
ni de un diseño de pavimento (deformación de gran radio: ancho > 80 cm)



Ilustración del ahuellamiento de los caminos

Brasil



Francia



Túnez



Bélgica



Maruecos



Buenos Aires



Definición del ahuellamiento



- El ahuellamiento se define como la deformación permanente que se produce bajo las ruedas del tránsito.

- Puede ser:

- α gran radio > 80 cm de ancho



- α radio pequeño < 80 cm de ancho

- Este defecto geométrico tiene 2 orígenes:

- α deformación permanente de las capas de apoyo



- α deformación permanente de materiales bituminosos

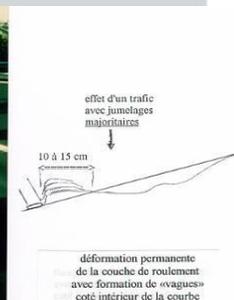


- También podemos tener la combinación de los 2.



Ahuellamiento, o **deformación permanente** de mezclas

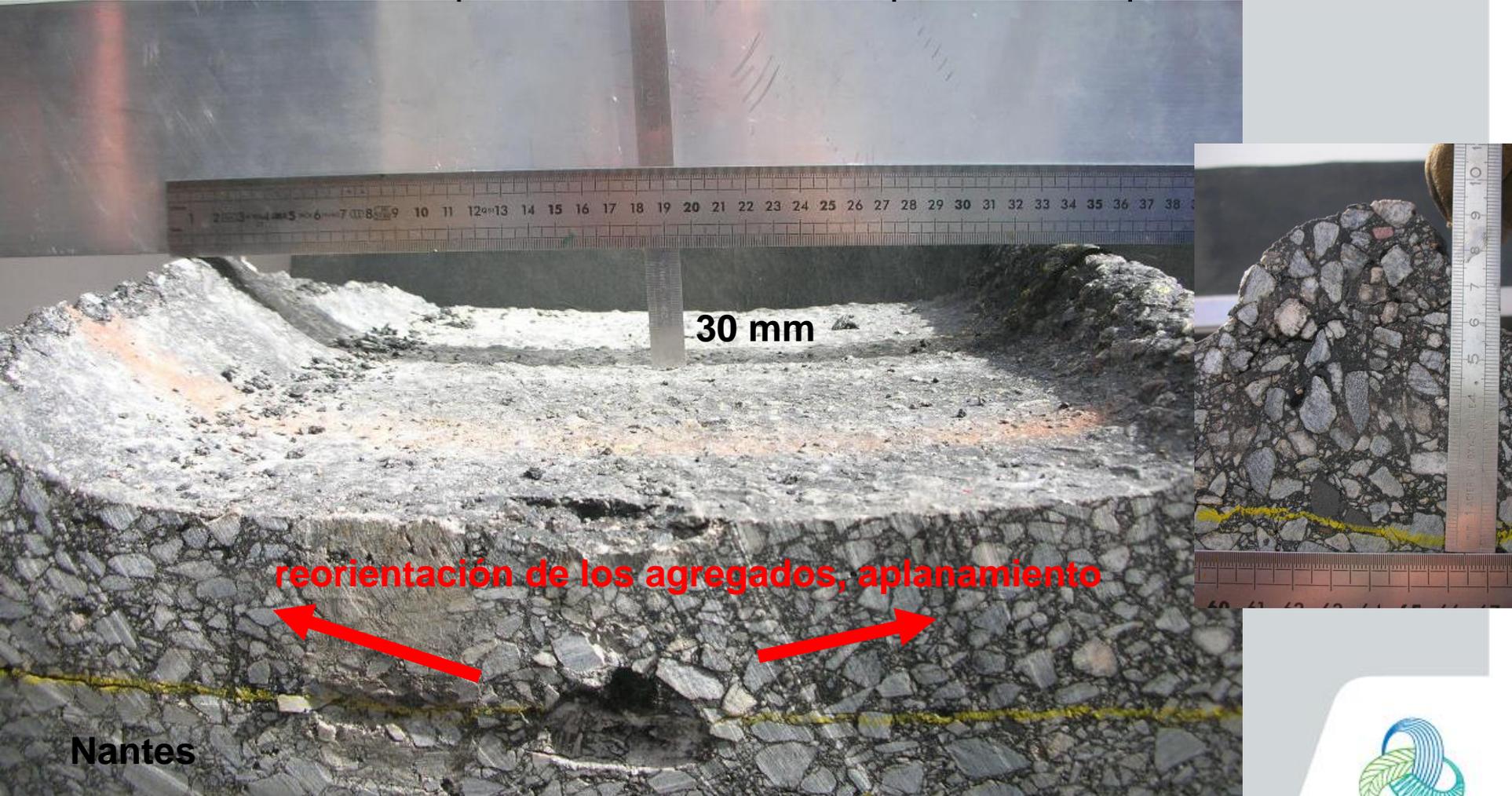
- Es el resultado del desplazamiento o deformación plástica, vinculados a las propiedades Visco de la mezcla bituminosa (efecto combinado del esqueleto granular) y la naturaleza viscosa del asfalto.
- Seguido de una deformación superficial debajo las huellas del neumático, que generalmente es acompañada por la formación de cordones laterales cercanos.
- Se denomina ahuellamiento de radio pequeño



Detalle de trastornos: desplazamiento y agrietamiento

Fluencia sólo de la capa superficial : mezclas de alto modulo

Cordón lateral : típico de la deformación permanente por fluencia



Factores agravantes

- ✓ Velocidad lenta
- ✓ Tráfico pesado
- ✓ Peaje
- ✓ Rampa
- ✓ Zona de estacionamiento
- ✓ Rotonda
- ✓ Exposición al sol
- ✓ Esfuerzo de corte en giros, frenado
- ✓ Radio de giro bajo
- ✓ Defecto de adherencia



Áreas singulares

- Carriles especiales camión o autobús
- La línea de carga
- Estación de autobús
- Muelles de descarga
- Zona portuaria
- Taxyway
- Estacionamiento de aeronaves



Terex TFC 45LX (containeurs 45t)

-roulage : PMax 130 tonnes = **91 tonnes essieu avant** à roues jumelées (4 roues) + 39 t arrière (2 roues).

-gerbage (porte à faux maxi) : même PMax, mais **103,2 tonnes** sur l'essieu avant (4 roues)

Deformación permanente en puntos singulares

especial carril bus, zona de parada



BUSWAY en la ciudad de Nantes



Busway Nantais : los límites



degradaciones en las estaciones solamente en 1 metro



Ahuellamiento en superficie, no en el EME.
 Tratamiento especial : precolación, BCMC, CUD,



Impacto en la seguridad y confort



- Estancamiento del agua en los deformaciones:
 - proyección de agua, visibilidad reducida
 - muy mala adherencia debido a la capa de agua
 - aquaplaning: pérdida de control del vehículo

Peligro → Accidentes graves

- Difícil manejo en los carriles
- Cierta incomodidad

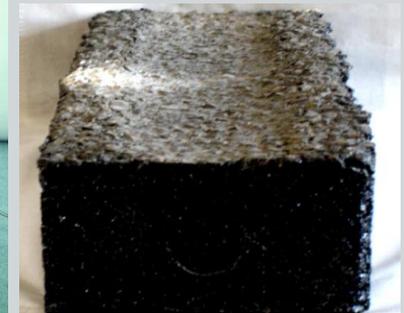


Jules Bianchi



Orniéreur LPC - simular la evolución de la deformación permanente

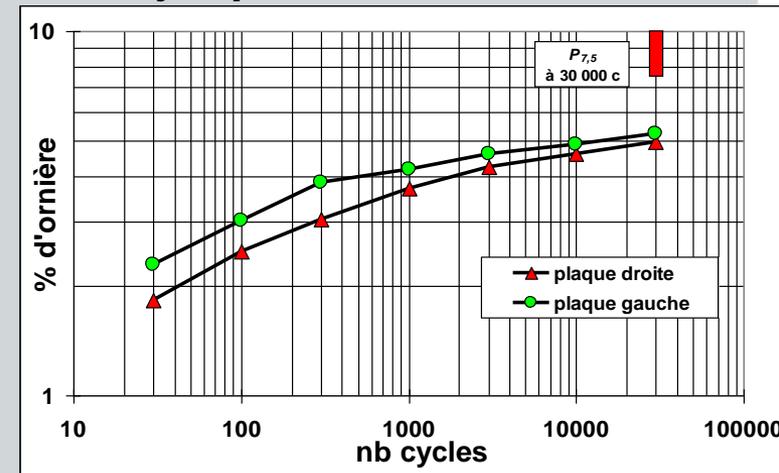
EN 12697-22



ejemplo de resultados EME

- Descripción del equipo:
 - Neumático liso,
 - 0,6 MPa de presión (+/- 0,2)
 - Carga 5 kN (+/- 0,5)
 - Velocidad 1 ciclo por segundo
 - Temperatura de 60 ° C (+/- 10° C)

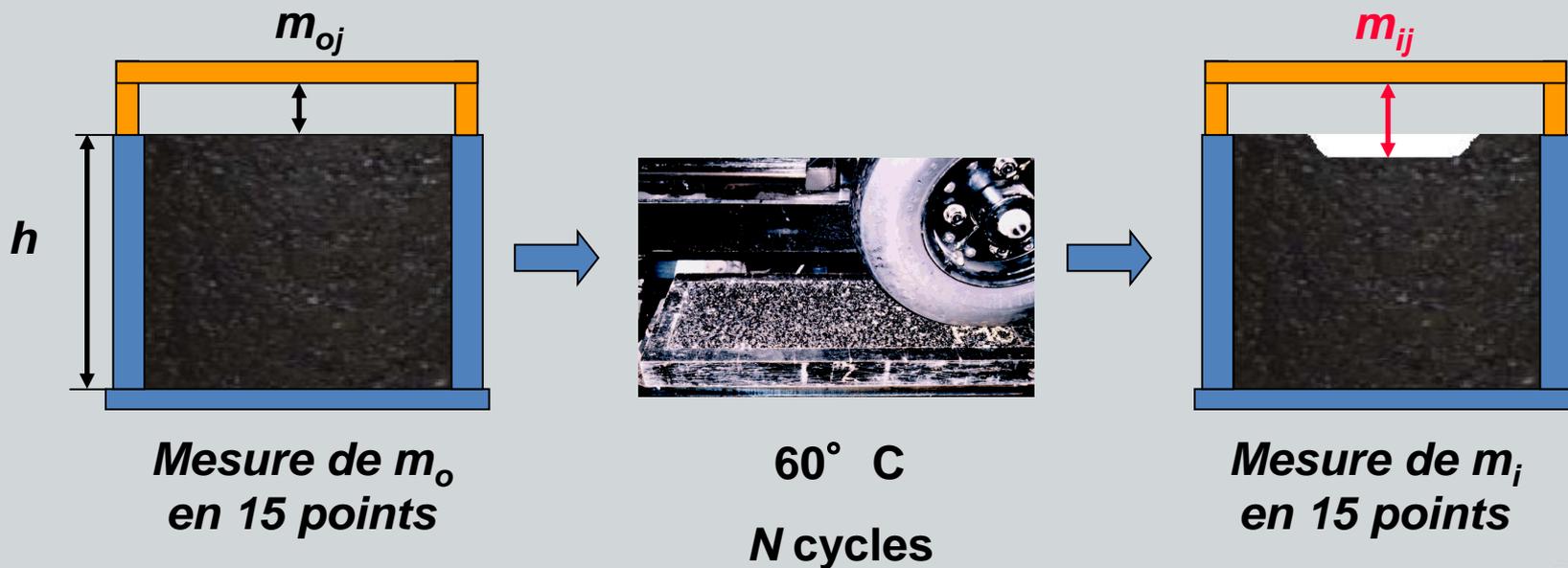
- Rendimiento de la prueba
 - Repetible (r = 1, 2; R = 1, 3)
 - Selectivo
 - Relevante
 - Mezclas con BmP: riesgo de sobrecalentamiento



P7,5 à 30 000 cycles (Vi =3% Vs =6%)

Verificación del ahuellamiento con el equipo « orniereur LPC » después de 30 años

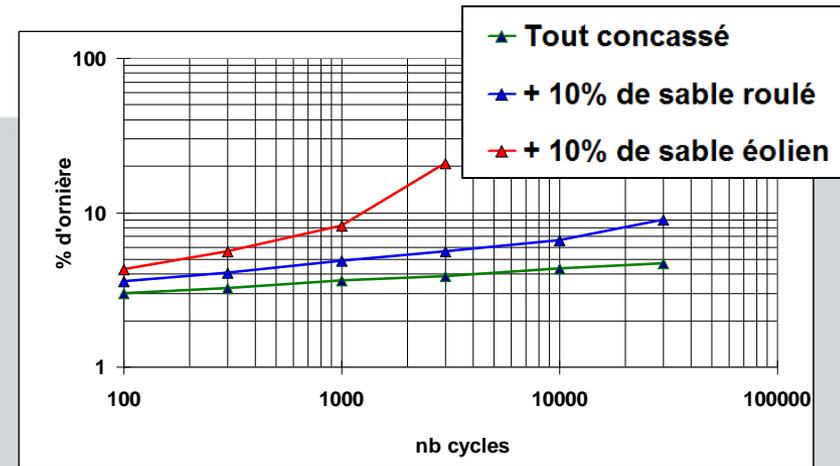
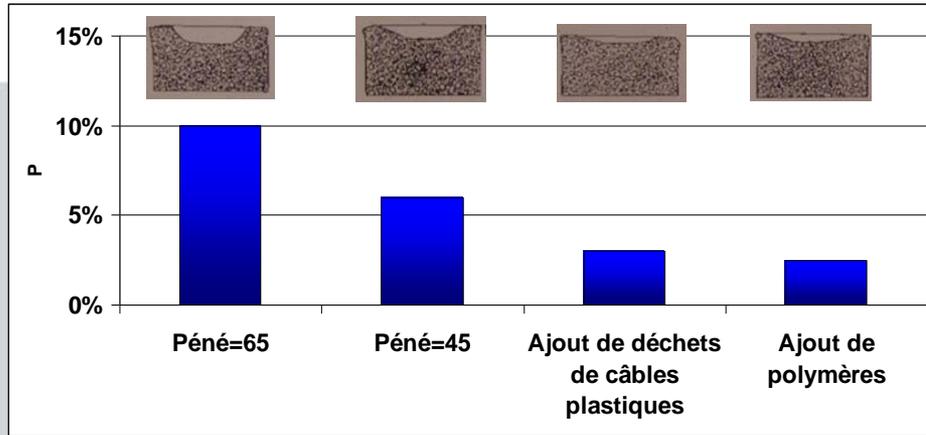
- Principio de la prueba del ahuellamiento LPC orniereur EN 12697-22 «dispositivo de grandes dimensiones».
- Entre 3 materiales estándar (GB, AI, F), **LPC Francia el más selectivo, para el uso en tráfico fuerte** (recomendación EN)



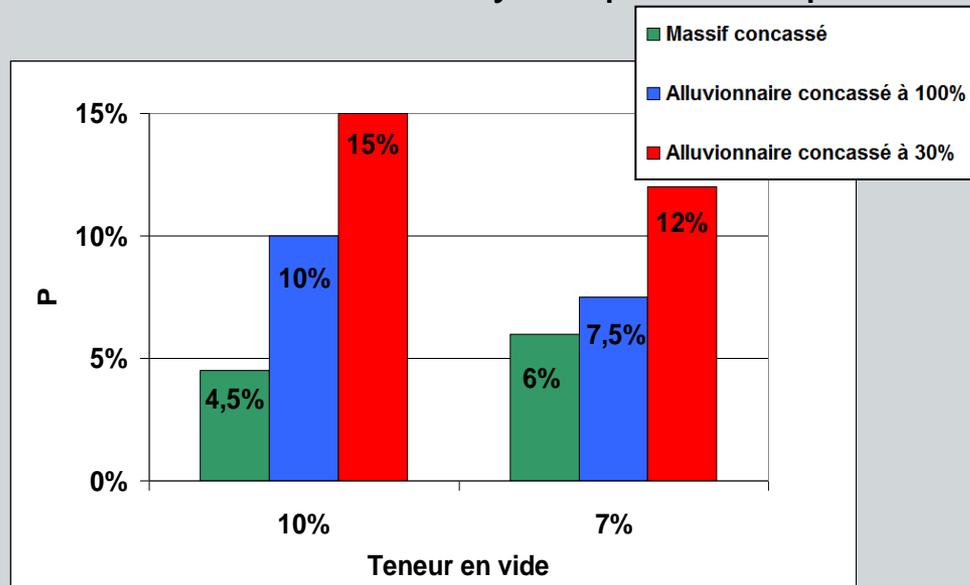
$$P_i \% = 100 \cdot \sum_{j=1}^{15} \frac{(m_{ij} - m_{0j})}{(15 \cdot h)}$$



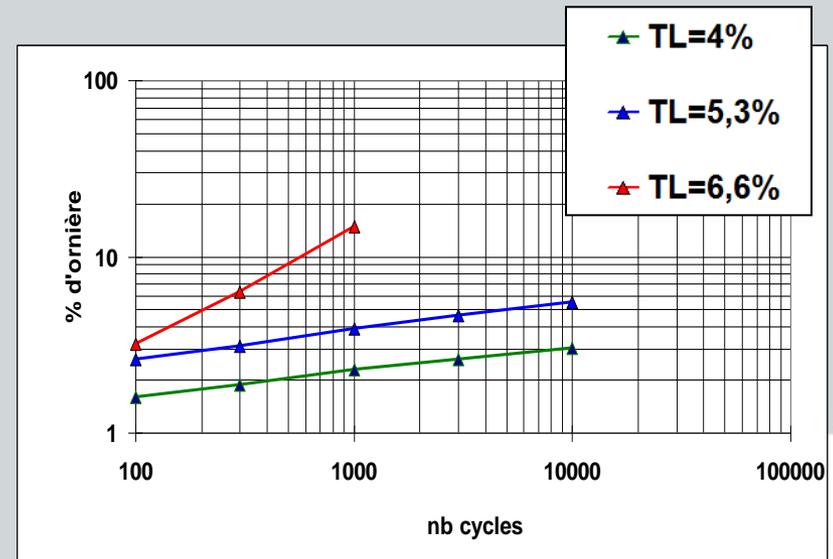
Influencia de los parámetros de deformación permanente – respuesta de ‘orniéreux LPC’



influencia de la dureza y el tipo de carpeta



influencia de la naturaleza de la arena

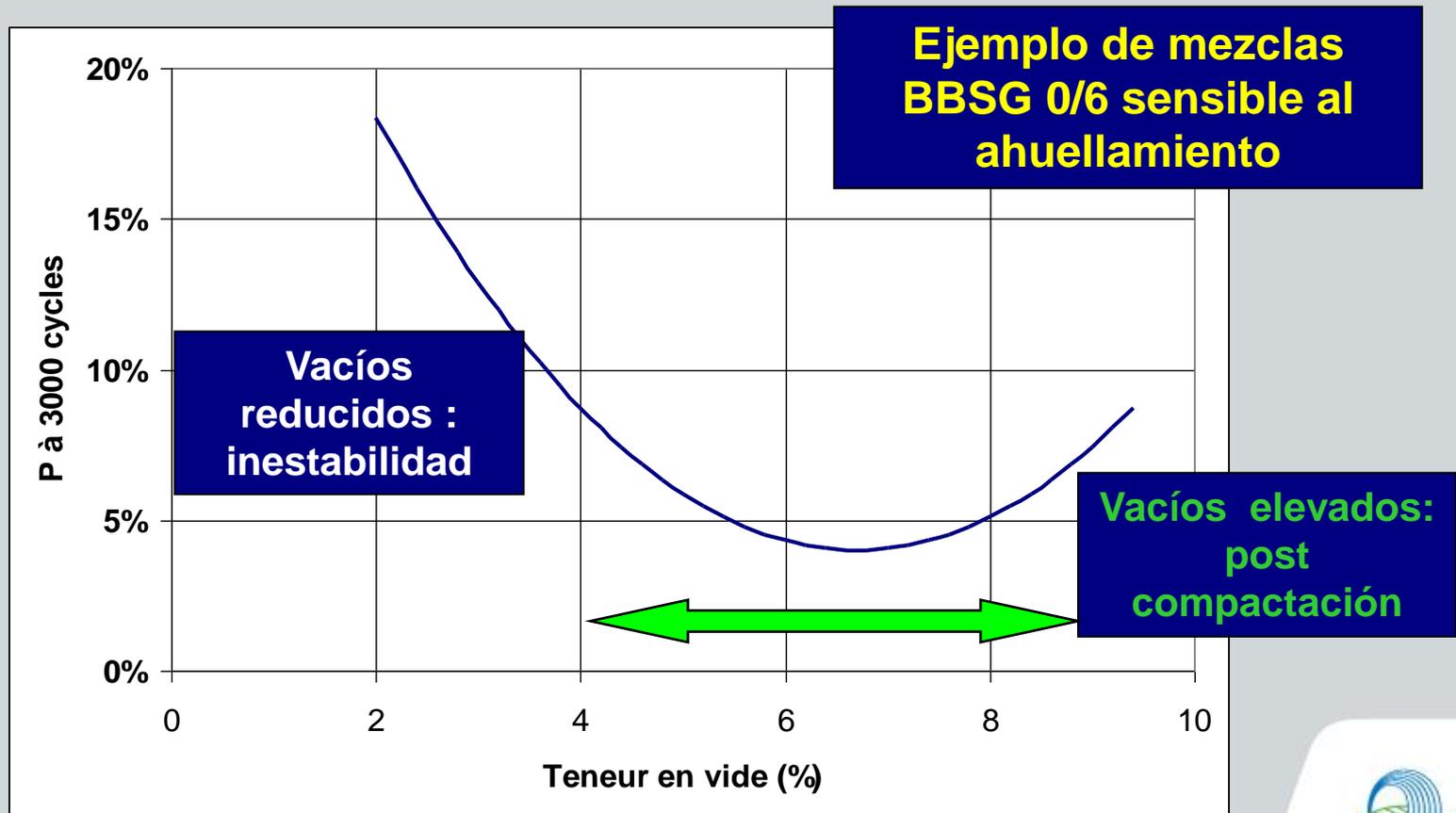


influencia de la angulosidad de los agregados

influencia de la dosificación del betún

Influencia del porcentaje de vacíos

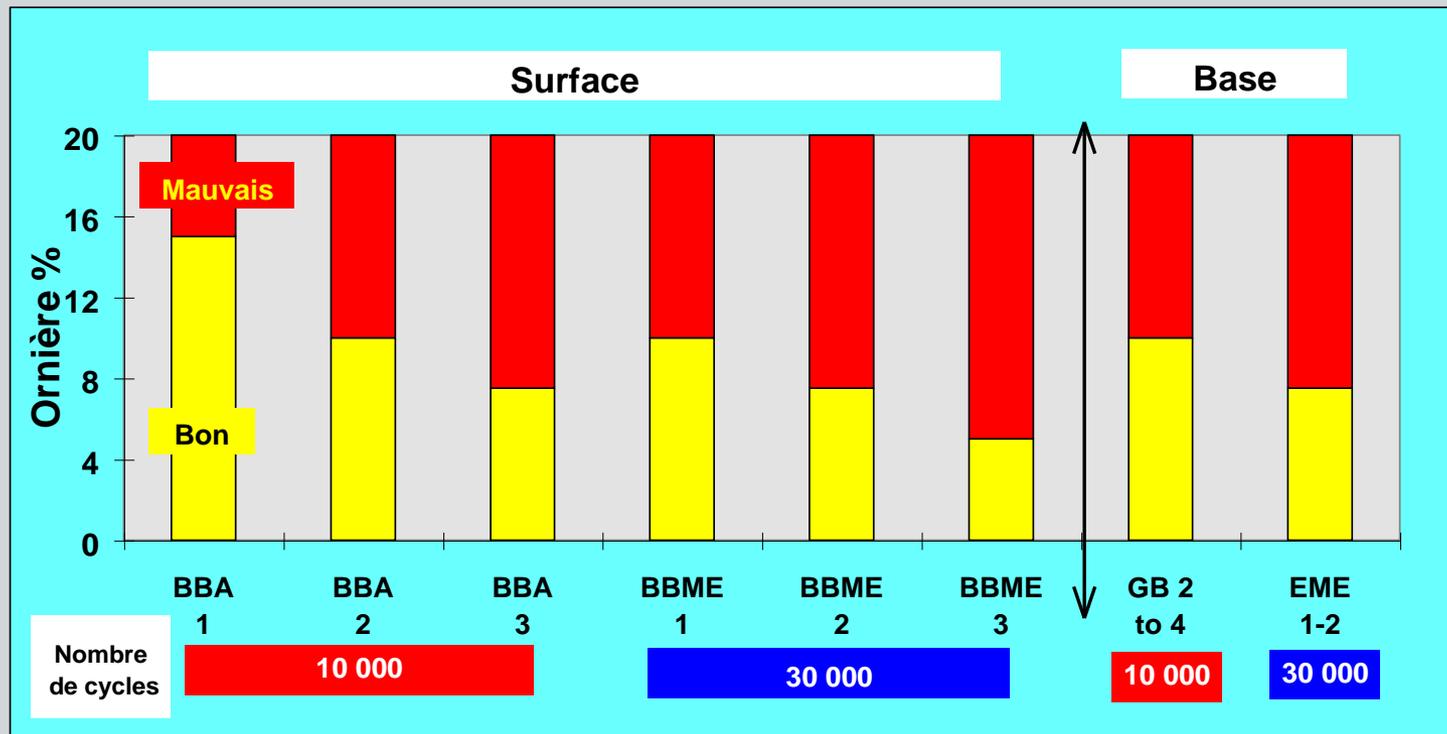
Una gama de vacíos óptima para mantener la estabilidad.



intervalo introducido en las especificaciones de mezclas (propiedades mecánicas también)

Especificaciones francesas para el equipo orniéreur LPC, según los tipos de asfaltos

Ensayo realizado a 60° C, medición del ahuellamiento a diferentes ciclos



Especificaciones de las normas: adaptación del umbral a la demanda



Factores de influencia

Exterior

- **Temperatura (más allá de la TBA)**
- **Carga de la rueda (en rutas 65 kN, en aeropuertos 280 kN)**
- **Presión de inflado (en rutas 7 a 9 b., en aviones 10a 15 b.)**
- **Condición de aplicación de la carga (velocidad)**

Interior

- **Materiales**
 - Agregado: Naturaleza (aluvional, de trituración), Esqueleto (curva)
 - Ligante: puro, BmP, grado, dosificación
 - Aditivos: polietilenos de alta densidad PEHD+, fibras, asfaltita en polvo,...)
- **Espesor de la capa**
 - **Adecuada formulación / espesor**



Simulación del ahuellamiento en la máquina de ensayo LCPC

- **6 experimentaciones: 4 (ASFA) + 1 (Michelin) + 1 (Tram)**
- **Años: 1992, 93, 94, 96, 97, 98**
- **21 materiales ensayados**
- **8 años de estudios**
- **Ensayos sobre los ligantes**
- **Ensayos mecánicos en las mezclas asfálticas**
- **60 ensayos de ahuellamiento LPC en laboratorio**
- **30 meses de ensayo in situ**



Resistencia al ahuellamiento: eficacia de ligantes y aditivos

- Fórmula de base: resistente al ahuellamiento por naturaleza de la arena de trituración, asfalto 50/70
- Eficacia del ligante:
 - Dureza 10/20 (EME + BBTM)
 - Especiales: Multigrade (20/30, 35/50, 50/70, 3 petroleras)
 - BmP : EVA, SBS, SBS réticulé
 - Agregados : residuos PEHD*, fibras de recuperación, fibras de vidrio
- Comparación laboratorio (LPC) y obra:
 - Clasificación comparable :
 - ***Fabricación laboratorio y obra,***
 - ***Pero intensidad diferente***
 - Clasificación de laboratorio comparable a la máquina de ensayo,
 - ***Sauf por fibras***
 - ***Sensibilidad de las BmP, por efecto de adherencia***



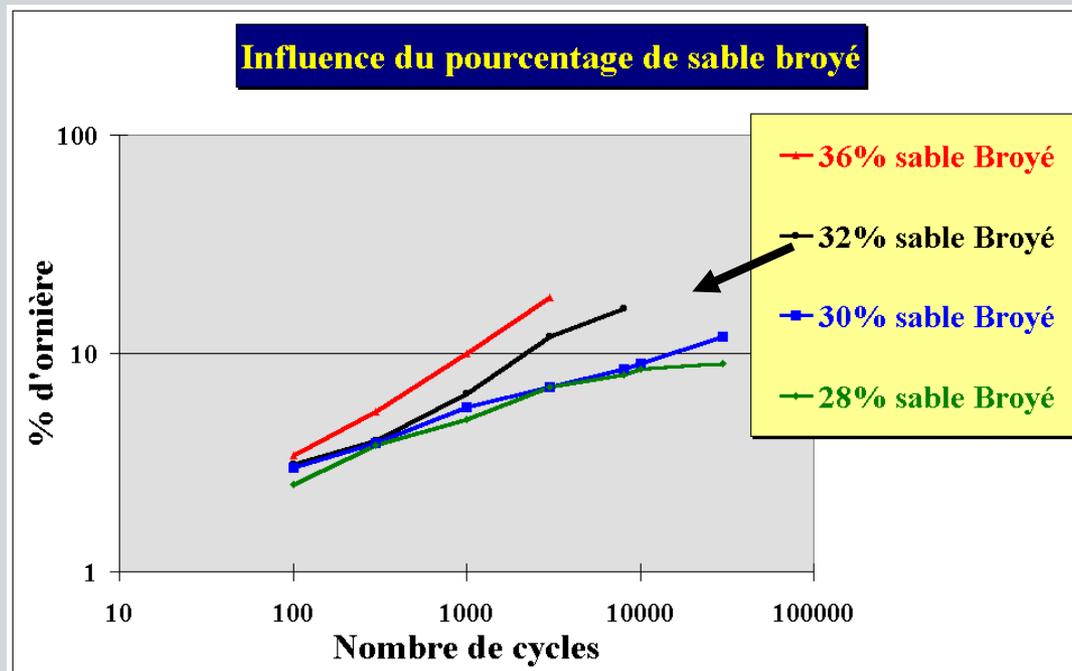
Propiedades de la mezcla testigo



Détail de la roue

- Composición de la mezcla testigo voluntariamente **ahuellable*** por la naturaleza del dosaje (32%) con arena de trituración (triturador de barras)

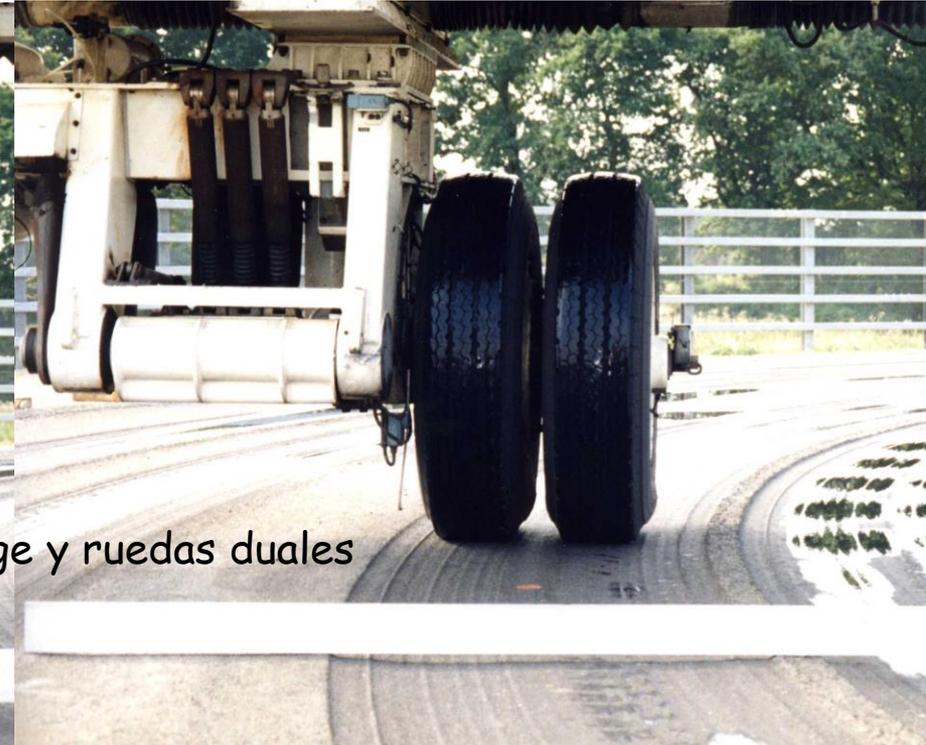
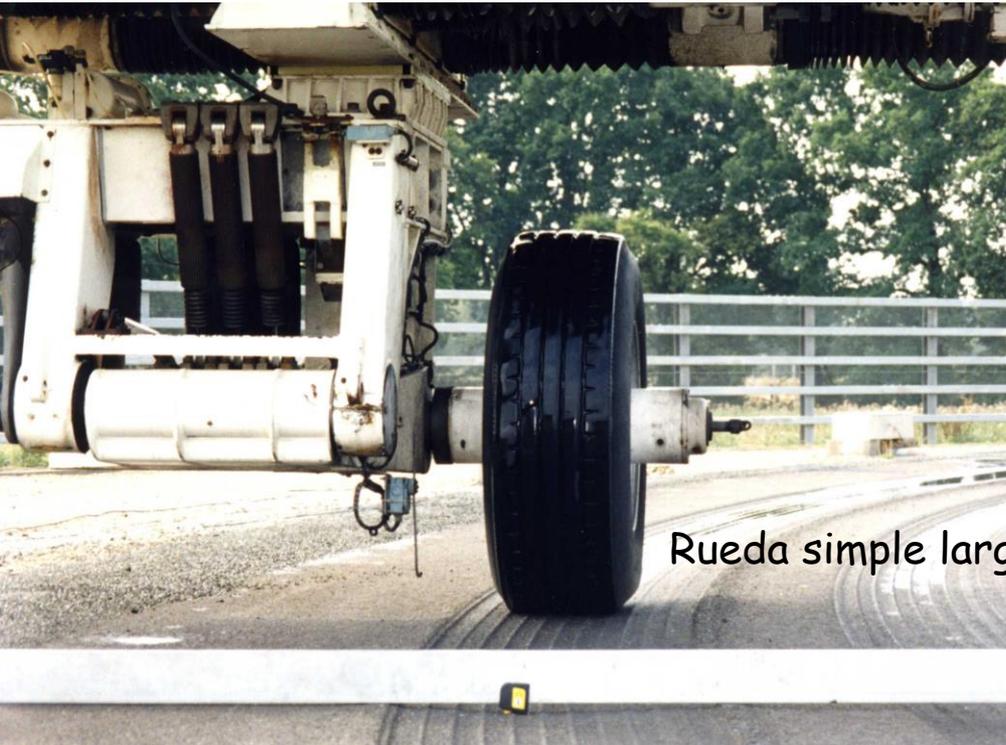
Tamiz	14	10	6	2	0,08	Ligante
% pasante	99	79	53	44	7,5	5,7



* Se busca más de 15% de ahuellamiento a solo 3 000 ciclos



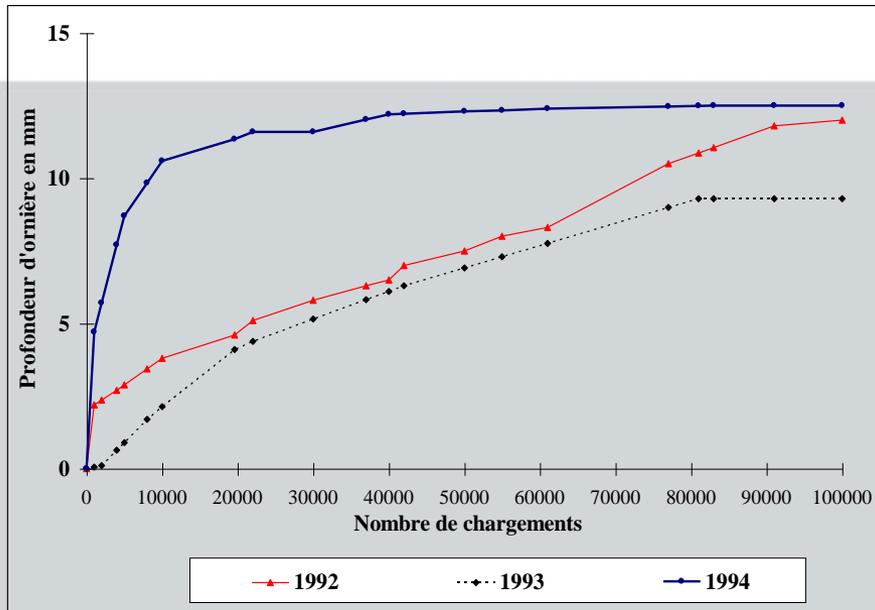
Ahuellamiento sobre sector testigo 1996



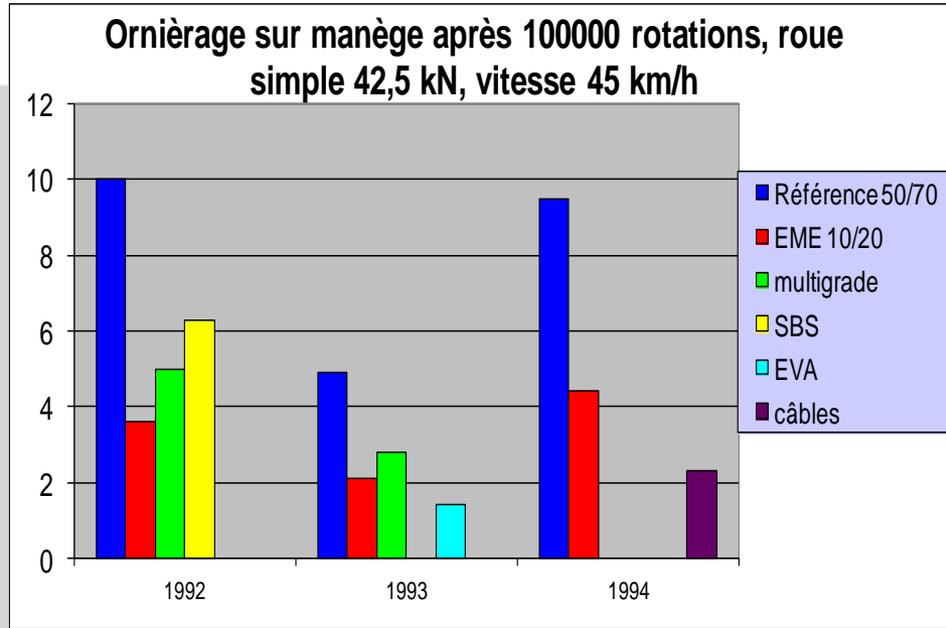
Rueda simple large y ruedas duales



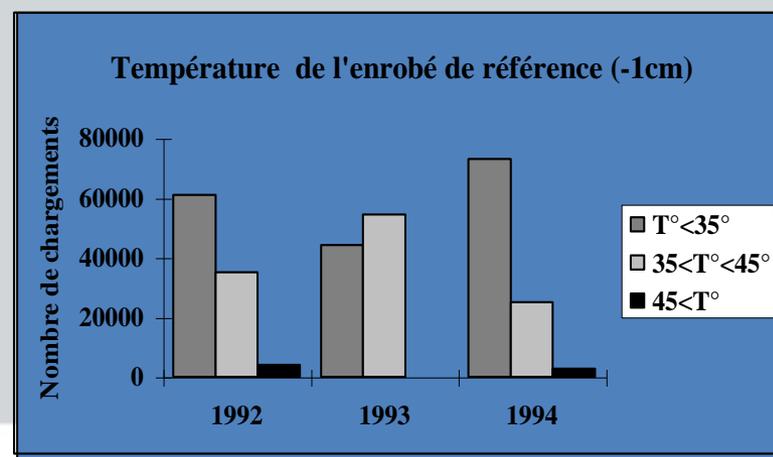
Resultados de la máquina de ahuellamiento: 92, 93, 94



Evolución del ahuellamiento sobre sector testigo



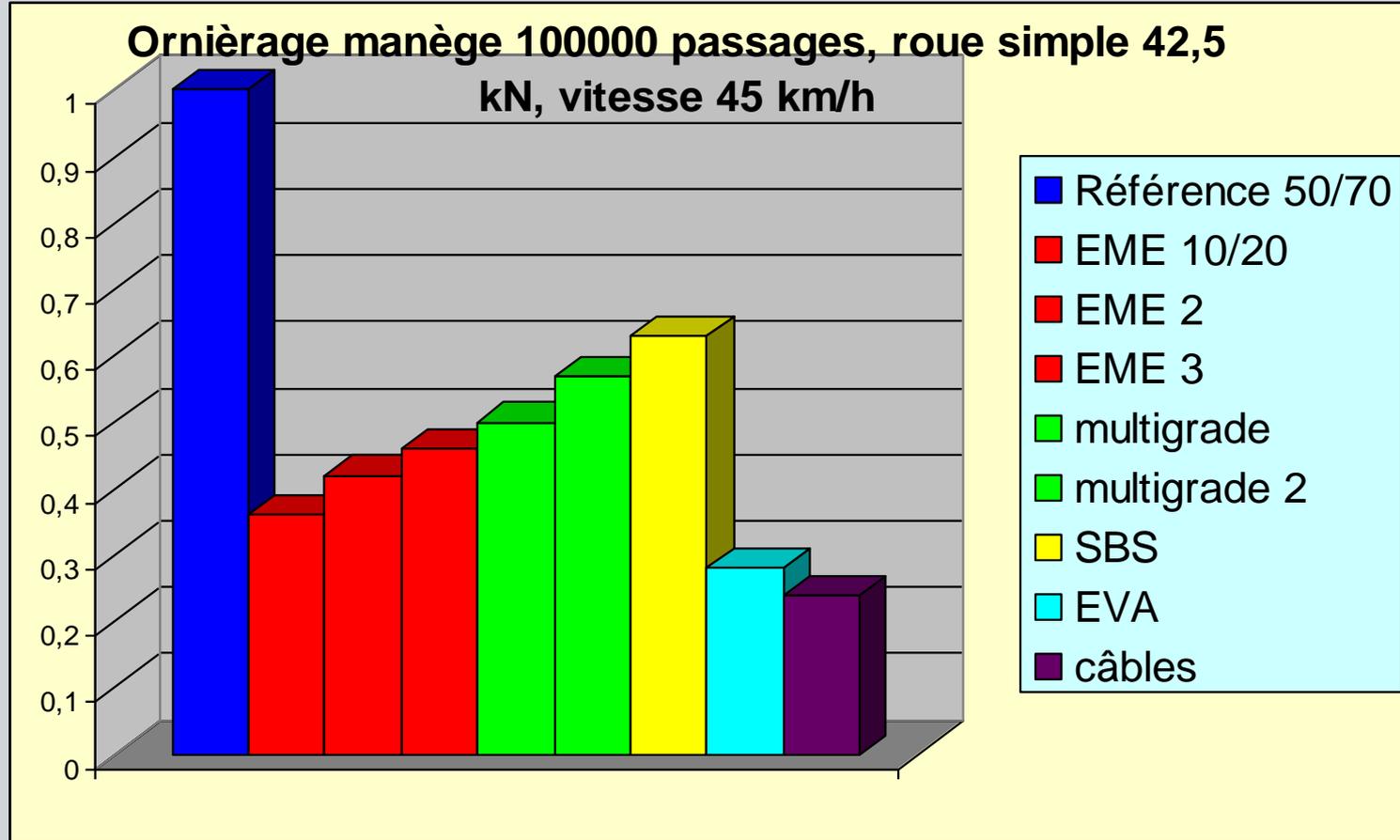
Comparación de ahuellamientos a 100.000 rotaciones



Resultados de la máquina de ahuellamiento: 92, 93, 94



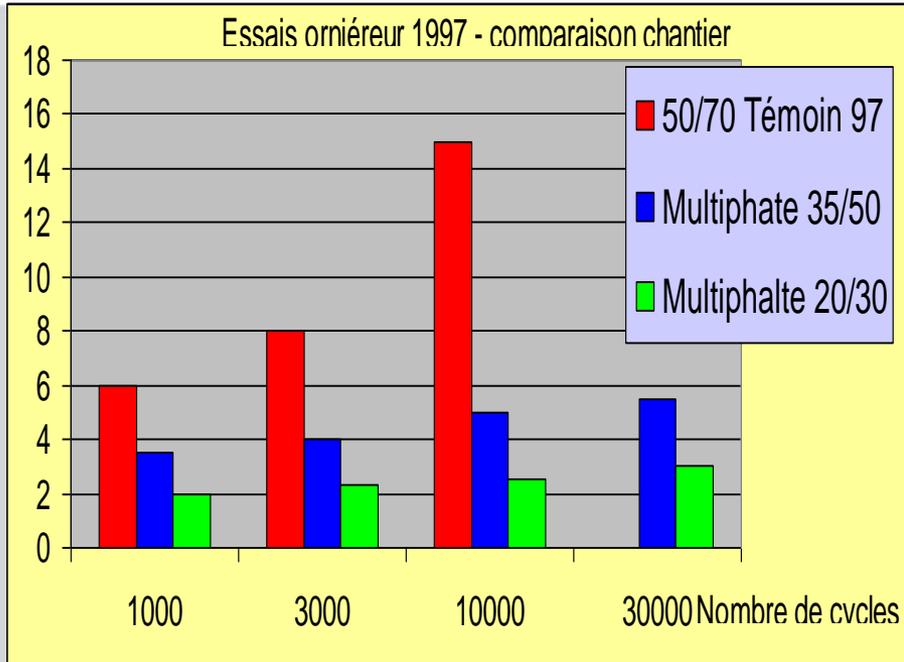
Comparación del ahuellamiento con diferentes ligantes con el sector testigo 50/70



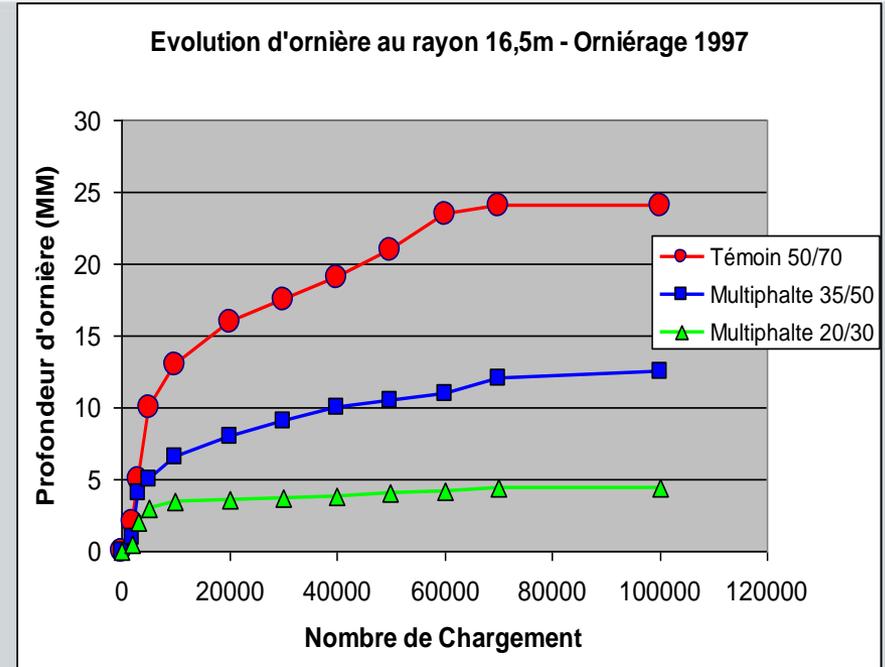
Misma clasificación que la del orniéreur LPC



Resultados máquina de ahuellamiento 97 : comparación multigrade 20 y 35 con asfalto puro 50



Laboratorio LPC

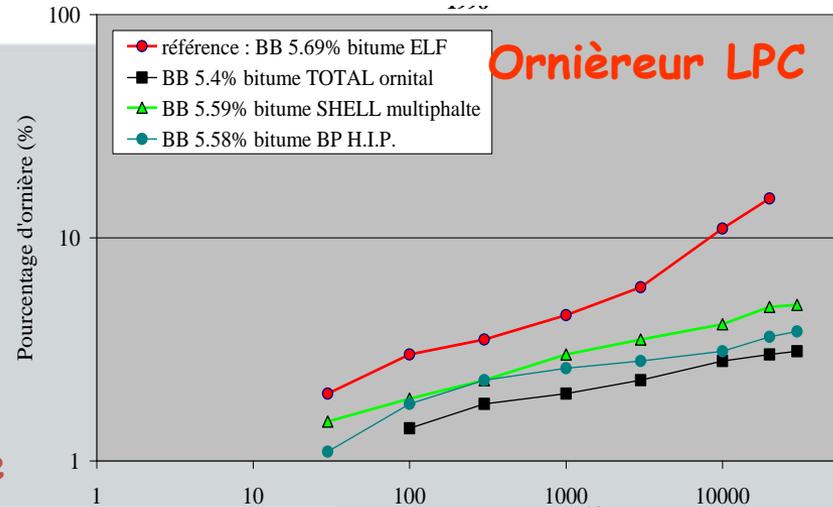


Obra : manege de fatiga

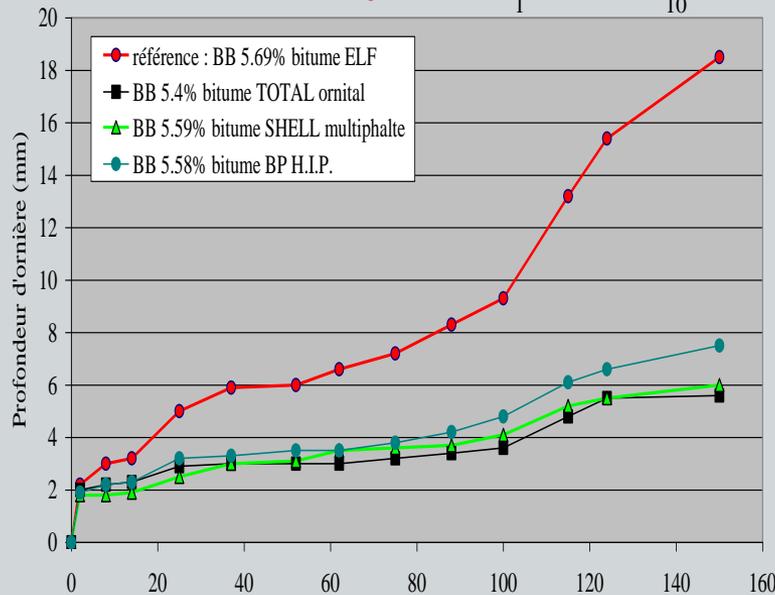
- ✓ Multigrade reducción de ahuellamientos de 50 a 70% vs grade 35/50 y 20/30
- ✓ Misma clasificación laboratorio / obra



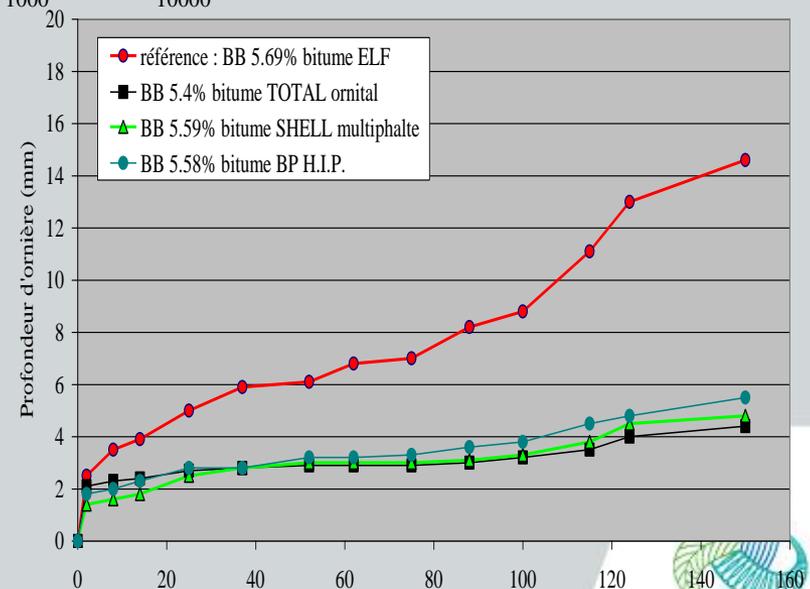
Resultados máquina de ahuellamiento 98 : Multigrades 3 fabricants 50/70 comparados al asfalto puro 50/70



Essieu Simple

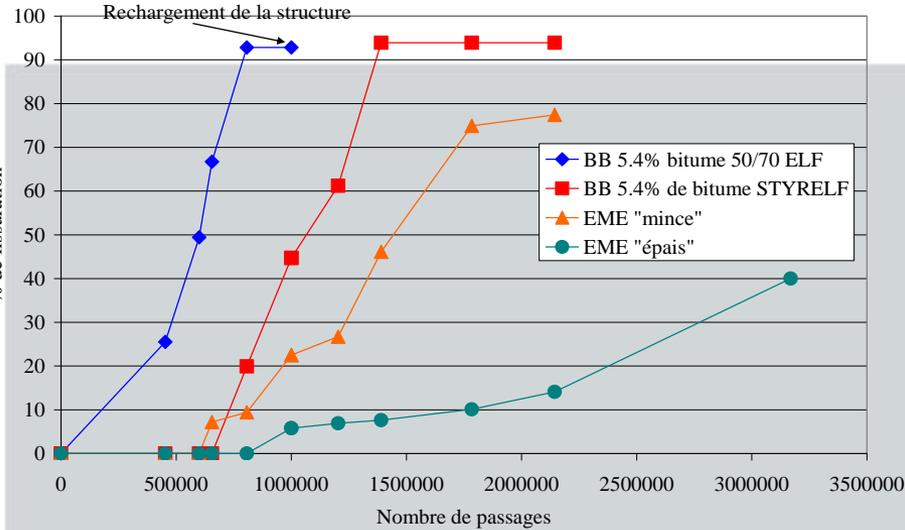


Essieux Tridem

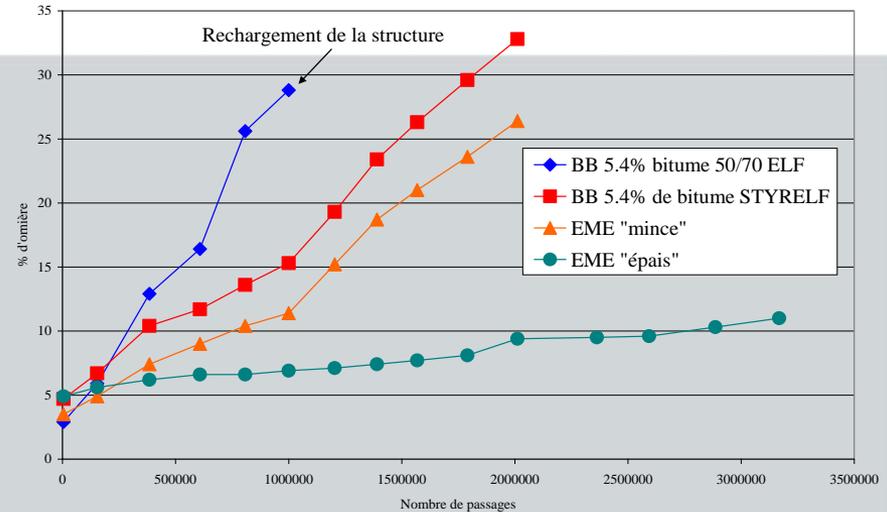


Materiales EME + BBTM (espesor, modulo) fatiga 3

Fissures



Ornières



- Respeto de espesores mínimos con EME
- Sino fragilidad y deformación por hundimientos
- Excelente combinación EME + BBTM
- Pas de course al módulo: fragilidad

Enrobés	Témoin BB 8cm	EME 8,5 cm	BB Styrelf 8 cm	EME 9,1 cm	EME 11,5 cm
Durée vie	1	1,45	1,75	2,8	5,4

Sector 3 complejo EME + BBTM





Ahuellamiento : conclusiones

- Correspondencia entre campo y lab.:
 - buena si la fórmula resiste bien el ahuellamiento (< 5% 30 000 ciclos),
 - Desv. importante sobre fórmula sensible al ahuellamiento (10% 3 000 ciclos):

Lab. 10% a 3 000 ciclos ►► obra 10% a 30 000 ciclos
- Validación de una fórmula «límite» no se puede hacer con mezclas fabricadas en planta, solamente por fabricación en lab. Con constituyentes de la obra (agregados, ligante)
- Laboratorio necesario para optimizar la fórmula (la fabricación en planta «rompe» los factores de influencia)
- Importancia del contenido de vacíos (norma).



DOT Colorado study

33 job sites : crossing traffic, ambiance temperature

EDLA	Température Moyenne Mensuelle Maximale		
	< 27 °C	27 à 32 °C	32 à 38 °C
< 27	---	19, 20	25, 26
27 - 82	33	27, 28	23, 24
82 - 274	31, 32	5, 6	21
274 - 822	17, 18	7, 8	15, 34, 35
822 - 2740	36, 37	3, 4, 11, 12, 13, 14	9, 10
2740 - 8220	---	29, 30	---

Tableau 1
Résumé des sites en fonction du trafic
et des conditions climatologiques

site	Température d'essai : 60 °C		Température d'essai : 55 °C		Température d'essai : 50 °C	
	pente (B)	Orniérage à 30 000 ou cycles pour 10 %	pente (B)	Orniérage à 30 000 ou cycles pour 10 %	pente (B)	Orniérage à 30 000 ou cycles pour 10 %
25	---	---	0.40	22 000 C	---	---
26	---	---	---	---	0.70	9 000 C
232	0.86	600 C	---	---	0.70	4 000 C
4	0.86	100 C	---	---	0.80	2 000 C
21	0.33	5.5 %	---	---	0.35	4.1 %
35	1.02	600 C	---	---	0.89	2 000 C
15	0.45	9 000 C	---	---	0.57	29 000 C
34	0.84	3 000 C	---	---	0.69	12 000 C
9	0.34	4.8 %	---	---	0.36	7.1 %
10	0.73	300 C	---	---	0.40	2 000 C

--- non testé

C : Nombre de cycles à 10 % de la profondeur d'orniérage
% Pourcentage de la profondeur d'orniérage à 30000 cycles

Results on sites
With high temperature

$$D = A * (N)^B$$



DOT Colorado study

Results on sites

At moderated temperature

site	Température d'essai : 60 °C		Température d'essai : 55°C		Température d'essai : 50 °C	
	pente (B)	Orniérage à 30 000 ou cycles pour 10 %	pente (B)	Orniérage à 30 000 ou cycles pour 10 %	pente (B)	Orniérage à 30 000 ou cycles pour 10 %
19	0.37	12 000 C	0.36	7.8 %	0.37	9.7 %
20	0.96	400 C	*0.93	700 C	0.90	1 000 C
27	0.41	20 000 C	0.28	4.4 %	0.31	3.7 %
28	1.02	200 C	*1.03	1 000 C	1.03	2 000 C
5	0.71	7 000 C	0.26	3.1 %	0.38	2.5 %
6	0.74	300 C	*0.72	*1 000 C	0.70	2 000 C
7	0.49	4 000 C	---	---	0.37	6.4 %
8	0.89	400 C	*.82	*700 C	0.75	1 000 C
3	0.55	7 000 C	---	---	0.37	2.9 %
4	0.73	500 C	*0.73	*2 000 C	0.74	5 000 C
13	0.41	7.9 %	*0.32	*5.5 %	0.24	3.0 %
14	0.92	200 C	0.55	5 000 C	0.62	3 000 C
11	0.92	5.7 %	*0.21	*5.1 %	0.21	4.4 %
12	1.06	800 C	*0.95	*2 000 C	0.85	3 000 C
29	0.38	15 000 C	0.44	27 000 C	0.36	3.6 %
30	0.60	4 000 C	0.55	6 000 C	0.59	12 000C



DOT Colorado study

Results on sites With low temperature

site	Température d'essai : 60 °C		Température d'essai : 55°C		Température d'essai : 50 °C	
	pente (B)	Orniérage à 30 000 ou cycles pour 10 %	pente (B)	Orniérage à 30 000 ou cycles pour 10 %	pente (B)	Orniérage à 30 000 ou cycles pour 10 %
33	0.85	5 000 C	0.77	8 000 C	0.46	5.5 %
32	0.33	4.7 %	0.35	4.3 %	0.44	4.1 %
31	0.62	5 000 C	-----	---	0.60	3.9 %
18	1.66	8 000 C	0.53	17 000 C	-----	-----
17	0.79	3 000 C	0.71	9 000 C	0.75	9 000 C
37	0.37	3.8 %	-----	---	0.30	1.9 %
36	0.29	6.1 %	0.29	5.3 %	0.30	4.3 %

--- non testé

C : Nombre de cycles à 10 % de la profondeur d'orniérage

% Pourcentage de la profondeur d'orniérage à 30000 cycles



DOT Colorado study

ranging : behaviour site / LPC criteria

French criteria		Performance effective des revêtements	
		Pas d'orniérage	Orniérage
Résultats	succès	4	0
L.C.P.C.	échec	11	16

Tableau 3
Comparaison des performances effectives des revêtements avec la spécification française utilisant une température d'essai de 60°C

Adapted criteria		Performance effective des revêtements	
		Pas d'orniérage	Orniérage
Résultats	succès	10	0
L.C.P.C.	échec	4	16

Tableau 7
Comparaison des performances effectives des revêtements avec la spécification française utilisant des températures d'essai variables



DOT Colorado study: rutting prediction

heavy traffic – adapted temperature

low traffic – adapted temperature

Figure 2
Pente de l'ornièr LCPC comparée aux profondeurs d'ornièrage effectives pour les sites à fort trafic en utilisant des températures d'essai variables

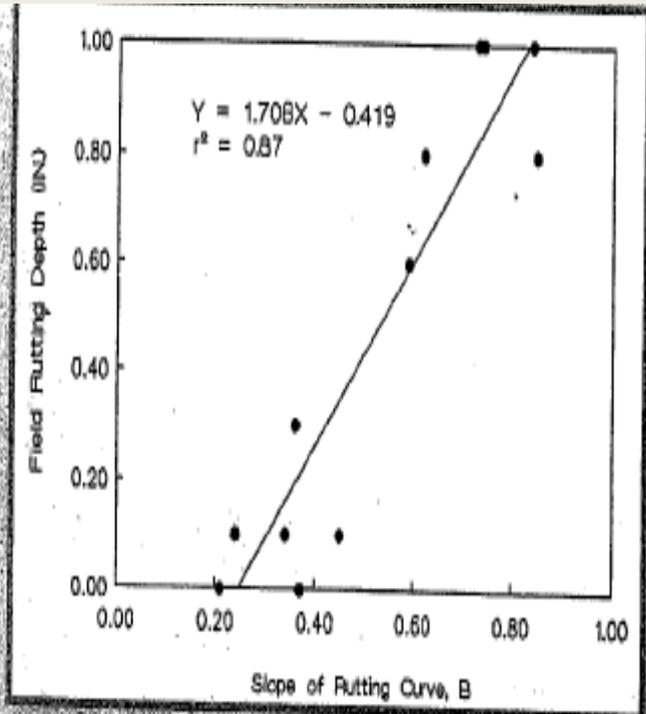
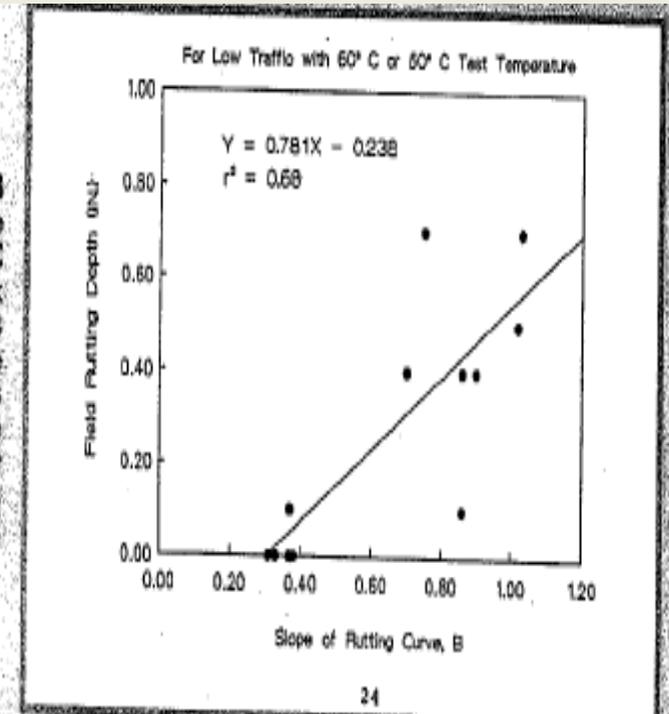


Figure 3
Pente de l'ornièr LCPC comparée aux profondeurs d'ornièrage effectives pour les sites à faible trafic en utilisant des températures d'essai variables



Excellent correlation between rutting prevision with LPC equipment and on job site, if taking into account : heavy traffic and temperature



Aditivos : Ejemplo

Anti-ahuellamiento: capas de rodadura (ligante), aplicaciones Modulo elevado

- **Asfalto modificado concentrado** en gránulos - tamaño de pellet de 2 hasta 4 mm.
- **Plastómeros pre-digeridos con asfalto especial** y tratado con un **agente anti-contracción**
- Dosificación: **tasa de adición desde 0.4% hasta 0,6% en peso** de la mezcla asfáltica, posibilidad de reducir el porcentaje de asfalto
- Pre-digestión de los polímeros con el asfalto → **tiempo de mezcla muy corto y misma temperatura.**



Aditivos : Calidad / Trazabilidad

Ejemplos de ensayos de control de calidad

CONTROL PRODUCTO FINAL

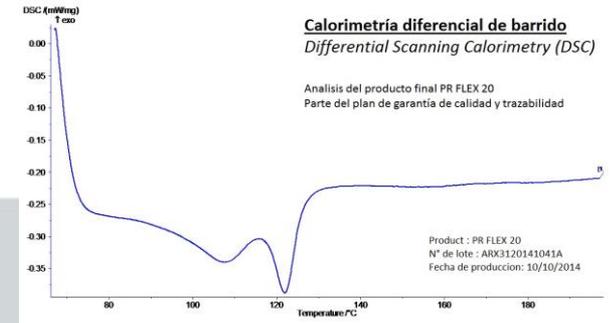
Control de fabricación de aditivo:

- DSC
- Índice de fluidez (Melt index)
- Tracción
- Deformación y punzonamiento



CERTIFICADO DE CALIDAD

- Se aplica el proceso de control calidad para cada lote de producción
- Un certificado de conformidad es presentado con cada entrega



Ejemplo de DSC para caracterizar el aditivo

Control de rendimiento sobre el asfalto:

- Compactación (PCG)
- Sensibilidad al agua
- Rodamiento
- Modulo
- Fatiga



Aditivo : Calidad / Trazabilidad

Certificate of Conformance					
					
Certificate Number	A0120181021	Product	FR PLAST 5 [®]		
Batch Number	AEO0120181041A	Formulation	FRANCE		
Basic Tests					
		RESULT	SPCIFICATION		
Appearance	Form	Granule	Granule		
	Size	2 - 4 mm	2 - 4 mm		
	Color	Dark	Dark		
Melt Index at 190°C, under 5 Kg load NF EN ISO 1133-1		3.9 g/10min	> 1.5 g/10min		
Heating Test at 150°C during 90 min	Soft	Solid	Soft		
Contraction NF EN ISO 294-4		0.90%	< 1%		
Penetration Index Test Content of bitumen	Yes	No	Yes		
Asphalt Tests					
Asphalt formula	Marshall Test		Enring Test		SPECIFICATION
	0/2 C	42.0%	0/4 R	42.0%	
	2/6 C	15.0%	4/6 C	10.0%	
	6/10 C	43.0%	6/10 C	45.0%	Mineral powder 3.0%
	RESULT			SPECIFICATION	
	Without additive Bitumen 5.8%	With additive Bitumen 5.6% + 0.4% additive	Improvement		
Marshall Test NF EN 12697-34	14.01 KN	16.01 KN	14.3%		with additive at least +10%
Enring Test NF EN 12697-22 large model	16.5 mm	4.7 mm	-71.5%	with additive at least - 40%	
Result	Qualified			Rejected	
Date	21 October 2013	Inspector	NSIVESTRE		
Signature					

Certificado de calidad

Ejemplo de las especificaciones del plan de garantía de calidad para el aditivo:

- **Fluidez:** a 190 °C comprendida entre 3 y 5 gr por 10 min (Norma ISO 1133)
- **Punto de fusión:** comprendido entre 90 °C y 135°C medurado por DSC (Norma ISO 11357-1)
- **Material tratamiento anti-contracción:** con un resultado inferior a 1,2% (Norma ISO 294-4)
- **Material pre-digerido con asfalto**
- **Producto granulado:** con un tamaño comprendido entre 2 y 4mm.



Additivo : comparativo estudio LPC orniéreur

Product	Dosage %	50/70 Bitumen Dosage	Rut Depth <small>NF EN 12697-22</small>			
			1000 cycles	3000 cycles	10000 cycles	30000 cycles
Sample	0	6%	3,5%	6,9%	10.4%	14.0%
PR PLAST.S	0,40%	6%	2,1%	2,8%	3.5%	4,1%



SIN ADITIVO



CON 0,4% ADITIVO



Aditivo: análisis del comportamiento

Barrera de control policial en Argelia

Ningxia Zhonghao motorway (2006)



Antes



Con aditivo
Después de 5 años de servicio



Balance del tema ahuellamiento en Francia

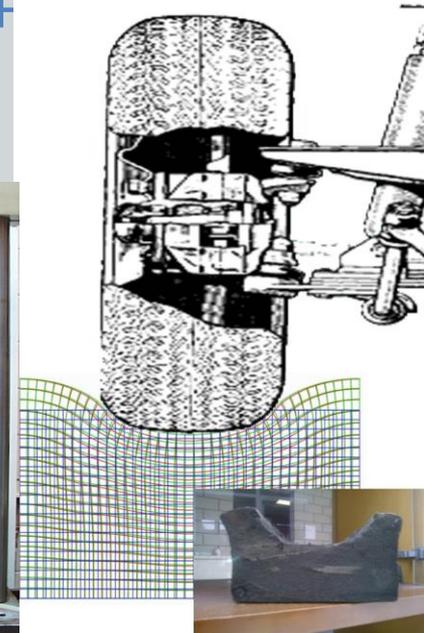
- **Muy buen dominio del ahuellamiento cualquiera sea la naturaleza del tránsito, por:**
 - Mezclas asfálticas optimizadas (agregados, ligantes, aditivos)
 - Herramienta de evaluación: ornièreur LPC (repetible, selectivo, pertinente)
 - Especificaciones ajustadas a las solicitudes,
 - Control de calidad, trazabilidad, expertise.
- **Sin ahuellamiento en rutas de tránsito elevado** (autopistas, RN, periféricas).
- Ningún problema durante la **canícula de agosto de 2003**, en Francia mientras que hubo numerosos casos de ahuellamiento en Europa.
- Otras soluciones alternativas a las mezclas asfálticas, para tratar puntos singulares: hormigón de cemento ponctuel (incluso desmontable), mixta con mortero asfáltico.



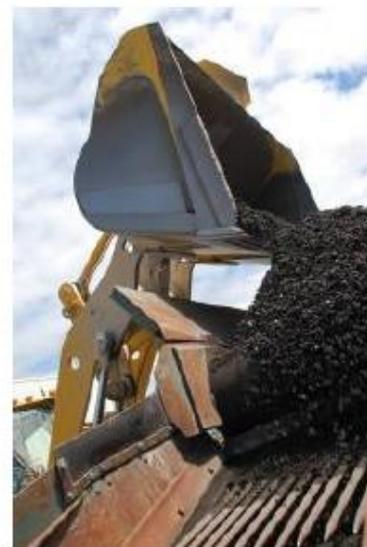
aún más cargas >> necesidad de más investigación

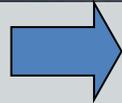


- Modelización del comportamiento bajo tránsito a las deformaciones plásticas permanentes, para predecir las deformaciones y su evolución, mediante leyes de comportamiento.
- Combinar :
 - Ensayos visco-elasto-plástico : Triaxial / módulo complejo
 - Cálculo por elementos finitos FEM : Cast3m / César LFC
 - Ley de Perzyna
- Teniendo en cuenta 8 parametros explicativos:
 - Deformación vs tensión
 - Deformación permanente (endurecimiento)
 - Comportamiento tridimensional



Segunda parte : Reciclado en caliente (tibias) en planta





Reciclado en caliente en planta

Reciclado en sitio en caliente

Retratamiento en frío en sitio

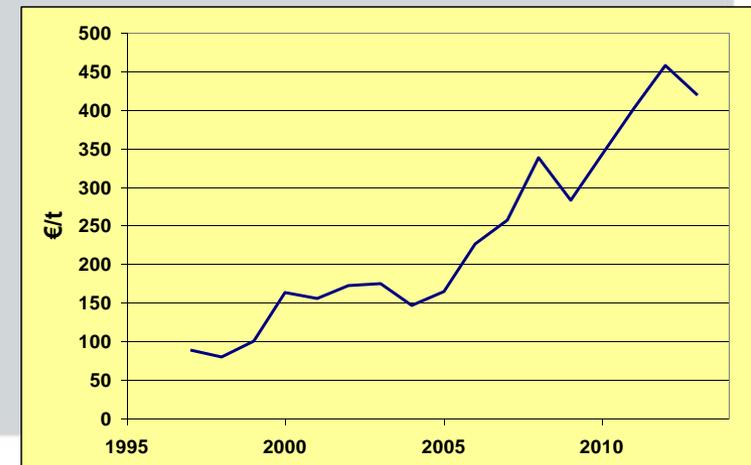




Por qué reciclar ?

- Respetar la legislación, recomendaciones,...
- Economía de materiales no renovables
 - Granulares y Asfálticos
 - No se desechan materiales valorizables
- Economía de derivados del petróleo - energía
 - Asfaltos que conservan una acción ligante
 - Combustible para transportar los materiales (nuevos, desechos, extracción)
 - Gas y fuel (procedimientos tibios)
- Satisfacer el Desarrollo Sustentable

*Evolución del precio de materias primas
Ej: costo del asfalto*



Historia: un procedimiento « antiguo »

- **1975 : Primeras aplicaciones**
 - *Fresado : caliente – frío?*
 - *Planta fija: problema de entrada del RAP*
 - *Viaje de estudio a USA*
 - **Tasa débil : 10 a 20%**
- **1980 - 82 : Numerosas experiencias sobre RN- A**
 - *Fresado en frío de gran capacidad*
 - *Dirección de routes et services techniques (LRPC-SETRA)*
 - **Obras de rehabilitación:** falta de liga de capa de rodamiento
 - **Estudio de formulación, metodología francesa**
 - **Planta** (TSM Tambor Secador Mezclador , flujo paralelo, caja de **ardilla**)
 - **Tasas variables: 20 a 50 incluso 60%**
 - *Capas de rodamiento e intermedias (RAP: antiguas capas de rodamiento)*
 - *Seguimiento riguroso, primeras recomendaciones y especificaciones*
 - *TBA < 75° C, penetrac. > 10, y Dmax 25 mm*



Historia : un procedimiento « antiguo »

- **1980 - 82 : Numerosas experiencias** (cont.)
 - *Balance globalmente positivo,*
 - *Investigación sobre el reciclado de ligantes*
- **1982 - 90: Abandono de la técnica**
 - **Muchas restricciones verdaderas o falsas:**
 - *Identificación, regularidad, pertinencia de estudios de laboratorio, ...*
 - *Margen más grande sobre materiales nuevos, fácilmente disponibles*
 - *Mise en décharge interdite (mais dérogations trop fréquentes)*
- **1990: Carta de innovación en autopistas : reciclaje BBDr en BBDr**
 - Tasa elevada : 40 à 50%
 - Central Astec doble barril
 - Buen balance
- **1992 - 2005: Estancamiento, reciclado a tasa baja 10%**
- **2005 - 2014: Política del medio ambiente**
 - **Retorno y desarrollo generalizado del reciclado en caliente**



Historia: un procedimiento « antiguo »

- 2005 - 2014: Política del medio ambiente (cont.)
 - Noción de desarrollo sustentable,
 - Análisis del ciclo de vida,
 - Acuerdos de Grenelle sobre medio ambiente (2009),
 - Compromiso voluntario de las empresas de TP (2010),
 - Nuevos incentivos y toma de conciencia del reciclado,
 - Desarrollo de acciones por el medio ambiente (Qualité «90»)



Historia : un procedimiento « antiguo »

- **2005 - 2014: Política del medio ambiente** (cont.)
 - **Reciclado de todo tipo de productos**, comprendiendo BB y BmP, salvo
 - BBDr (muy poco, abandono de los BBDr, reciclado de otras capas)
 - BBTM (NO tomar riesgo, en espesores menores a 25 mm)
 - **Tasa de reciclado**
 - Tasa « media » : **10% ó 20-25%** ó 40 à 65% autovías :
 - **Desarrollo de plantas de mezclas**
 - 6 a 8 de gran capacidad 400 t/h, tasa 50%
 - Planta continua a contraflujo : tasa 25 a 40%
 - Tolvas y dispositivos de entrada sobre planta fija

Tasa de reciclado % = $\text{Peso RAP} / \text{Peso mezcla}$

Tasa * :
 Baja : < 10%
 Media : 10 a 30%
 Alta : > 30%

*Norme terminologie : NF P 98-149 (version 2012)



Reciclado del RAP

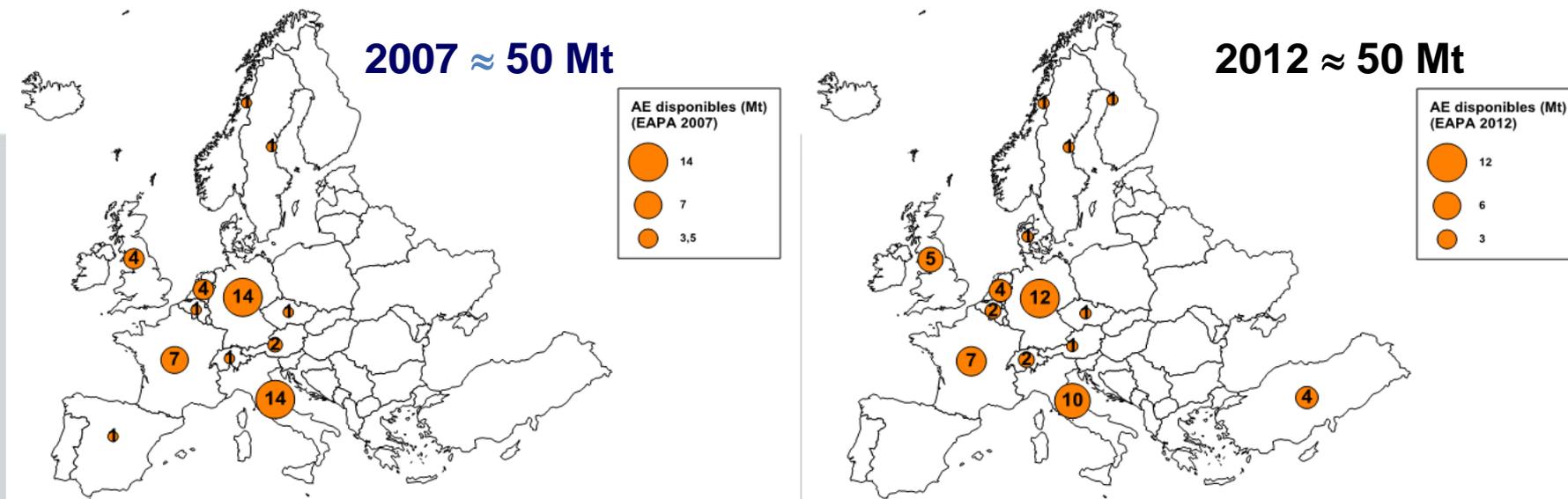
✦ 3 tipos de tasa:

- **Reciclado en la vía** (back to road) : **Objetivo : 100%**
- **Reciclado de RAP en una nueva mezcla** (ratio AE / BB) :
 - **Objetivo** : < idéntica capa que anteriormente (si es posible, 1 reciclaje)
 - **Tasa** :
 - Clásica 10 a 15% : sin nuevo estudio
 - Económica 20 a 35% : optimización de RAP/planta
 - Muy alta : 40 a 60 % : grandes obras homogéneas/planta especial
 - Hay que aumentar la tasa, hasta lo posible : **NO**
 - Hay que mejorar el comportamiento del asfalto viejo : **SI**
- **Proporción de RAP en la producción total de mezcla**
 - **Objetivo**: Tan elevado como sea posible

Mismo rendimiento en mezclas nuevas y recicladas



Evolución de RAP producido y su distribución (UE)



Situación estable, pero aumenta en los próximos años: mantenimiento >> construcción

La producción de RAP y su distribución geográfica son estables

Alemania + Italia + Francia + Gran Bretaña + Países Bajos ≈ 75%

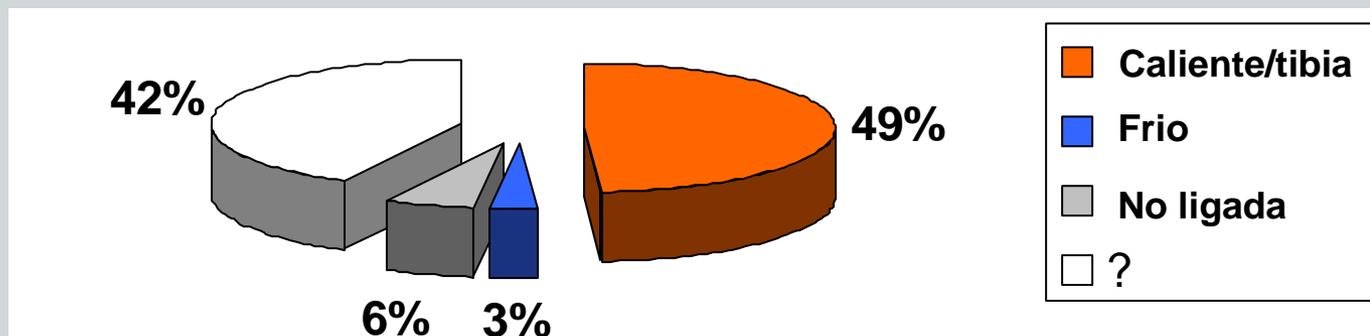
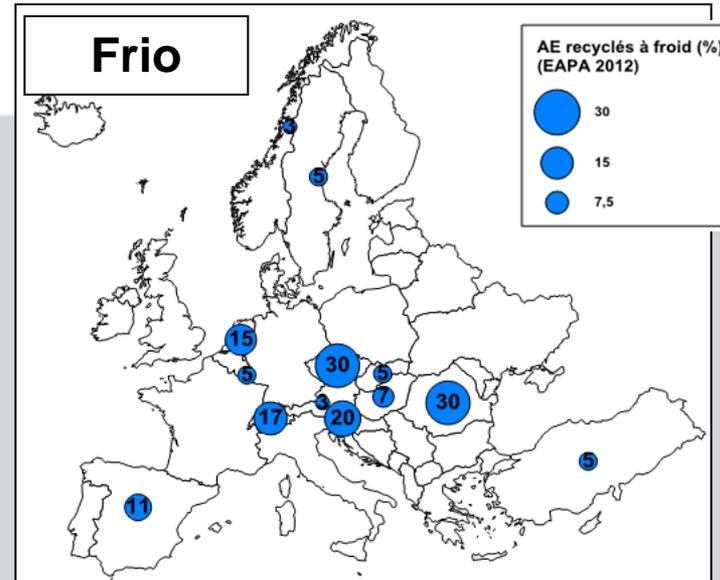
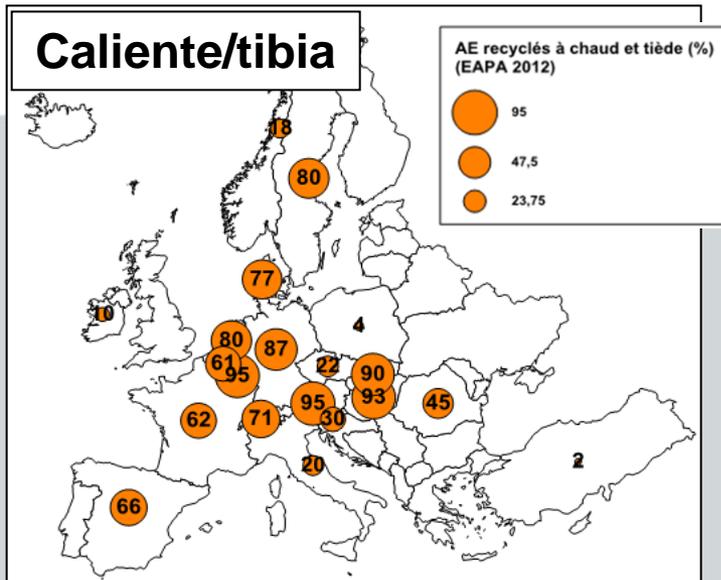
Producción total de mezcla en Europa (caliente/tibia) ≈ 300 a 350 Mt/año

Una tasa de incorporación media < 20% suficiente para reciclar el conjunto de RAP producido en UE

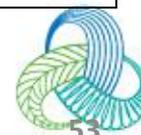
Australia ≈ 5%, USA ≈ 20%, Ontario-Canadá ≈ 30%



Distribución de RAP por técnica de reciclado (UE)



Las técnicas de reciclado en caliente son mayoritariamente utilizadas



Guía IDRRIM

Equipos de reciclado

- Principio de funcionamiento de plantas
 - Discontinua
 - Continua
- Diferencia : flujo paralelo / contraflujo

Matériels pour le recyclage en installations de production d'enrobés



Le Comité opérationnel méthodologie de l'IDRRIM a commandé au groupe permanent du recyclage la rédaction d'un guide sur le recyclage à moyen et fort taux, en installation de production d'enrobés à chaud.

Le Comité opérationnel méthodologie a confié la rédaction de la partie dédiée au matériel à la Commission Matériel¹ du Comité opérationnel AVIS.

Conséquemment, cette note aborde uniquement la fabrication en installation de production et l'état du parc, à l'exclusion des sujets dédiés à la production des agrégats d'enrobés, la formulation, la gestion des chantiers, les domaines d'emploi, ou aspects administratifs, traités par ailleurs par le groupe permanent.

¹ CISMA (Syndicats des Équipements pour Construction Infrastructures Sidérurgie et Manutention), USIRF (Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française) et SEMR (Station d'Essais des Matériaux Routiers) de Blois.

Sommaire

P.2 | Introduction

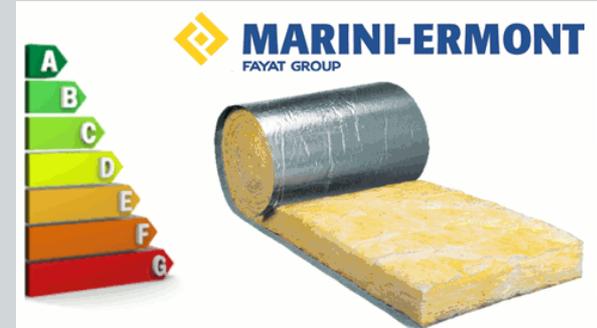
P.3 | Généralités

P.7 | Synthèse et Répartition des solutions continues et discontinues

P.9 | Solutions continues

P.14 | Solutions discontinues

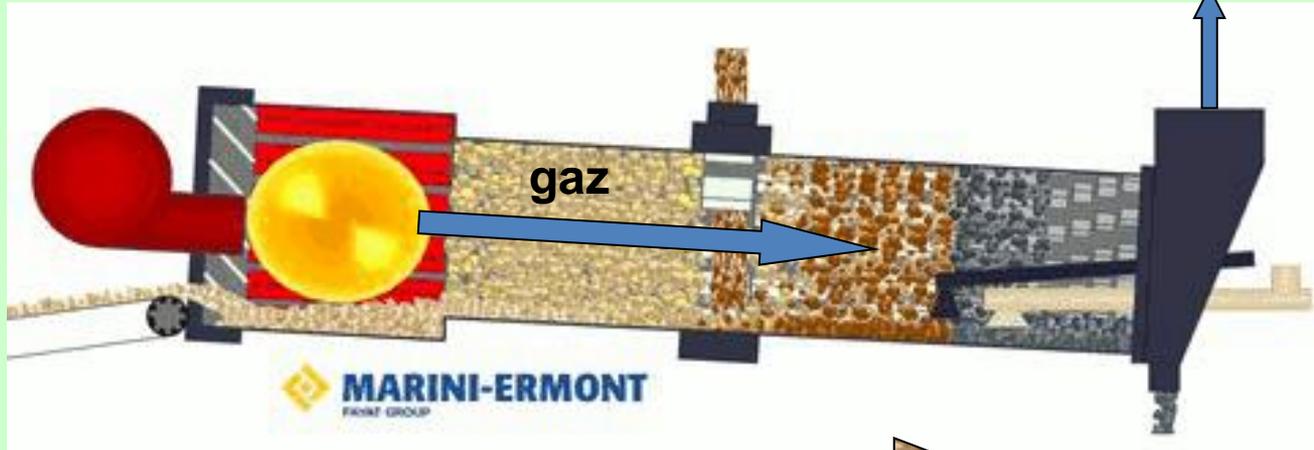
P.22 | Conclusion



Tambor secador mezclador, diferencia entre: Contraflujo y retroflujo

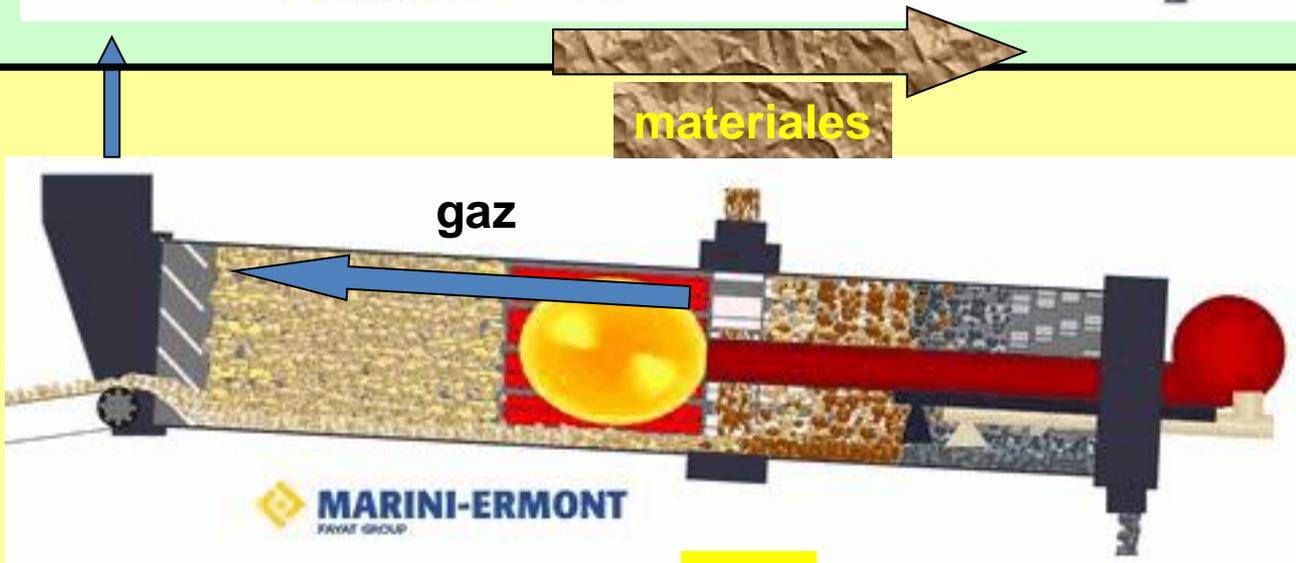
Flujo paralelo

30%



retroflujo

50%



Guía IDRRIM

Equipos de reciclado

- Principio de funcionamiento de plantas
 - Discontinua
 - Continua
- Diferencia : flujo paralelo / contraflujo
- **Reciclado : particularidades**
 - Modos de recalentamiento
 - Dispositivos de adición / tasa de reciclado
 - Descripción de las principales plantas de reciclado
 - Esquemas del principio
 - Descripciones generales
 - Planta del mañana eco-acreditada

Matériels pour le recyclage en installations de production d'enrobés



Le Comité opérationnel méthodologie de l'IDRRIM a commandé au groupe permanent du recyclage la rédaction d'un guide sur le recyclage à moyen et fort taux, en installation de production d'enrobés à chaud.

Le Comité opérationnel méthodologie a confié la rédaction de la partie dédiée au matériel à la Commission Matériel¹ du Comité opérationnel AVIS.

Sommaire

P.2 | Introduction

P.3 | Généralités

P.7 | Synthèse et Répartition des solutions continues et discontinues

P.9 | Solutions continues

P.14 | Solutions discontinues

P.22 | Conclusion

Conséquemment, cette note aborde uniquement la fabrication en installation de production et l'état du parc, à l'exclusion des sujets dédiés à la production des agrégats d'enrobés, la formulation, la gestion des chantiers, les domaines d'emploi, ou aspects administratifs, traités par ailleurs par le groupe permanent.

¹ CISMA (Syndicat des Équipements pour Construction Infrastructures sidérurgie et Manutention), USRF (Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française) et SEMR (Station d'Essais des Matériaux Routiers) de Blois.





Taux de recyclage des agrégats d'enrobés

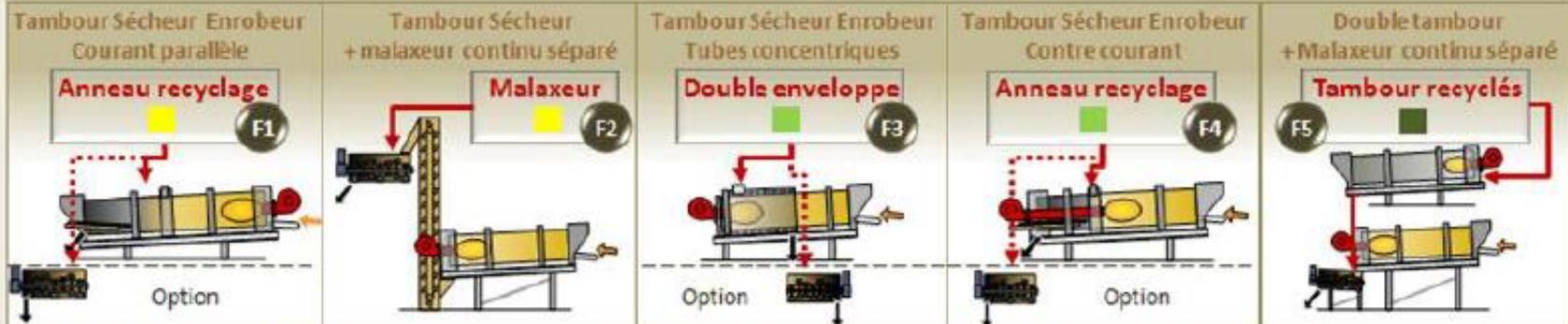
0 à 20%

20 à 40%

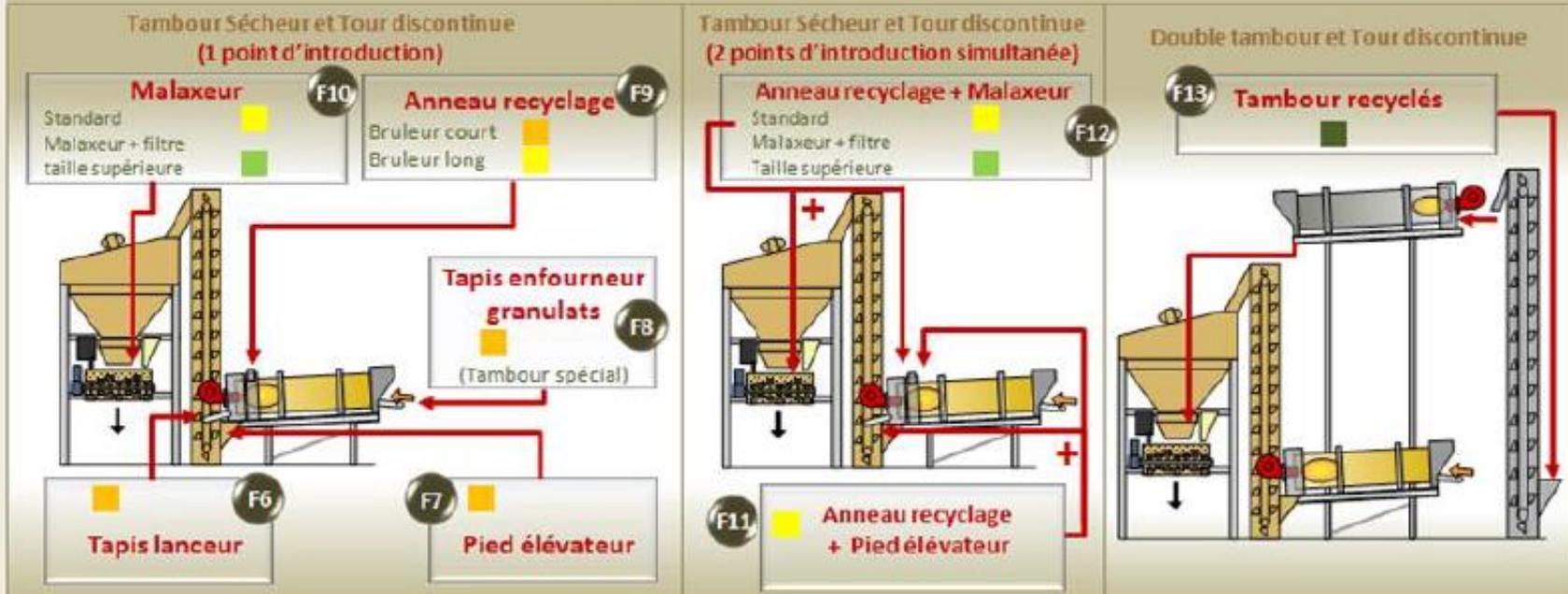
40-60%

> 60%

Installation type continu



Installation type discontinu



Ejemplo de Ficha del equipo



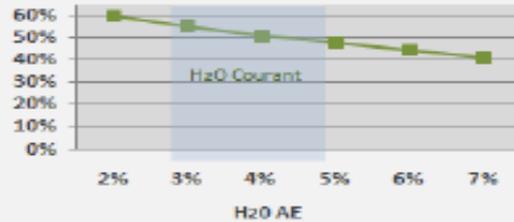
RECYCLAGE EN INSTALLATION DE FABRICATION D'ENROBES

F4

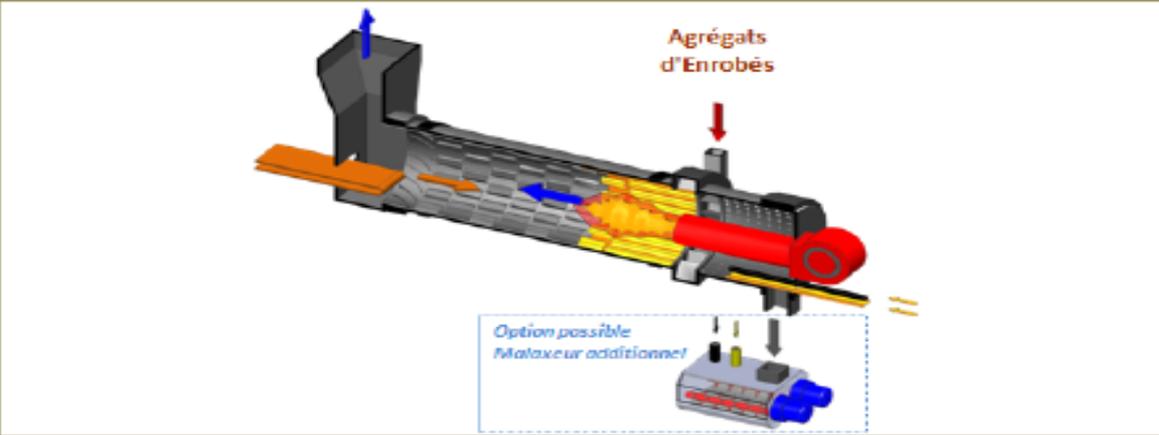
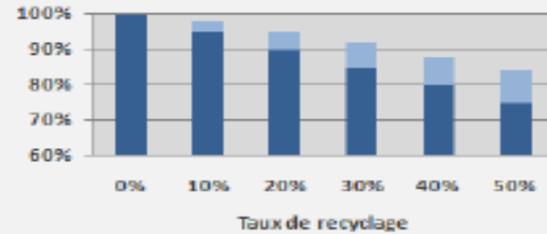
Procédé enrobage : Continu
 Technologie : Tambour Sécheur Enrobeur Contre courant
 Technique introduction agrégats d'enrobés : **Anneau de recyclage**



Taux de recyclage généralement constaté en fonction de la teneur en eau des Agrégats d'Enrobés



Variation du débit en fonction du taux de recyclage pour 5% H₂O et 3% H₂O

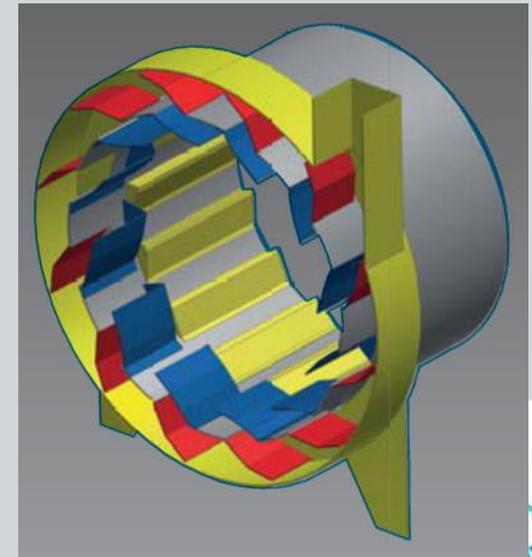


- 😊 *Filtre de taille supérieure*
Malaxeur additionnel
- 😞 *Colmatage de l'anneau*



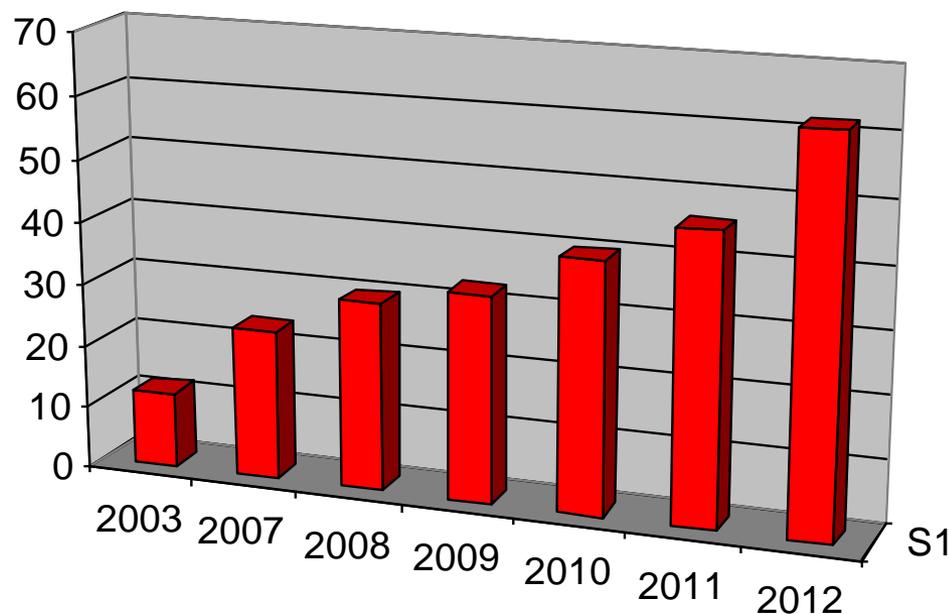
Estado actual (Francia)

- 50 % continua / 50% discontinua
- Tasa media de potencial de reciclado del parque:
 - 35 % para 3 % de humedad
- Plantas para > 60 % reciclado : 2 % del parque
- Técnica mas generalizada : anillo de reciclaje
- Modo discontinuo : introducción
 - Elevador en caliente (tasa : 10 a 15%)
 - Mezclado (tasa : 10 a 25%)
- Modo continuo: el mas generalizado
 - Tambor retroflujo (tasa 20 a 50 %)
 - Doble tambor (tasa 25 a 60 %)
 - Tambor paralelo (tasa 30 a 70 %)



Tendencias : fuerte aumento del reciclado RAP

% d'agrégats d'enrobés recyclés à chaud en centrale



Objetivo 2012 de la convención de compromiso voluntario : 60 % en planta

Alemania fin de los años 80 : ≈ 40% de RAP reciclado en caliente



Restricciones técnicas del reciclado

- **Mentalidad**
- **Materiales:**
 - Agregados de mezclas asfálticas:
 - Dispersión – Homogeneidad - Disponibilidad
 - Estudios previos si tasa > 20% (muestreos, performances, tiempos)
 - Asfalto viejo, es todavía un ligante? Identificación
 - Asunto de la compatibilidad, durabilidad, envejecimiento,...
 - Tramos de prueba
- **Equipos:**
 - Fresado, Transporte,
 - Plataforma de almacenamiento, trituración/cribado
 - Planta de mezclas
 - Discontinua
 - Continua
 - Tasa de reciclado



Medida del reciclaje

10%

el más utilizado sin disposición específica (tolva de reciclaje)

Baja

Clásico



25%

Alta

Técnica dominado

50%

Mas
Alta

**Técnica
especial**

Chantiers particuliers

Plusieurs fractions d'agrégats

Besoin de retour d'expérience

Nécessité d'utiliser des centrales
spécifiques

70%

**Problema de la disponibilidad
y calidad del asfalto reciclaje**

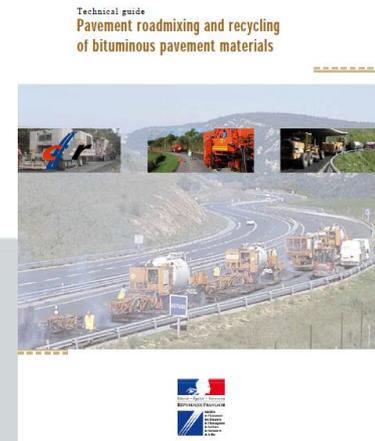


Tasa de
reciclaje



Invitación al reciclaje

- Na hay legislación
- Normatividad europea
 - RAP : identificación-clasificación NF EN 13 108-8
 - Materiales extraños grossiers : NF EN 12 697-42
- Recomendaciones :
 - Notas del director de vías (2000, 2009),
 - No nuevos estudios si : < 10% rlt, < 15% assises (estudios LCPC)
 - Guía de utilización de normas europeas (tasa) (2008)
 - Guia de reciclaje (2015)
- Contratos con variante
- Criterios de evaluación en los contratos



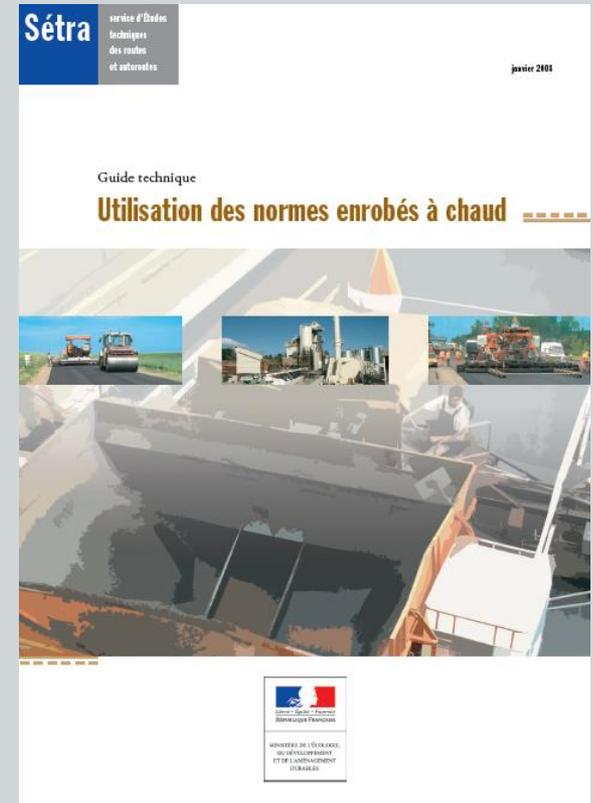
Guía de uso de normas de mezclas asfálticas

- Referencia para :
 - Especificación de RAP
 - Clasificación de RAP(# Norme RAP)
 - Tasa de reciclaje f(tipo de mezcla)

Classification du bitume récupéré des AE

NFEN 13108-8		GUNE ou FTAE	
P15 péné	Tous > 10	B1 ou	Tous > 5
	Moyenne > 15		Etendue < 15*
S70	Tous < 77° C	B1	Tous < 77° C
TBA	Moyenne < 70° C		Etendue < 8*

* Si étendue plus forte : B2



Especificaciones de agregados de mezclas

Domaine d'emploi

7 - Agrégats d'enrobés



Guide technique
Utilisation des normes enrobés à chaud

7.1 - Utilisation des agrégats d'enrobés

La norme NF EN 13108-8 permet la classification des agrégats d'enrobés. Le tableau 11 suivant la complète et précise l'emploi possible des agrégats d'enrobés dans la formulation d'enrobés neufs suivant leur composition et caractérisation.

Utilisation des agrégats d'enrobés							
Usage dans la chaussée	Couche de roulement		0 %	10 % ⁽¹⁾	30 %	10 %	40 %
	Couche de liaison		10 %	20 %	30%	40 %	
	Couche d'assise						
Composants de l'agrégat d'enrobé	Liant bitumineux	Teneur	TL _{NS}	TL ₂	TL ₁		
		Pénétrabilité ou TBA	B _{NS}		B ₂	B ₁	
	Granulat	Granularité	G _{NS}		G ₂		G ₁
		Caractéristiques intrinsèques	R _{NS}			R ₁	R _{NS}

⁽¹⁾ si la teneur en liant moyenne de l'agrégat est supérieure à 5 %, on considère que l'enrobé est un béton bitumineux dont les granulats ont été choisis selon des critères minimaux voisins de ceux qui sont recherchés pour le matériau recyclé.

Tableau 11: utilisation des agrégats d'enrobés



Especificaciones de agregados de mezclas

Caractérisation du bitume récupéré

Il faudra donc procéder à la connaissance des agrégats qui font l'objet des chapitres suivants pour pouvoir utiliser les agrégats d'enrobés aux pourcentages définis dans le tableau ci-dessus :

- teneur en liant (TL) moyenne et étendue (7.2) ;
- pénétrabilité minimale ou température bille et anneau maximale (B) du liant de l'agrégat et étendue (7.3) ;
- homogénéité granulométrique (G) des agrégats d'enrobé (7.4) ;
- caractéristiques intrinsèques et angularité (R) (7.5).

Étendue de la teneur en liant	Catégorie
$\leq 1 \%$	TL ₁
$\leq 2 \%$	TL ₂
$> 2 \%$ ou non spécifié	TL _{NS}

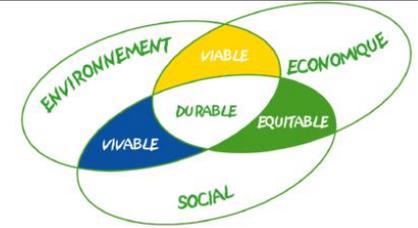
Tableau 12 : teneur en liant et catégorie d'agrégats

Pénétrabilité en 1/10 mm	TBA en °C	Fréquence des essais	Catégorie
Minimale = 5 et étendue ≤ 15	Maximale = 77 et étendue ≤ 8	1 essai pour 1000 tonnes avec un minimum de 5 essais	B ₁
Minimale = 5	Maximale = 77	1 essai pour 1000 tonnes avec un minimum de 5 essais	B ₂
A déclarer	A déclarer	Non spécifiée	B _{NS}

Tableau 13 : classification vis à vis de l'étendue de la pénétrabilité ou de la TBA du liant



Procesos de reciclaje



- **Multi-reciclado** : asunto técnico-económico
 - Interés de la comunidad científica,
 - Investigaciones y estudios a realizar,
 - Tramos experimentales a desarrollar,
 - Seguimientos indispensables,
 - Puntos claves :
 - Qué % de bitumen viejo se puede movilizar?
 - Todavía es un ligante?
 - Performances y durabilidad de multi-ligantes?
 - Asunto de la resistencia mecánica de agregados multireciclados?
 - Límite extremo : Considerar solamente los agregados.



Ejemplos de reciclado : 3 situaciones de tasas

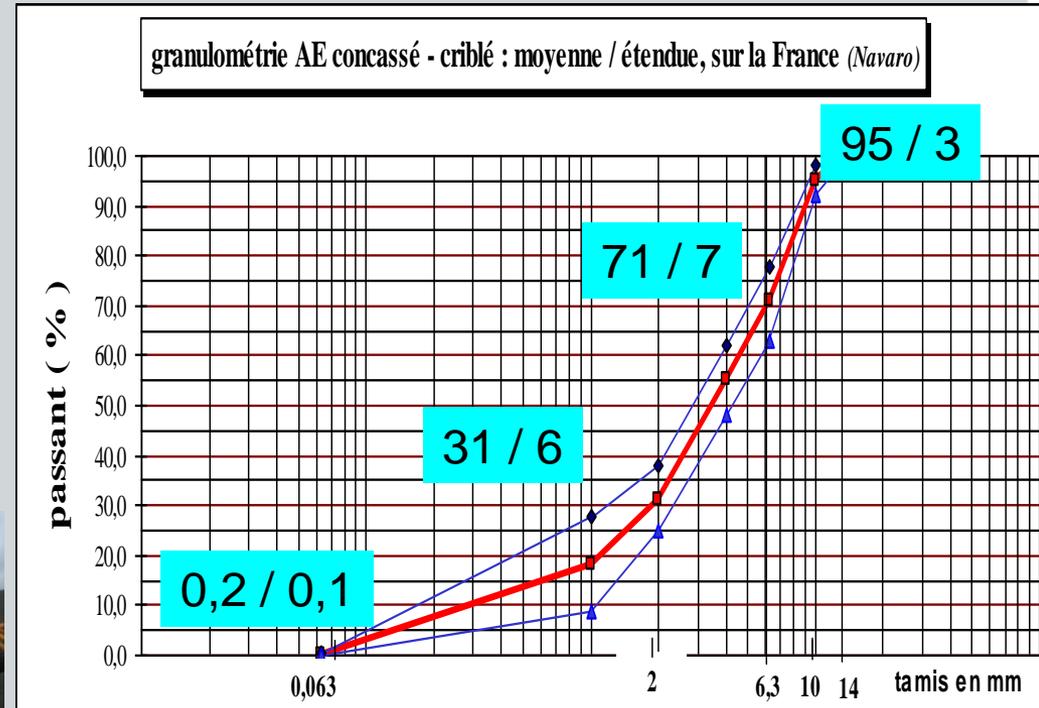
- Simple: 10% - trituración RAP origen múltiple
 - Ningún estudio nuevo, cualquier tipo de asfalto
- Medio: 25% - RAP BBSG 0/10 de superficie >> GB 0/14 clase 4
 - Estudio de laboratorio de formulación
 - Central, con anillo de reciclaje
- Tasa muy alta: 50% y 65% - autopista, RAP muy homogénea>> EME
 - Estudio de laboratorio de formulación
 - Validación central del sitio
 - Tambor doble en la planta



Tipo de perfil de RAP aplastado - proyectado

promedio / desviación estándar

- Diversas fuentes
- Mezclar diferentes
- Selección previo
- Planta de trituración
- Proyección # 8, 10 o 14 mm
- Almacenamiento de agua



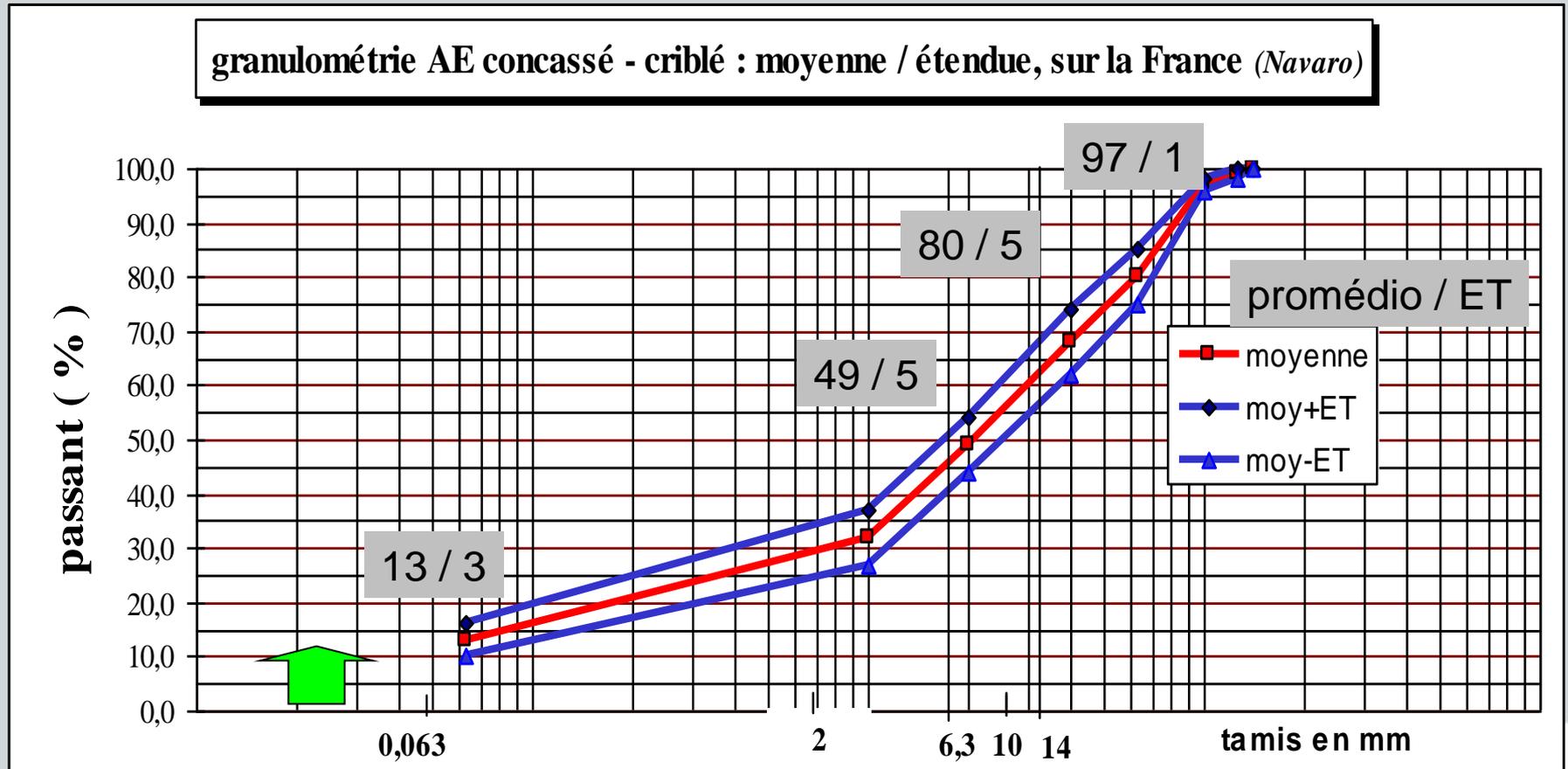
granulometría RA,
asplatao y proyectado a 14 mm,
diferentes regiones,
con betún.

Origine : thèse de J. Navaro



Tipo de perfil de RAP (aplastado – proyectado) : granularidad

RAP granularidad, sin betun, todas las regiones combinadas (10 plantas)



Buena homogeneidad del conjunto, por reciclaje à 10%.



Tipo de perfil de RAP : dosificación y calidad de betún recuperado

- Dosificación tipo en betún:
 - Promedio : 4,7%
 - Gama maxima: 3,5 à 5,5 %
 - Gama « promedio » : 3,8 à 5,3%
- Caracterización tipo del betún:
 - **Penetración : 15 (gama ± 5 à 7)**
 - **Temperatura del anillo y bola : 70° C (gama ± 3 à 5)**
- A veces mucho más fuertes variaciones la atención en el sitio!
- **No hay problema para una taza de 10% reciclaje, sin estudio de formulación**
(estudios LCPC en 2000 a 10% en la superficie y 15% en base)



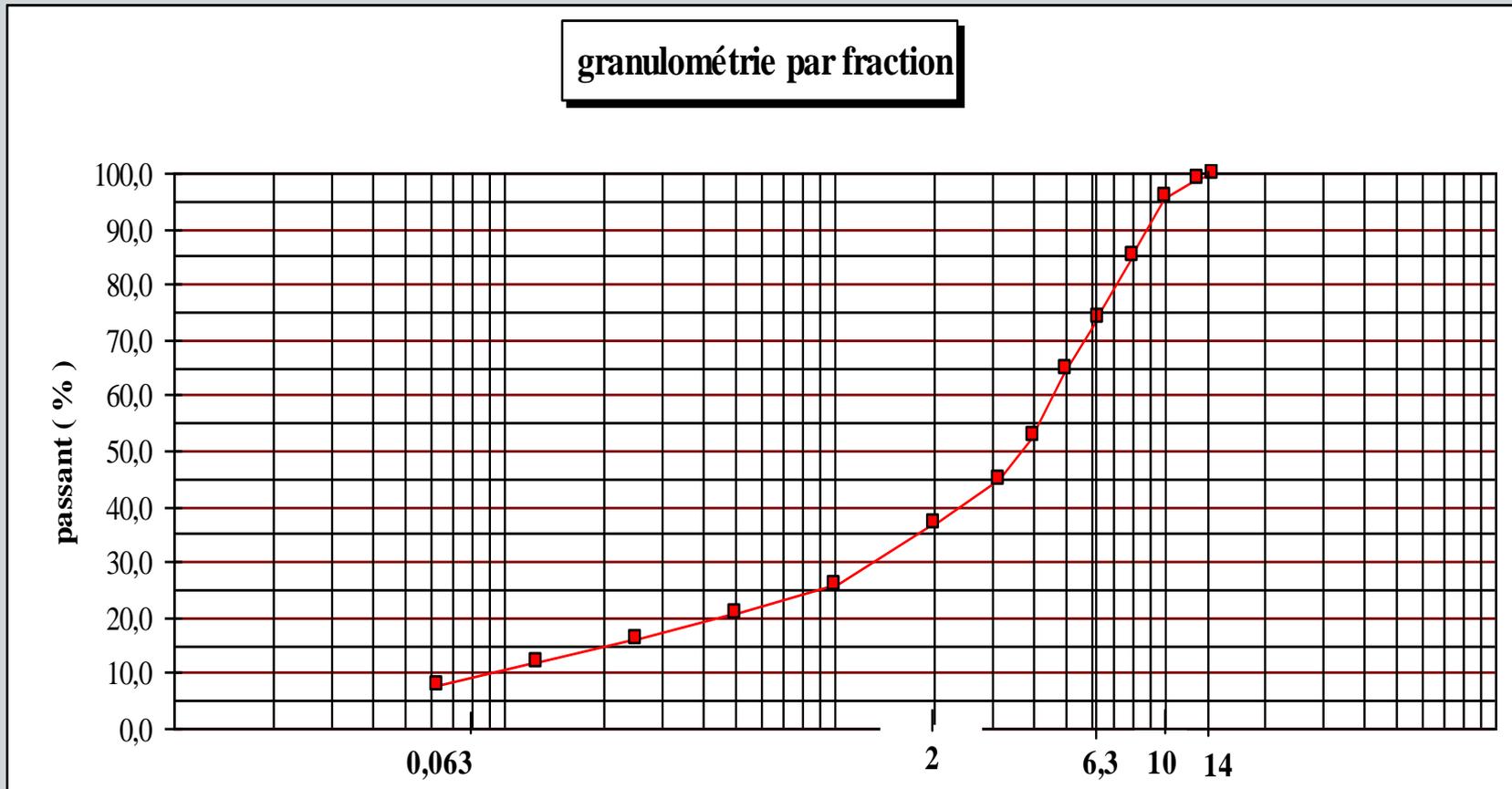
Método y caracterización de betún residual

- Vieja capa de rodamiento : BBSG 0/10 uniforme, espesor 6 cm
- Evaluar la homogeneidad:
 - los kilómetros de perforación (e.g.)
- Extracción para recuperar e identificar la carpeta:
 - Dosificación: 5,2% (1,3% en la tasa de contribución del 25%)
- Evaluar el contenido mediante la vinculación de la media y la gama
 - clase TL1
- Evaluación de las propiedades de la media y la gama (clase B)
 - Penetración : 13 décimo de milímetro
 - Temperatura B&A: 71 ° C
- ¿Ni siquiera es una carpeta dentro del significado del comportamiento a largo plazo del asfalto?
 - Sí

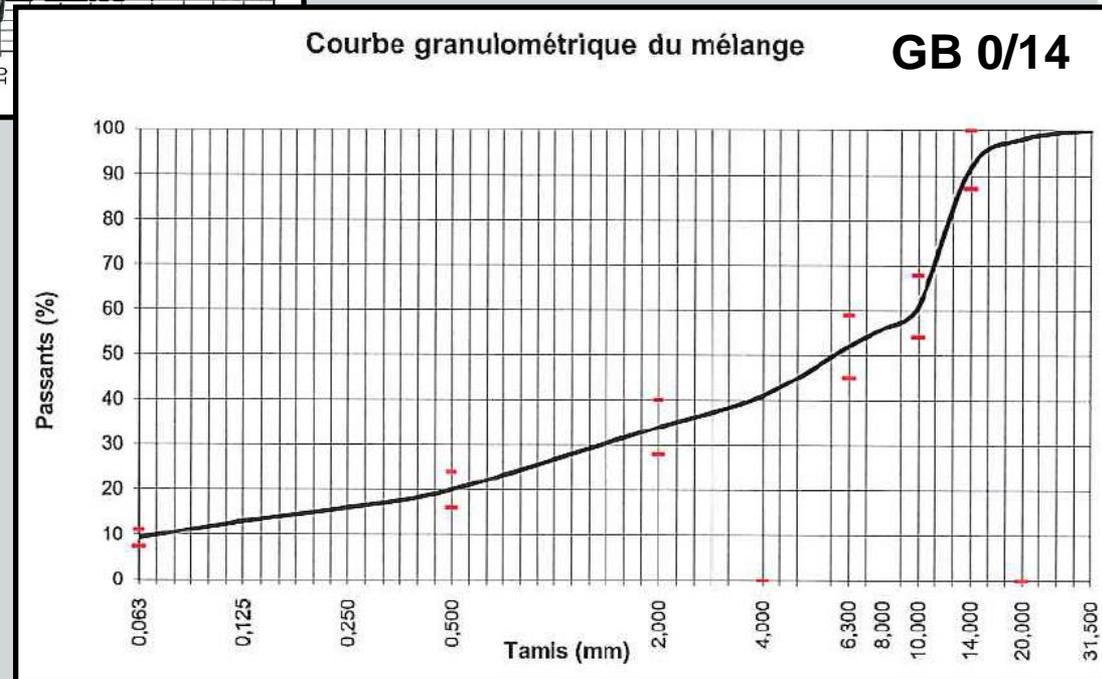
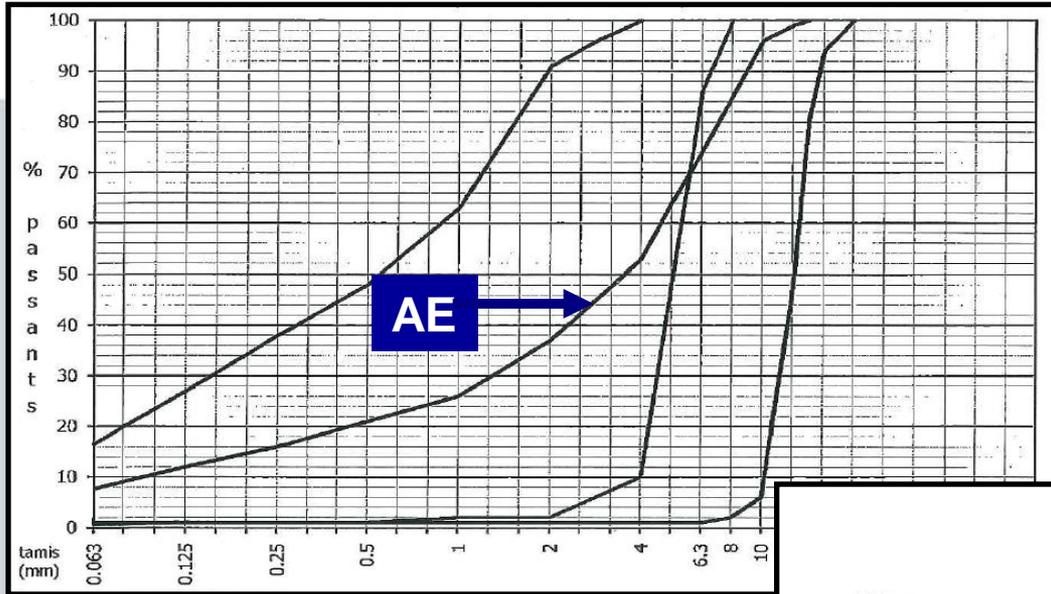


Características RAP: viejo BBSG 0/10

Curva granulométrica media, RAP sin betún



Curva granulométrica : componentes y mezcla



Composición y funcionamiento de la nueva GB 0/14 clase 4 - reciclado en 26%

- Composición:

- BBSG RAP ex 0/10: 26%
con 1,3% en betún envejecido
- Fracción 10/14: 39%
- Fracción 4/6: 7,7%
- Arena 0/2: 22%
- Bien aporte: 3%
- Betún nuevo 35/50: 3,3%

- Rendimiento

- PCG 100 rotaciones: 3,5% < 9
- Resistencia al agua: 100% > 75
- Ahuellamiento: 5,3% < 10
- Módulo: 15000 MPa > 11000
- Resistencia a fatiga: 108 > 100



Ejemplo de una obra vial

- Autopista, tráfico 50 000 v/día con 15% Camiones
- Reforzado por 12 cm EME + BBTM
- EME Reciclado a alta tasa : 50 y 65%
- RAP (autopista) :
 - Fresado de capa de rodamiento mezcla BBSG 0/10
 - bitumen puro (ver propiedades posteriormente)
 - Muy homogéneo, buena calidad,...
- Planta de mezcla adaptada
 - Dos tambores separados:
 - RAP : 65% (3,6% bitumen antiguo)
 - Viéjo betun : pene = 22; TBA 62,5° C
 - Granulares nuevos fracción 10/20 mm : 33,4 %
 - Bitumen duro tipo:
 - 15/25 adición : 2,6 o 1,7% (EME a 50 ó 65% - 2007)
 - 10/20 adición : 1,6% (EME 65% - 2008)



Planta de mezclas con ods tambores separados modelo Benninghoven

Sistema de preparación de RAP



Secador para el RAP

Secador de agregados nuevos 10/20

Obra A26 - 2008



Ejemplo MAM reciclado a 65%

Formulación

Nuevo granular calcáreo 10/20 :	34,5 %
RAP (antiguo BBSG 0/10 *) :	63,9 %
Bitumen nuevo (grado 10/20) :	1,6 %
Dosif. total de ligante (teórico):	5,22 %

Granulometría :

0,063	2	6	10	14	20 mm
7,1	28,5	48,5	64	75	97 %

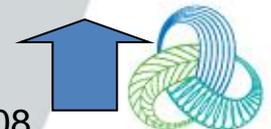
* *Cont Ligante teórico = 5,6%*

- Temperatura de fabricación : 170 y 180° C



Caracterización de ligantes (tasa 65%)

	Recuperación del agregado BBSG antiguo	Recuperación de la mezcla reciclada en planta	Recuperación de la mezcla reciclada en laboratorio (LCPC)	Mezcla laboratorio: 10/20 RTFOT + recuperación RAP
Penetración (1/10 mm)	22	14	15	14
Temperatura Bola y anillo TBA (° C)	62,5	67	66,6	65,8
% asfaltenos	16	17,2		15,6
Índice Carbonilo	4,5	4,6		2,6
Índice Sulfóxidos	12	10,8		6,8

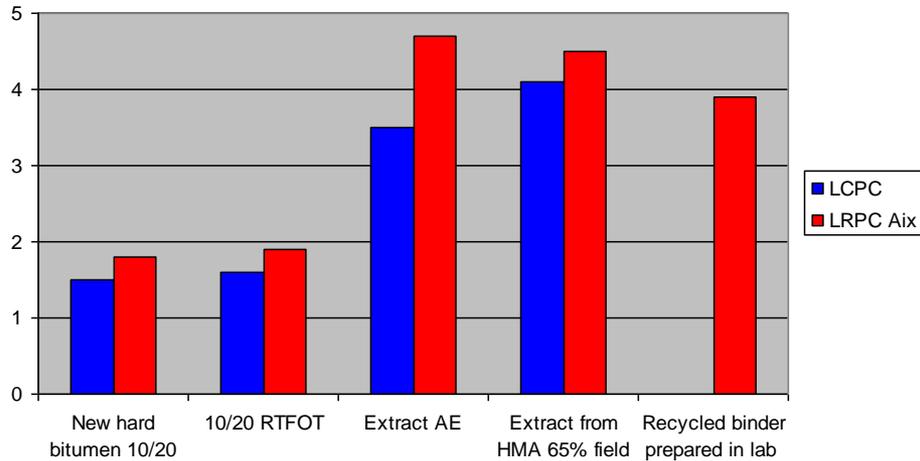


Chantier A26 - 2008

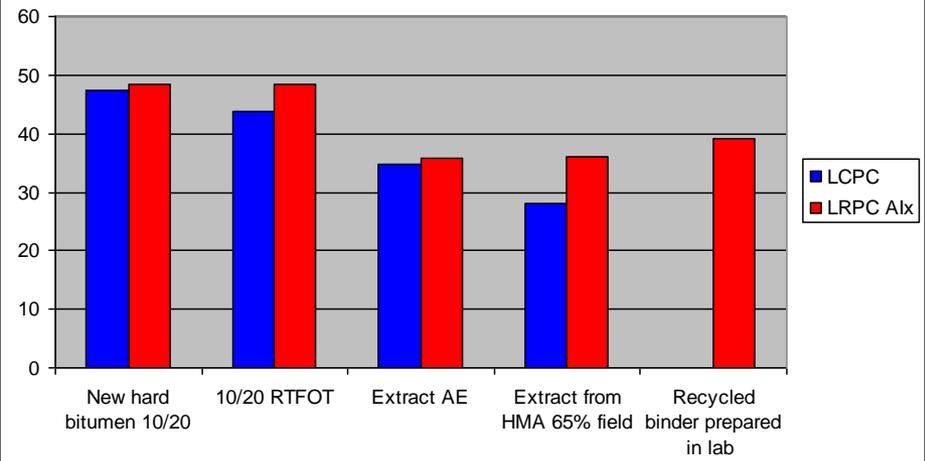
80

Estructura de ligantes : fracciones SARA

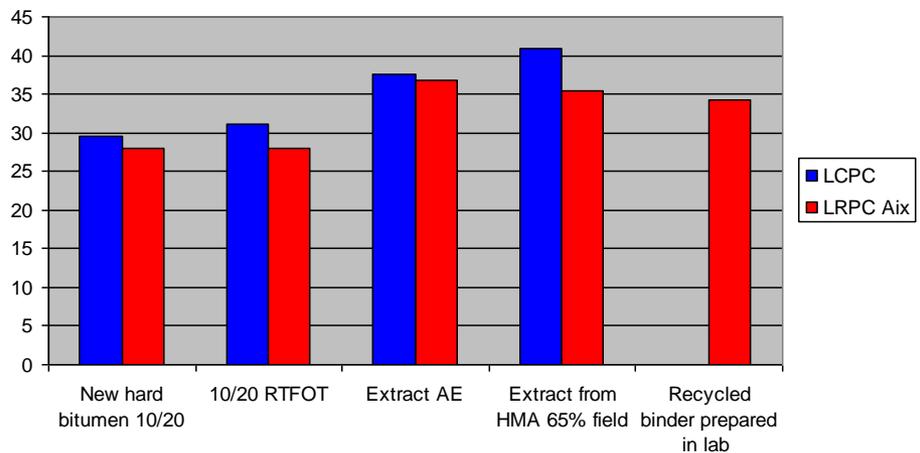
Saturés en % (IATROSCAN)



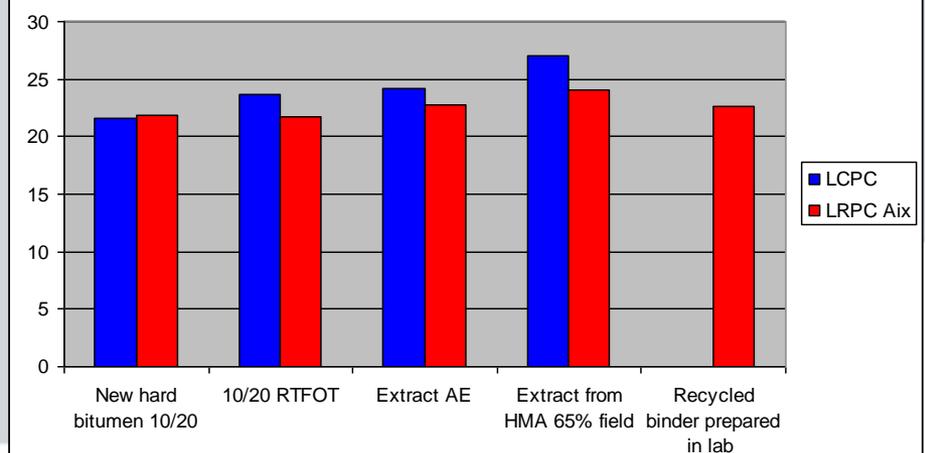
Aromatique en % (IATROSCAN)



Résines en % (IATROSCAN)



Asphaltènes en % (IATROSCAN)



Chantier A26 - 2008

Propiedades de MAM recicladas a 65%

ensayos : manejabilidad (PCG), sens. al agua, ahuellamiento

Comparación de estudios	Preliminares (empresa)	Estudio 2008 LCPC	Especificaciones MAM
PCG (NF EN 12697-31) V10 (vacíos %)	11	14	
V120 (%)	1,8	3,8	< 6
V200 (%)	1	2	
Sensibilidad al agua (NF EN 12697-12) Duriez r/R %	90	95	> 75
Ahuellam. (NF EN 12697-32) Huella 30000 ciclos (%)	5,9	3,1	< 7,5
% vacíos	3,8	4	3 a 6



Propiedades de MAM recicladas 65%

ensayos mecánicos: módulo (15°C-10 hz), fatiga (ϵ_6)



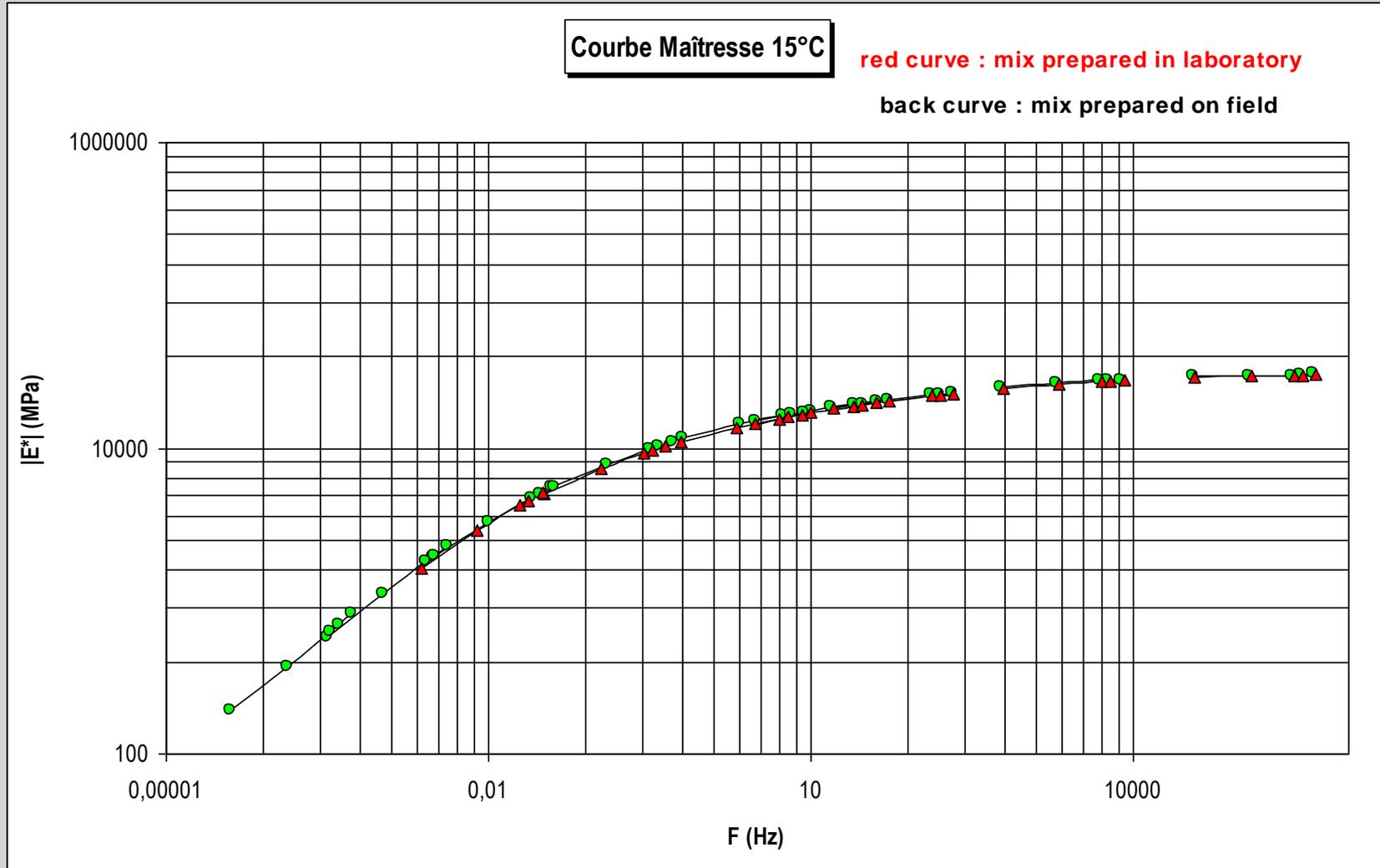
Comparación lab / campo	Estudio 2008 LCPC	Especificaciones MAM
Módulo (NF EN 12697-26) Flexión 15°C 10Hz (MPa) % vacíos	lab / obra** 17 000 / 17 550 3,5 / 4,0	➤ 14 000 3 à 6
Fatiga en flexión (NF EN 12697-24) Condic. de ensayo 10°C – 25 hz ϵ_6 (microdeformación) $\Delta\epsilon_6$ (microdeformación) % vacíos	lab / obra** 128 / 117 4,7 / 14*** 1,1 / 2,5	➤ 130 3 à 6



Buena comparación entre laboratorio / campo



Módulo de mezclas: curva maestra a 15°C, comparación laboratorio y campo



Balance de 30 años de experiencia en reciclaje

- Tasa de reciclaje : 10 a 70%
 - Tasa media corriente 10 a 25%
- Comportamiento : mas satisfactorio, incluso con BmP (*),
- Salvo casos específicos:
 - Degradaciones por: fisuración, fatiga, pero también ahuellamiento
 - Consecuencias de la variabilidad de RAP (ligante demasiado duro, heterogeneidad,...) o tasa de reciclaje demasiado alta, o defectos de fabricación y aplicación.
- Estudio previo + Formulación de mezcla reciclada muy importante (pertinencia del estudio con grande tasa de reciclaje, verificación en el sitio?)
- Dificultad para tomar en cuenta la alteración de los granulares, y las propiedades de adhesión y de regeneración (bitumen antiguo y nuevo).

(*) cómo se hace la mezcla entre el antiguo bitumen y el nuevo BmP?



Conclusión



- **mejorar** la resistencia a la **deformación plástica** permanente de materiales bituminosos, **es posible**. Se necesita una herramienta, especificaciones, materiales (áridos, aglomerantes, aditivos), una buena experiencia y control de calidad.
- **Reciclaje en caliente*** solución competitiva :
 - Ambiental
 - Técnica
 - Económica
 - Energía y desarrollo durable (material «Grenellizado »)
- **Investigación necesaria para:**
 - Mejorar las performances de la mezcla, preveer su envejecimiento y propiedades a mediano y largo plazo,
 - Evaluar los criterios del Desarrollo durable.



*(tibias)



No bote mas sus antiguas vías,
re-utilícelas y recicle su RAP !



