

L'asphalte naturel: liant ou additif?



Edith
Tartari
Selenice Bitumi





Sommaire de la présentation

- La **nature de la modification** des bitumes de raffinerie par l'ajout des asphaltes naturels **peut être comparée** à celle d'une introduction **d'additif chimique**
- Exemple d'application: **analyse comparative** entre un enrobé EME recyclé à base d'un **liant conventionnel 20/30** et la même formulation à base d'un 50/70 plus l'ajout de **1.5 % d'un asphalte naturel**
- **Analyse de Cycle de Vie (LCA)**: lors de la production d'une tonne de Selenizza[®]SLN, il est obtenu une **économie d'environ 44 %** en émissions de CO₂ par rapport aux bitumes conventionnels de raffinerie
- **Conclusions**

NATURE DE MODIFICATION | 1



- La mise en valeur des asphaltes naturels représente un défi **et une alternative utile et économique aux modifiants traditionnels des bitumes de distillation**
- Des travaux de recherche sur les asphaltes naturels, ont été conduits par l'Université de Rome "LA SAPIENZA" visant à caractériser les **asphaltes naturels** et évaluer leur **contribution** sur la modification **des bitumes de distillation directe**.
- Pour l'étude ont été sélectionnés **trois types d'asphaltes naturels** actuellement les plus utilisés

Natural asphalt	Teneur en bitume (%)	Teneur en asphaltènes(%)	Pénétration (à 25°C,1/10 mm)	TBA (°C)
Gilsonite	> 99	70	0	160–170
Selenizza	85-90	42*	0	115
Trinidad	53-55	33-37	1 - 4	93–98

* Donnée de 2005, actuellement > 50%

- Un bitume Iranien ***Straight Run*** (Gach Saran) de classe de pénétration 80-100, a été additionné de chacun des trois types d'asphalte:
 - à un pourcentage de **10%**
 - à une température minimale entre **150 – 180 °C** (pour garantir une solubilité complète)



- > *Pour analyser la nature de la modification ont été utilisées les techniques d'analyse rhéologique dynamique et de l'analyse calorimétrique par balayage différentiel modulée (MDSC)*
 - Les essais rhéologiques ont été effectués en conditions:
 - Isocrones $\omega = 50$ rad, balayage en température; *L'analyse de l'allure de la courbe $\eta^* = f(T)$ permet d'évaluer le comportement viscoélastique à températures relativement hautes*
 - Isothermes $T = 20$ °C, balayage en fréquence ω entre 1 et 500 rad. Obtention de la courbe maîtresse qui décrit le comportement rhéologique des asphaltes, $\eta^* = f(\omega)$, $G' = f(\omega)$, $G'' = f(\omega)$

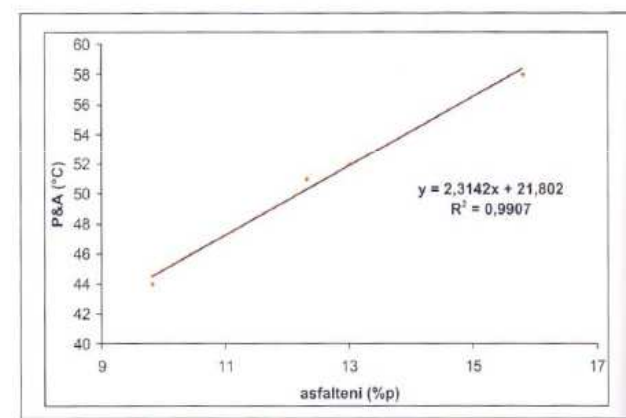
- > Les essais rhéologiques ont été effectués dans les **domaines viscoélastiques linéaires** respectifs pour chaque échantillon, de sorte à appliquer le principe de **superposition temps-température** permettant d'obtenir la courbe maîtresse

- › On observe **une augmentation** du point de ramollissement et **une diminution** de la pénétration

Caractéristiques principales du produit original et des échantillons mixés

Type de bitume	Pénétration à 25° (1/10 mm)	TBA °C	Teneur en asphaltènes (%)
Gach Saran originel	96	44	9,8
+10% Gilsonite	38	58	15,8
+10% Selenizza	67	52	13,0
+10% Trinidad	78	51	12,3

Corrélation entre teneur en asphaltènes et la TBA

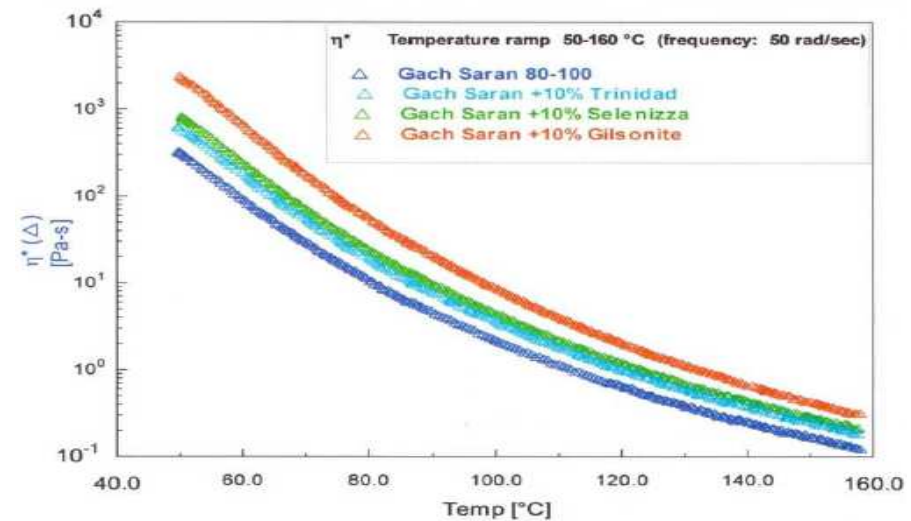


- › On peut noter **une corrélation** évidente entre le **% des asphaltènes** dans le bitume modifié et **la TBA**, qui indique que le comportement rhéologique à moyennes et hautes températures, est **indépendant de la qualité du modifiant**, et dépend exclusivement du taux d'asphaltènes, c'est comme s'il se produisait une **concentration du bitume**



Isochrones $\omega = 50$ rad, balayage en température

- › Les courbes de viscosité pour les *moyennes et hautes températures* (50 ÷ 160 °C) sont **déplacées vers le haut**, mais restent parallèles (même forme et pente), caractéristique des additifs compatibles, qui n'influencent pas l'interaction des agrégats asphalténiques et la nature colloïdale. Donc malgré l'augmentation significative (de 25% à 60%) des taux d'asphaltènes, il y aura l'augmentation de la viscosité (proportionnellement aux taux des asphaltènes du modifiant) mais la **susceptibilité thermique reste inchangée**. On ne remarque pas d'influence significative de la qualité du modifiant.

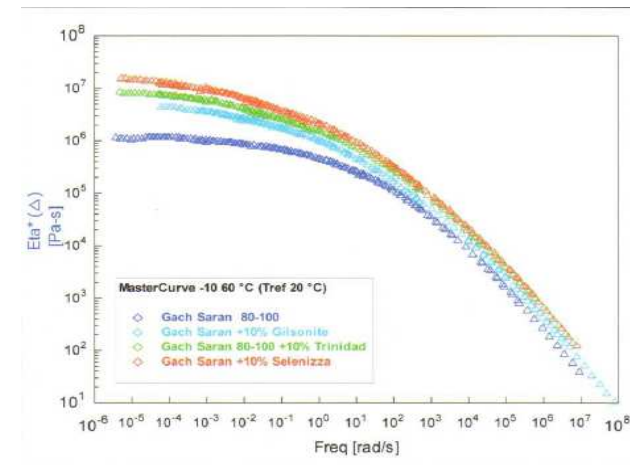


- › La viscosité complexe η^* en fonction de la température

Isothermes à T=20°C, balayage en fréquence, $\omega \in [1,500]$ rad

- › **Basses/moyennes températures** (-10 ÷ 60 °C): les **modifications** rhéologiques semblent **complexes et différenciées**. Courbes maitresses η^* , $G', G'' = f(\omega)$ construites à 20°C et 60°C. Ont été relevés: la fréquence du point d'intersection (crossover) ω_c , où $G'(\omega_c) = G''(\omega_c) = G_c(\omega_c)$, l'indice de Polydispersité PI et la viscosité à zéro cisaillement η_0 extrapolée pour $\omega \rightarrow 0$
- › Le comportement **viscqueux et la ductilité** des échantillons modifiés sont **affectés** par la **qualité** de l'asphalte naturel, soit par rapport à la composante bitumineuse, soit à celle inorganique, qui peut exercer une fonction de filler. A T=20°, inversion de la viscosité à zéro cisaillement: η_0 (GS) < η_0 (Gil) < η_0 (Trid) < η_0 (Sln)

T = 20°C	η_0 (Pa-s)	ω_c (rad/s)	G_c (Pa)	P.I. (Pa ⁻¹)
Gach Saran 80 -100	8,75 10 ⁵	360,67	1,62 10 ⁷	0,0062
+10% Trinidad	4,73 10 ⁶	202,65	4,44 10 ⁷	0,0022
+10% Selenizza	6,43 10 ⁶	150,62	2,78 10 ⁷	0,0036
+10% Gilsonite	2,43 10 ⁶	243,02	1,84 10 ⁷	0,0054
T = 60°C	η_0 (Pa-s)	ω_c (rad/s)	G_c (Pa)	P.I. (Pa ⁻¹)
Gach Saran 80 -100	52,75	7,68 10 ⁷	1,47 10 ⁸	6,8 10 ⁻⁴
+10% Trinidad	304,38	3,16 10 ⁷	2,88 10 ⁸	3,5 10 ⁻⁴
+10% Selenizza	309,60	2,25 10 ⁷	2,85 10 ⁸	3,5 10 ⁻⁴
+10% Gilsonite	547,00	3,34 10 ⁷	5,85 10 ⁸	0,0018





- › Pour l'analyse **calorimétrique par balayage différentiel modulé MDSC** a été utilisé un calorimètre TA Instruments 2920, à cellule refroidie à flux d'azote. Les échantillons, de 7 – 10 mg, ont été soumis à une rampe linéaire du flux de chaleur superposée d'une onde sinusoïdale

$$dQ/dt = C_p \beta + f(T, t)$$

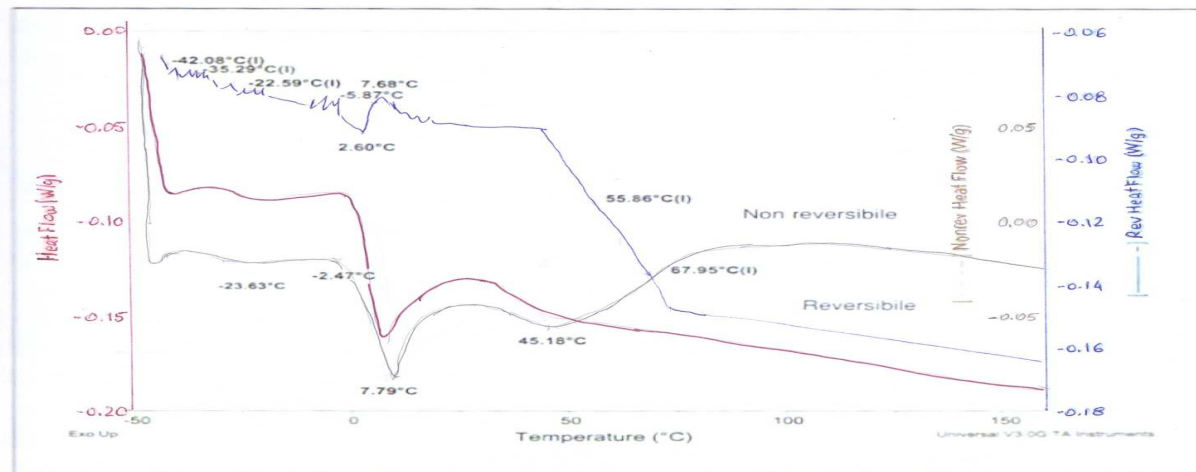
avec une vitesse de réchauffement 5 °C/min, modulation ± 0.5 °C, et période T=60 sec.

L'intervalle de températures: [-50 °C, + 160 °C]

- › Pour les bitumes, la **courbe réversible $\approx 1/C_p$** , résulte **plus indicative**, mettant en évidence soit les **transitions vitreuses**, soit les **ramollissements** par rapport aux autres transitions.

Analyse calorimétrique MDSC du bitume de distillation directe

- transitions vitreuses (≠espèces amorphes) : -42,0°C, -35,5 °C, -22,6 °C
- fusion de paraffines: +7,8 °C (courbe non réversible) ramollissement de phase semi-cristalline
- ramollissements: courbe réversible +55,8 °C (phase malténique) et +67,8 °C (phase asphalténique)



Comparaison des courbes réversibles

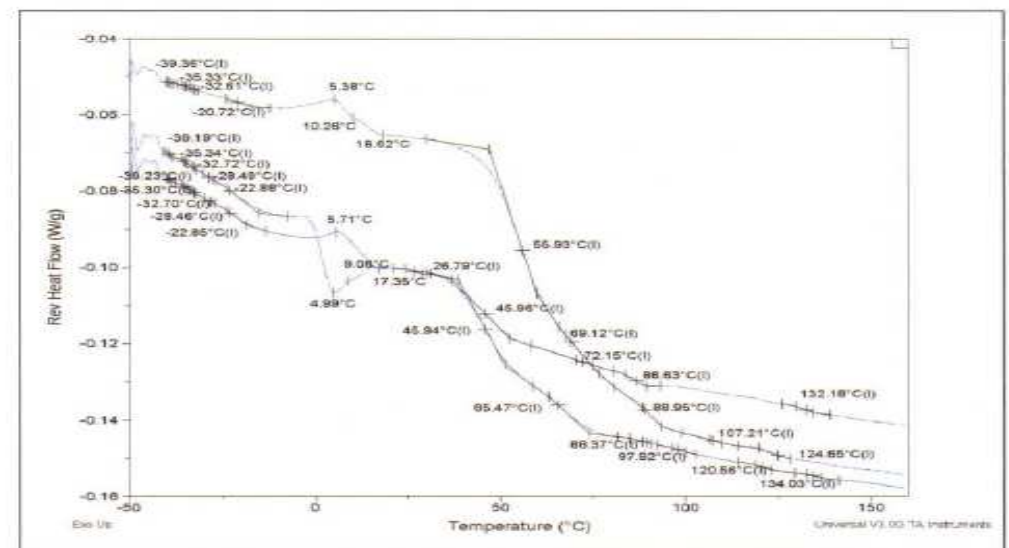
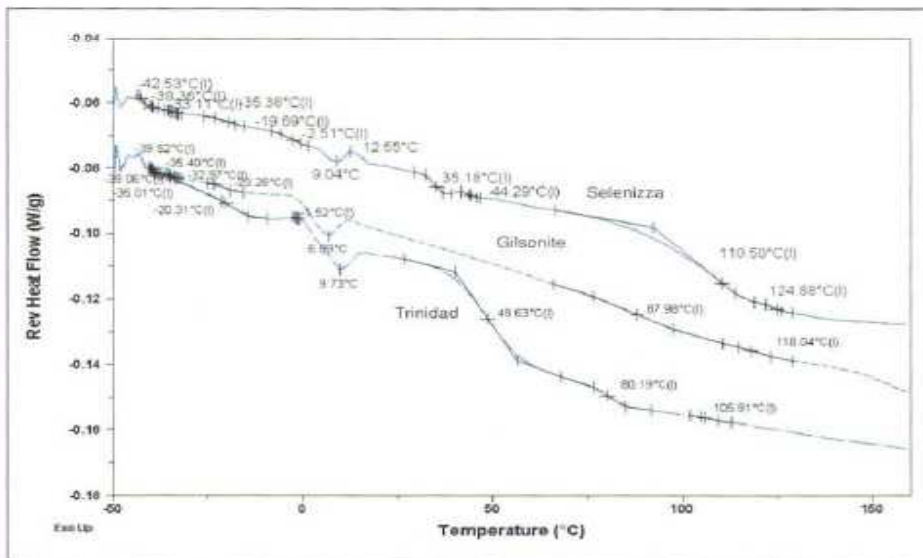
› *asphaltes naturels*

❖ fusion de paraffines: 7°-10 °C (Gil, TLA effet plus important)

❖ ramollissements: **GIL:** +87,9 °C, +118 °C, 150 °C (fort pente de la courbe), **SLN:** +35,2 °C, +44,3 °C, +110,5 °C, +124,9 °C, **TLA:** + 48,6 °C(malt) 80,02 °C (asphalt) 105,8 °C

› échantillons mixés

❖ ramollissements: **GS+GIL:** 55,9°C (fort) , 69,1°C, 88,9°C, 107,2°C, 124,6°C (on observe les phases malt et asph. du GS, faible influence du GIL) **GS+ SLN:** 45,9°C (malt. SLN), 72,1 °C (malt. GS), 86,6°C (asph GS) , 112,9°C, 132,2°C (asph SLN) **GS+TLA:** 45,9°C (malt TLA) , 65,5°C (malt GS), 88,7°C (ph. asphalt des deux bitumes coïncident)





- › L'analyse **calorimétrique par balayage différentiel modulé MDSC** montre que le **comportement rhéologique** du bitume de raffinerie **résulte modifié** par l'addition des asphaltes naturels
- › L'addition de **Trinidad et Selenizza** ont un **impact sur la limite inférieure l'intervalle de ramollissement** du bitume de distillation (de +55,8 °C et +67,8 °C à **45,9°C**) dû à la présence des différentes phases malténiques (avec une masse molaire plus petite), qui ramollissent à **plus basses** températures. Les phases asphalténiques se comportent de manière indépendante. Il est obtenu un **effet de dilution** du bitume origine
- › En revanche, la **Gilsonite**, ne joue pas un rôle de diluant, mais **étend** l'intervalle de ramollissement à **plus hautes températures**.
- › Les **modifications** sont de nature à **augmenter la consistance, la viscosité et la stabilité** au bitume d'origine et par conséquent les bitumes naturels représentent une alternative avantageuse comme additifs performants pour **modifier les bitumes routiers des enrobés**

EXEMPLE D'APPLICATION

Utilisation du bitume naturel
dans un EME recyclé

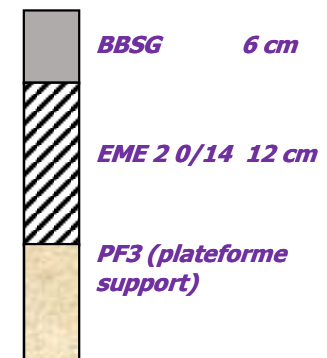
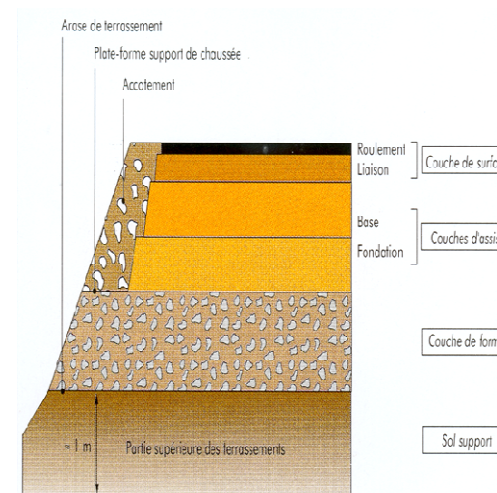
| 2

- Depuis les années 80, pour la construction des autoroutes sont apparus **les enrobés** et bétons bitumineux à **module élevé EME** et BBME qui garantissent une **meilleure résistance** aux sollicitations des réseaux routiers et permettent une **économie des matériaux** (diminution des épaisseurs des couches) et une **longévité accrue**

DESCRIPTION DU PROJET

Construction de 17,5 km de chaussée neuve sur A 150

Pour répondre aux spécifications techniques selon la norme de marquage CE, NF EN 13108-1, NF EN 13108-1, le projet prévoit l'utilisation d'un enrobé EB 14 ASSISE 20/30 ou EME 0/14 de classe 2



- › *Pour la réalisation de l'enrobé recyclé, a été analysé l'utilisation de deux types de liants:*
 - *Formulation de base: 30% AE (d'agrégats d'enrobé) + un bitume de grade 20/30*
 - *La variante étudiée: 30% AE (d'agrégats d'enrobé) + un bitume 50/70 + 1,5 % Selenizza*

Seuils de validation pour EME 0/14 classe 2

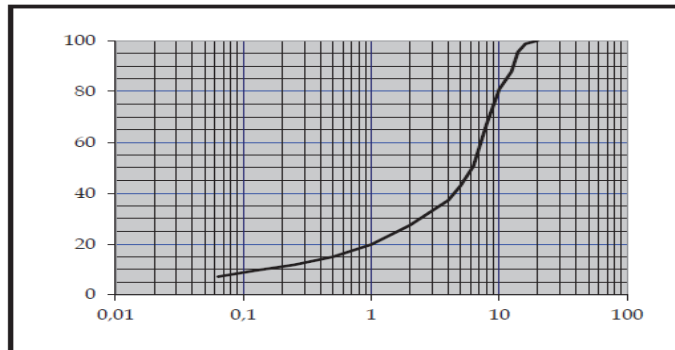
Type de mélange	P.C.G. TENEUR EN VIDES 100 girations %	r/R Tenue à l'eau	Orniérage 60°C 30 000 cycles %	Module Rigidité 15°C 10 Hz MPa	Fatigue 10 ⁶ cycles µm/m
Norme	EN 12697-31	EN 12697-12	EN 12697-22	EN 12697-26	EN 12697-24
EME classe 2	≤ 6	≥ 0.75	≤ 7,5	≥ 14 000	≥ 130 x 10 ⁻⁶



- › Pour la comparaison, les enrobés ont été réalisés avec la même composition de matériaux en termes de **courbe** granulométrique et de **% du liant** utilisé

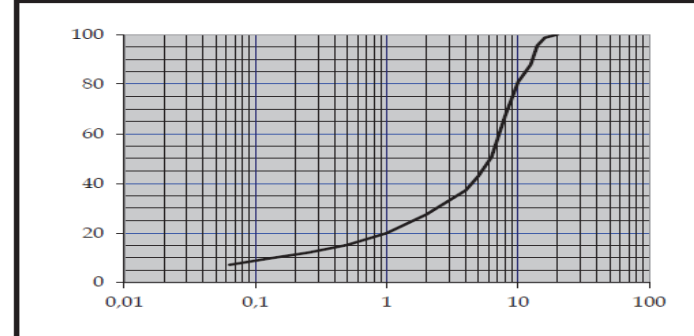
EME 2 0/14 (30% AE bitume 20/30)

FORMULE		
19,5%	0/5	STEMA
21,8%	5/8	STEMA
12,3%	8/11	STEMA
11,4%	11/16	STEMA
1,4%	FILLER CONS	
29,9%	AE	
	apport liant AE	avec 5,0 %TL
3,7%	20/30	
5,2%	BITUME TOTAL	



EME 2 0/14 (30% AE SLN bitume 50/70)

FORMULE		
20,4%	0/5	STEMA
21,8%	5/8	STEMA
12,3%	8/11	STEMA
11,4%	11/16	STEMA
0,3%	SLN 120 FILLER	
1,4%	FILLER CONS	
29,9%	AE	
	apport liant AE	avec 5,0 %TL
2,5%	50/70	
1,50%	SLN 120	
5,2%	BITUME TOTAL	





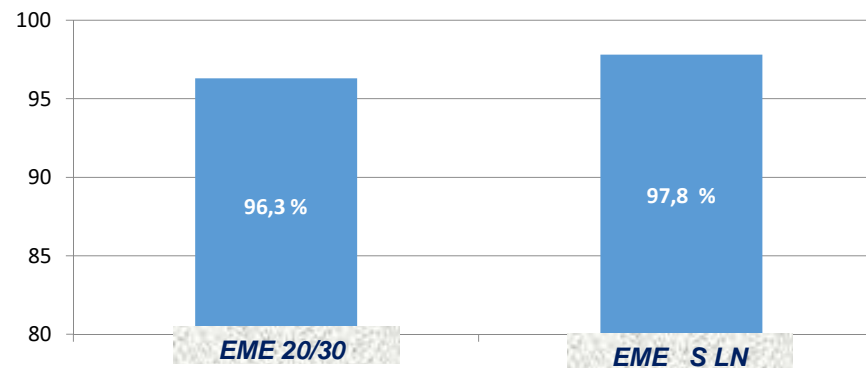
Sensibilité à l'eau

EME 20/30

Sensibilité à l'Eau EN 12697-12 Méthode B			
COMPACITE	94,9%	ESSAIS MECANIQUES	
INDICE VIDES	5,1%	C _D à 18° kPa	17918
MVRG t/m ³	2,767	C _W à 18° kPa	17250
MVR t/m ³ *	2,545	i/C (%)	96,3
MVA t/m ³	2,416	K	3,45

EME SLN

Sensibilité à l'Eau EN 12697-12 Méthode B			
COMPACITE	95,1%	ESSAIS MECANIQUES	
INDICE VIDES	4,9%	C _D à 18° kPa	20623
MVRG t/m ³	2,766	C _W à 18° kPa	20178
MVR t/m ³ *	2,544	i/C (%)	97,8
MVA t/m ³	2,418	K	3,46



Les échantillons ont été compactés à 5% de vides



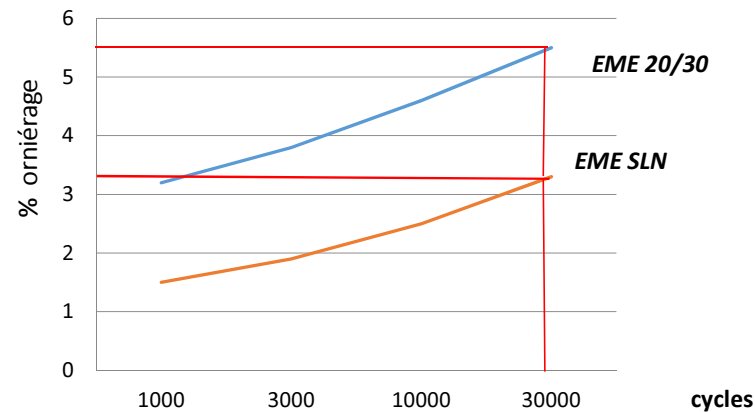
Essai d'orniérage

EME 20/30

ESSAI D'ORNIERAGE EN 12697-22		
% de vides des éprouvettes 4,9 %		
N Cycles	% ornière moyen	Specific.
1 000	3,2%	
3 000	3,8%	
10 000	4,6%	
30 000	5,5%	< 7,5%

EME SLN

ESSAI D'ORNIERAGE EN 12697-22		
% de vides des éprouvettes 4,7 %		
N Cycles	% ornière moyen	Specific.
1 000	1,5%	
3 000	1,9%	
10 000	2,5%	
30 000	3,3%	< 7,5%



T = 60°C



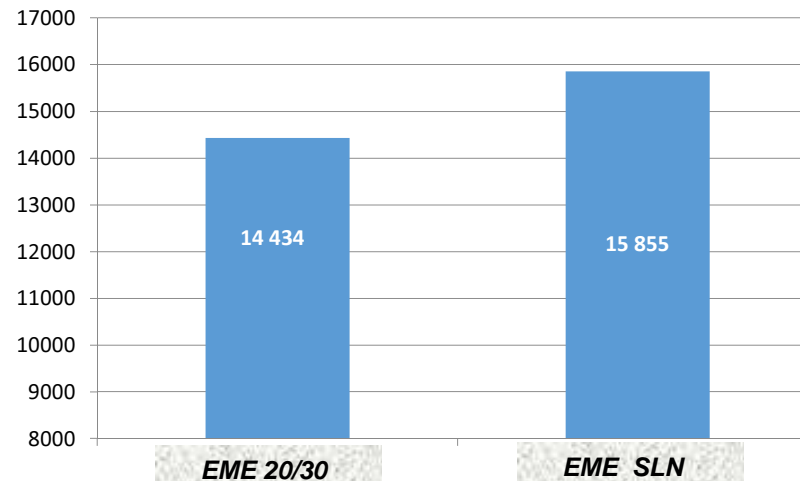
Module élastique

EME 20/30

TRACTION INDIRECTE EN 12697-26 Annexe C	
% de vides	5,1
Module 15°C, 124ms (MPa)	14434

EME SLN

TRACTION INDIRECTE EN 12697-26 Annexe C	
% de vides	5,0
Module 15°C, 124ms (MPa)	15855



T = 15 °C



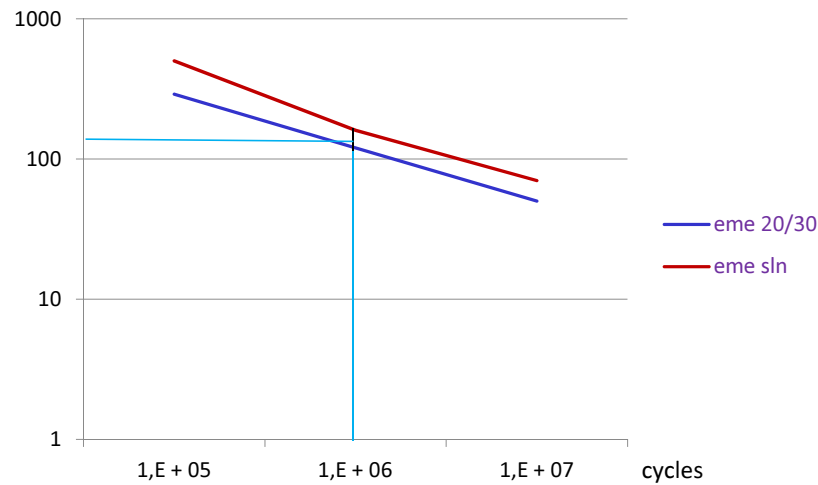
Fatigue

EME 20/30

ESSAI DE FATIGUE EN 12697-24 Annexe D	
MVA (t/m ³) :	5 % de vides
Déformation relative à 10°,25Hz	134,1 µm/m

EME SLN

ESSAI DE FATIGUE EN 12697-24 Annexe D	
MVA (t/m ³) :	5,1 % de vides
Déformation relative à 10°,25Hz	137,3 µm/m



T = 10 °C
f = 25 Hz



- Les résultats **valident l'approche** utilisée qui consiste à réaliser la formulation de **l'enrobé recyclé EME** à base d'un bitume **50/70 +1,5 % d'asphalte naturel Selenizza**.
- *L'addition de l'asphalte naturel en petite quantité, **améliore les performances finales** du liant modifié et par conséquent celles de l'enrobé, en termes de **résistance à l'orniérage, module élastique et résistance à la fatigue***
- *En plus, en optant pour le **bitume naturel Selenizza**, on fait le choix d'utiliser un bitume/additif qui lors de sa production, a eu un **coût en émissions de CO₂ inférieur d'environ 44 % par rapport** aux bitumes de raffinerie, comme le montre l'étude qui suit...*

ANALYSE DU CYCLE DE VIE | 3





- La crise économique mondiale et la prise de conscience environnementale, ont créé le **besoin de liants bitumineux** qui répondent efficacement aux contraintes de **l'Analyse du Cycle de Vie (LCA)** qui évalue la **durabilité** de différents matériaux en **déterminant les impacts environnementaux** de tous les **stades du cycle de vie** d'un produit, **de sa conception à son élimination**

- Le but de l'étude était **l'évaluation et la comparaison**, pour la première fois, de la **consommation d'énergie** et de **l'impact environnemental** entre:
 - Le cycle traditionnel de production des **bitumes de raffinerie** issus du pétrole brut
 - Le processus de production de **bitume naturel**, extrait directement à la mine de Selenice en Albanie, l'unique en Europe

- Comme le bitume représente un matériau de construction **complètement recyclable**, l'étude de **l'élimination finale a été ôtée** pour **les deux types de bitume**, soit de celui de distillation directe, soit du bitume naturel

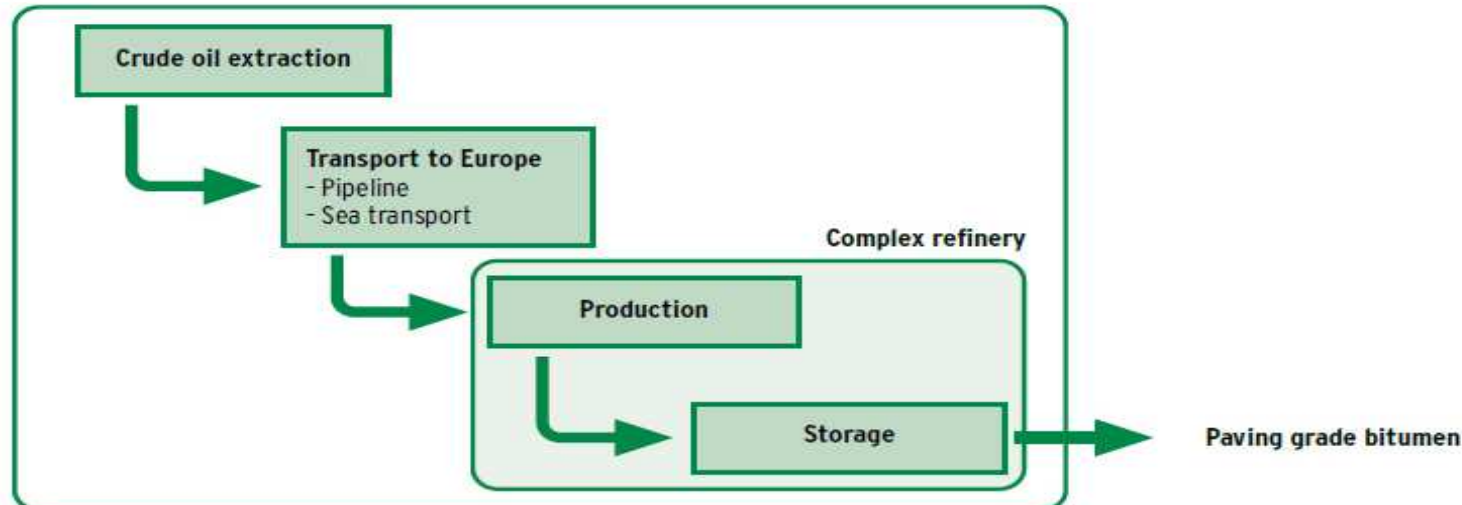


Chaine de production du bitume de raffinerie (approche globale du berceau à l'élimination)

- L'étude* a été réalisée **conformément aux directives** de la norme EU (ISO 1440 et 14044) de l'évaluation environnementale, appelé **LCA (Life Cycle Assesment) et LCI (Life Cycle Inventory)**, et **les données ont été fournies par organes compétentes** et les **institutions spécialisées** comme par ex. Eurobitume & EAPA (European Asphalt Pavement Association)
- **L'inventaire du cycle de vie (LCI)** pour les bitumes de **distillation directe** (straight-run) a **évalué toutes les ressources et moyens de production** (matières premières, électricité, carburant, eau, etc.) nécessaires pour les opérations d'un système donné. De plus, il a évalué tous les solides, liquides et gaz en sortie

4 phases de production:

- .Extraction du pétrole brut
- .Transport
- .Raffinage
- .Stockage



* Univ. Rome La Sapienza, C. Giavarini, A. Pellegrini - 2012

Consommation d'énergie et émission CO₂ pour les bitumes routiers de distillation

Production 1 tonne bitume (processus avec infrastructure)	unité	Extraction pétrole brut	Transport	Raffinage	Stockage	Total
<i>Matière première</i>						
Pétrole brut	kg	1000				1000
<i>Consommation de ressources énergétiques</i>						
Gaz naturel	MJ/t	2,196		0,855	0,001	3,061
Pétrole brut	MJ/t		0,588	0,404	0,096	1,088
Electricité	MJ/t					0,561
Total	MJ/t					4,71
<i>Emissions dans l'air</i>						
CO ₂	g	144 563	37 422	7 831		226 167

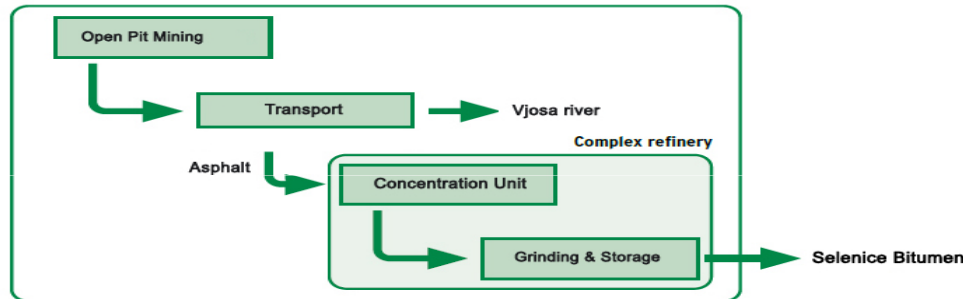
Gisement du bitume naturel Selenizza





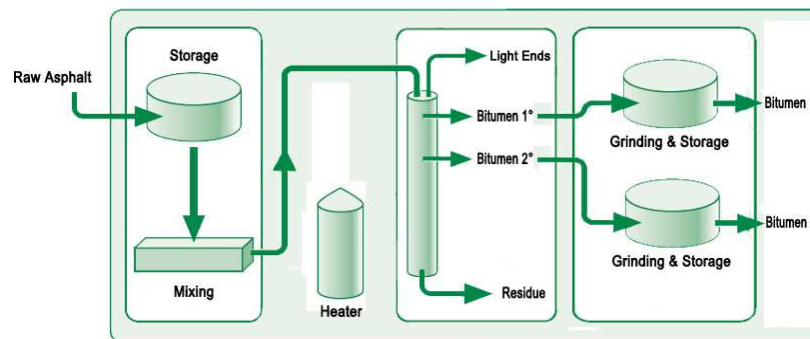
Chaîne de production du bitume naturel Selenizza

- › Le processus de production est **beaucoup plus simple** avec un impact direct sur l'économie de la consommation d'énergie et le coût du **transport** est réduit au minimum car l'unité de traitement se trouve à proximité de la cave



4 phases de production:

- .Extraction
- .Transport
- .Traitement
- .Broyage & stockage



Unité de traitement de Selenizza

Asphalte brut → Sélection → Four (élimination volatiles + stériles) → Broyage → Stockage



- La mine de Selenice **produit sur place** le minerai brut (l'asphaltite) ainsi que le combustible (charbon bitumineux) qui est utilisé dans le processus de traitement du bitume au four. Les **stériles sont transportés et déposés** à côté d'un fleuve voisin et **seront utilisés dans un projet social** pour la construction d'une digue qui protégera des inondations la plaine, les immeubles et les autres infrastructures de la zone
- Pour évaluer la consommation d'énergie, **a été exploité toute la documentation technique** des équipements électriques et des machines de la mine. Les **valeurs du panier énergétique** Italo-albanais ont été obtenues par **International Energy Agency IEA**
- La **valeur calorifique des carburants** et donc la **quantité des émissions CO₂ par kg** de carburant brûlé, ont été obtenus de la **base de données** de l'Agence Italienne Nationale des Hydrocarbures **ENI**



Consommation d'énergie et émission CO₂ pour le bitume naturel Selenizza

Production 1 tonne bitume (processus avec infrastructure)	unité	Extraction asphalte brut	Transport	Unité de Traitement	Stockage	Total
--	-------	-----------------------------	-----------	------------------------	----------	-------

Matière première

Asphaltite brut	kg	1000				1000
-----------------	----	------	--	--	--	------

Consommation de ressources énergétiques

Essence	MJ/t	1,007				1,007
Diesel	MJ/t		0,066		0,001	0,067
Charbon bitumineux	MJ/t			0,339		0,339
Electricité	MJ/t					0,963
Total	MJ/t					2,376

Emissions dans l'air

CO ₂	g	59 300	4 500	59 145		127 298
-----------------	---	--------	-------	--------	--	---------



Confrontation des résultats

<i>Bitumes routiers de distillation</i>	Total	MJ/t					4,71
	CO ₂	g	144563	37422	7831		226 167
<i>Bitume naturel Selenizza</i>	Total	MJ/t					2,376
	CO ₂	g	59300	4500	59145		127 298

- Les résultats synthétisés dans ce tableau permettent de conclure que le cycle de production de Selenizza a un **impact environnemental inférieur d'environ 44%** par rapport aux bitumes de raffinerie
- La **consommation d'énergie est aussi réduite par environ 50%** par rapport aux bitumes produits du pétrole brut
- Ces deux paramètres **peuvent encore s'améliorer** grâce aux projets **d'optimisation des opérations** d'extraction prévus à la mine de Selenice (notamment en réduisant de manière sensible la production des stériles)



Conclusion

- L'étude de la **nature des modifications** apportées par les asphaltes naturels aux bitumes de distillation, ainsi que **l'étude comparative** de deux enrobés recyclés EME, démontrent que ces modifications sont **efficaces** et par conséquent les asphaltes naturels représentent une **alternative utile et économique** aux matériaux polymères ou autres modifiants qui sont traditionnellement additionnés aux liants routiers.
- L'utilisation du bitume naturel Selenizza résulte avoir un **impact environnemental avantageux** comparé aux bitumes de raffinerie
- De surcroît, le bitume naturel Selenizza, contrairement aux additifs chimiques, **remplace complètement** et efficacement, en se substituant en tant que bitume, à la partie du bitume de distillation auquel il s'introduit, sans **nécessiter l'augmentation** du pourcentage total du binder



Merci de votre attention