



Pionniers  
depuis  
**100**  
ans



## **Utilisation de critères rhéologiques pour la valorisation des liants bitumineux**

Yvong HUNG, Ing. Produits  
Direction Bitume, Marketing Business Development

05 / 11 - JER | 2024

# Agenda

Présentation Compagnie

01 « Problem Statement »

02 Cadre de la démarche

03 Cas d'usage n°1: Accompagner l'économie circulaire et la ré-utilisation des AE

04

Cas d'usage n°2: Durabilité par les bitume-polymères

05

Cas d'usage n°3: Ralentir le vieillissement oxydatif du bitume

**A Retenir!**

# Compagnie TotalEnergies en quelques mots

Pionniers  
depuis  
100  
ans



TotalEnergies est une  
**compagnie  
multi-énergies  
intégrée mondiale**

de production et de fourniture  
d'énergies : pétrole et  
biocarburants, gaz naturel et  
gaz verts, renouvelables et  
électricité.



Présent dans  
environ 120 pays,  
TotalEnergies inscrit le  
**Développement  
durable**

au cœur de sa stratégie;  
de ses projets et  
de ses opérations.



Notre **démarche**

de développement durable s'articule  
autour de 4 axes :

- Le climat et l'énergie durable
- Prendre soin de l'environnement
- Agir pour le bien-être  
des collaborateurs
- Avoir un impact positif pour  
les parties prenantes



# TotalEnergies Bitumes

Chiffres à fin décembre 2023



## 4 Usines 100 % TotalEnergies

Brunsbüttel (Allemagne) Preston (UK)  
Kourim (République Tchèque) Scinawa (Pologne)

## 4 Raffineries

N°1 des producteurs – fournisseurs en Europe

## 6 Partenaires de production

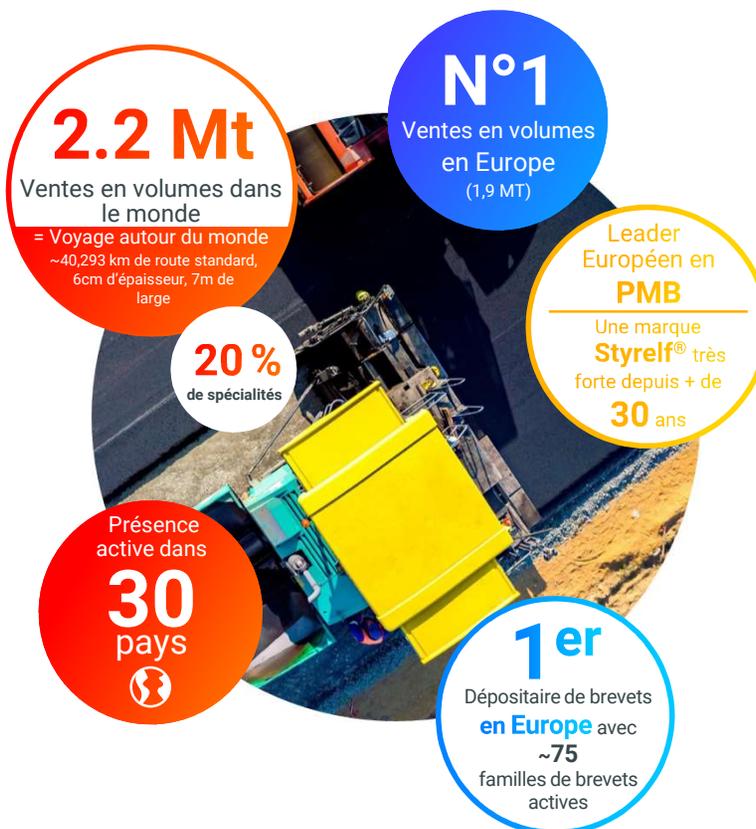
## 12 Terminaux de stockage

## 2 Bateaux

## 1 Joint-Venture en Inde 1 Accord de licence aux UAE

## Bitumen Online (BOL)

Plateforme dédiée à la fourniture de bitumes, qui simplifie la commande, la livraison et l'achat à terme à prix fixes.



## 10 Gammes de produits

- Altek
- Azalt
- Aqualt
- Styrelf
- Kromatis
- Modulotal
- Emulsis
- Regenis
- Covrex
- Stelox

## 90 % route

## 10 % industrie

Principalement des solutions d'étanchéité

## 4 Technologies durables

- EC02, RC, Long Life, Low Carbon
- Abaissement des températures
  - Recyclabilité
  - Longévité
  - Empreinte environnementale

## 80 % de notre budget R&D consacré aux projets de développement durable

## 4 centres de recherche

## 3 eco solutions

Produits labellisés

# Déclinaison de la feuille de route chez TotalEnergies Bitumes



# Nos centres d'expertise et de recherche



Grande  
Bretagne

Centre technique  
de Preston



France

Centre de recherche  
et technologie de  
Gonfreville (TRTG)



Allemagne

Centre technique  
de Brunsbüttel



France

Centre de recherche  
de Solaize (CRES)

# 01

## Problem Statement

# Promouvoir une industrie routière durable et sobre



## L'industrie routière évolue vers de nouveaux standards en ligne avec l'acceptation sociétale :

- Maintenir un haut niveau de **performance durable des matériaux et des infrastructures**
- Accentuer l'effort sur **l'économie circulaire des matériaux** dans la filière et promouvoir une économie pérenne
- Développer des infrastructures **sobres et à faible impact environnemental**



- ⊗ Le choix de liant « traditionnel » issu de la conception de matériaux vierges n'est plus suffisant
- ⊗ Risque de dégradation prématurée ou perte de la valeur des infrastructures

- ✓ Nécessité de faire évoluer le cadre méthodologique d'évaluation permettant de cibler les besoins techniques
- ✓ Concevoir des liants qui soient spécifiquement formulés pour répondre à ces besoins techniques

### 3 thématiques pour illustrer ce propos:

- Des liants de recyclage, compagnon idéal pour promouvoir l'économie circulaire et les matériaux recyclés
- La durabilité des PmB, un axe de décarbonation des infrastructures
- Ralentir le vieillissement des liants pour renforcer la durabilité

➡ Un cadre méthodologique axé sur la rhéologie

# 02

## Cadre de la démarche

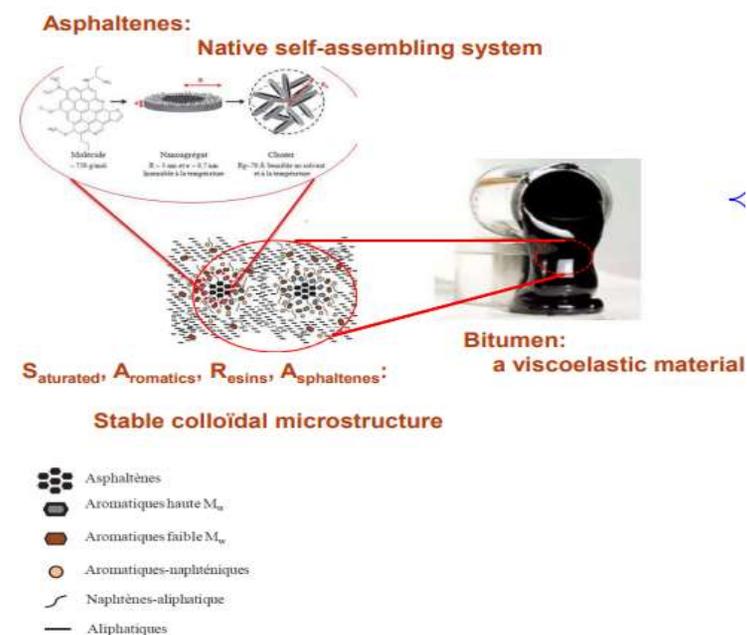
# Les liants bitumineux, simplement complexes

## Les propriétés des liants bitumineux sont intimement liées à leur microstructure:

→ Comprendre le comportement complexe de cette microstructure permet d'élaborer de manière efficace les mélanges avec les polymères/additifs et leur impact sur la performance recherchée

### Intérêt de la rhéologie ?

- ✓ Capturer le comportement fondamental du liant
- ✓ Le retranscrire en termes de performance thermomécanique à l'échelle des matériaux au travers des indicateurs judicieusement choisis



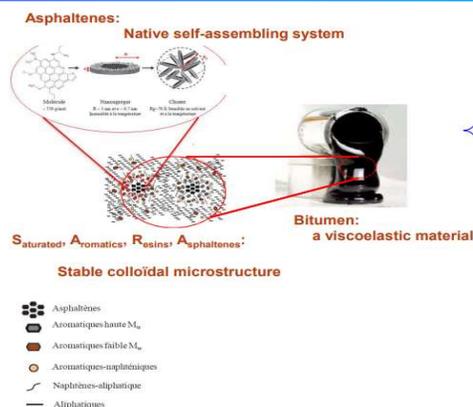
# Les liants bitumineux, simplement complexes

Les propriétés des liants bitumineux sont intimement liées à leur microstructure:

→ Comprendre le comportement complexe de cette microstructure permet d'élaborer de manière efficace les mélanges avec les polymères/additifs et leur impact sur la performance recherchée

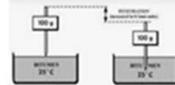
## Intérêt de la rhéologie ?

- ✓ Capturer le comportement fondamental du liant
- ✓ Le retranscrire en termes de performance thermomécanique à l'échelle des matériaux au travers des indicateurs judicieusement choisis

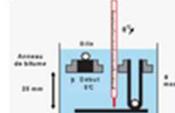


## En Suisse sur liant récupéré de l'enrobé recyclé

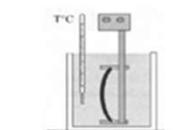
Pénétrabilité – EN 1426



Température Bille & Anneau – EN 1427



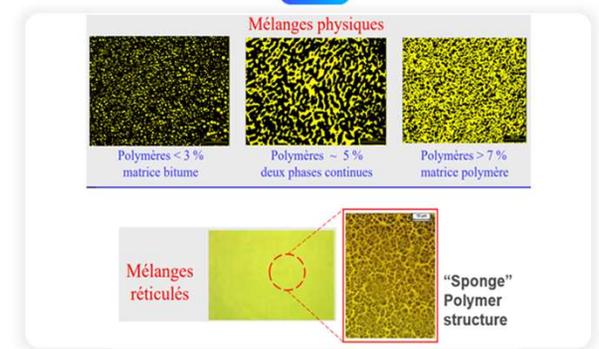
Température Fraass – EN 12593



Retour Élastique – EN 13398

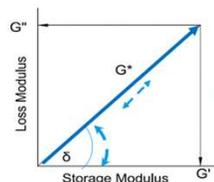
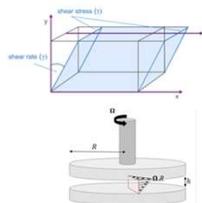
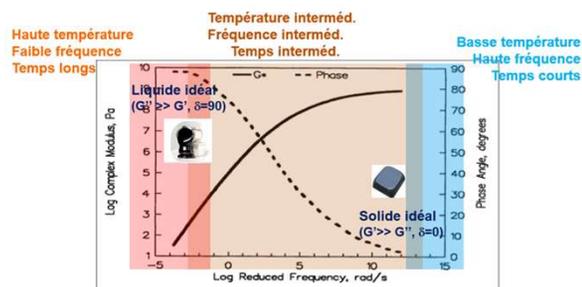


Cadre normatif historique



Cadre méthodologique pertinent

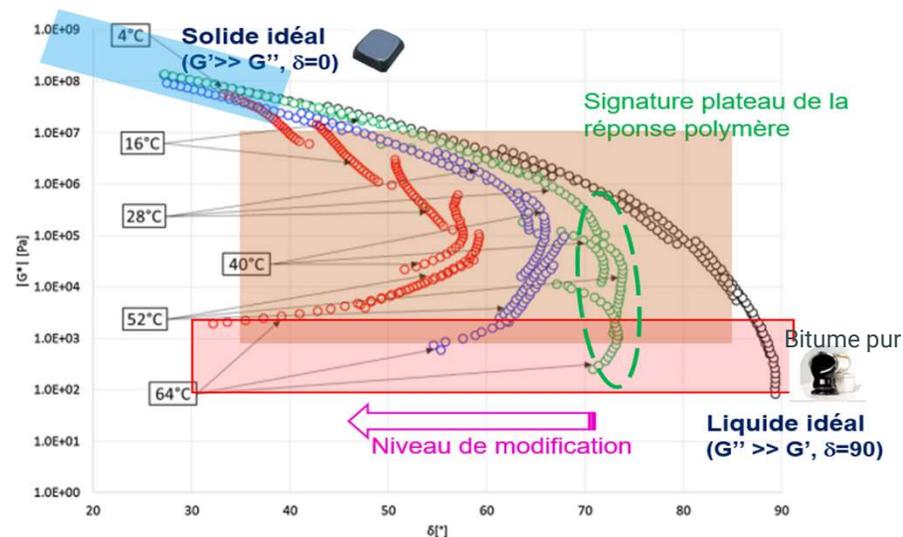
# Adapter le cadre méthodologique pour mesurer la performance



$$\tan \delta = \frac{G''}{G'}$$

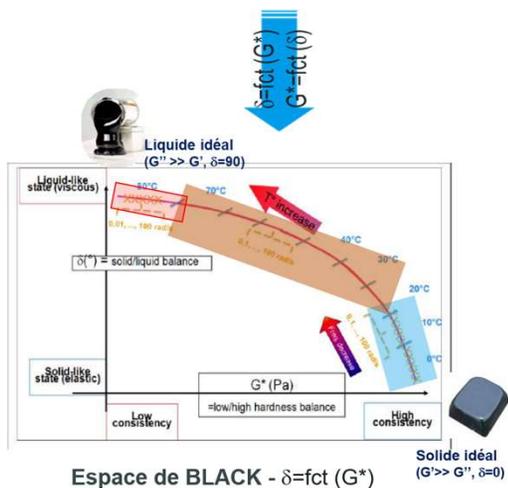
VET: Transition Visco-Elastique,  $\delta=45^\circ$ ;  $G'=G''$

## Espace de BLACK (inversé) – $G^* = fct(\delta)$



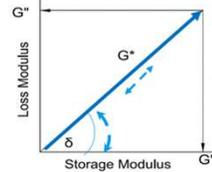
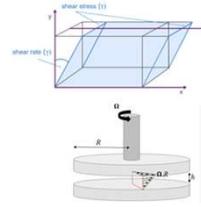
Cuciniello et al., 2020

## Espace fréquentiel ou de température



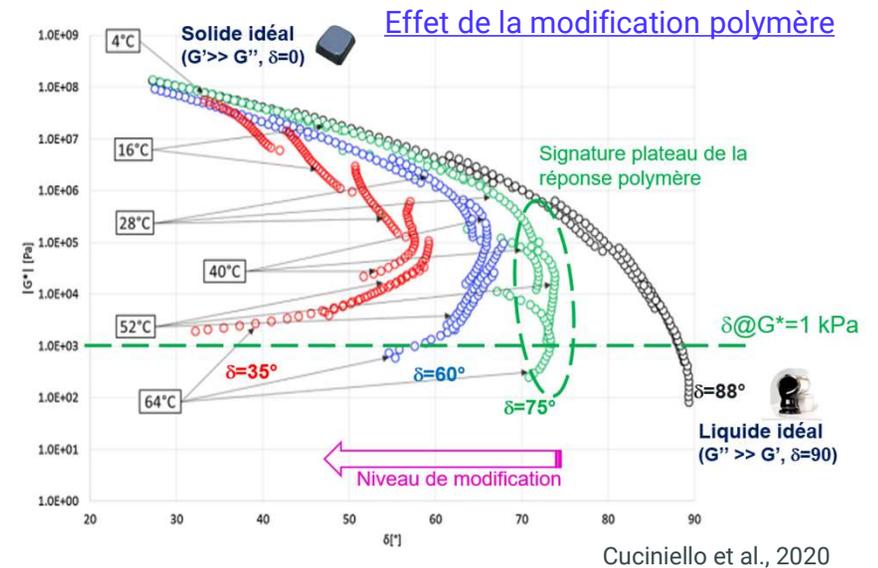
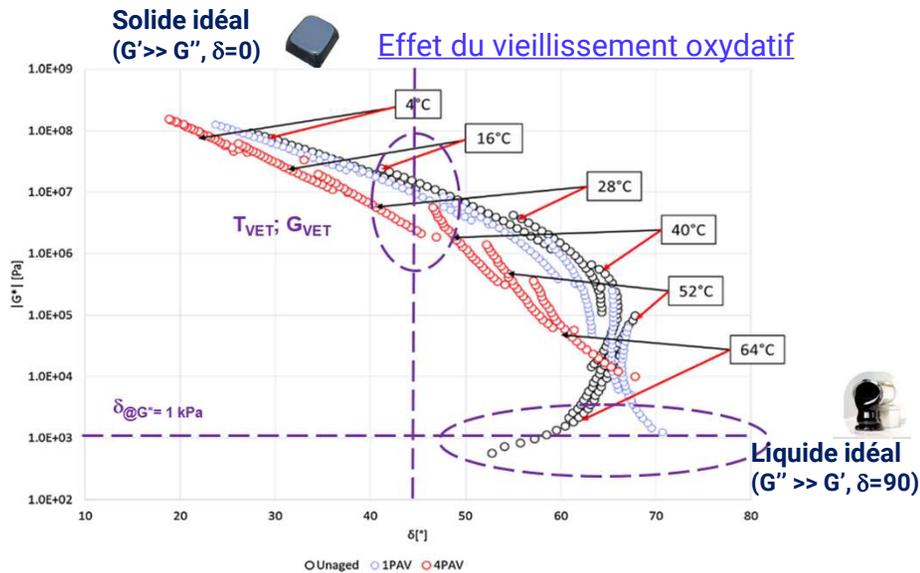
La rhéologie est un révélateur de la formulation du liant

# Adapter le cadre méthodologique pour mesurer la performance



$$\tan \delta = \frac{G''}{G'}$$

VET: Transition Visco-Elastique,  $\delta=45^\circ$ ;  $G'=G''$



Utiliser des indicateurs plus robustes pour définir la performance:

Ex: BBR  $T_{s=300MPa}$ ,  $T_{m=0,3}$ ,  $T_{VET}$  (10 rad/s),  $\delta @ G^* = 1 \text{ kPa}$



# 03

**Cas d'usage n°1:  
Accompagner l'économie  
circulaire et la ré-utilisation  
des AE**

# Cibler les verrous techniques à lever...



## Dans l'enrobé recyclé, la présence des AE implique :

- Une fraction de liant d'AE oxydé dont **les propriétés essentielles ont été perdues**
- Des effets de dilution et d'interaction du liant d'apport **apparaissent dans le matériau par la présence du liant d'AE**



Enrobé recyclé, ex : 50 % RAP



Avec un grade « **Standard** », la performance équivalente du liant dans l'enrobé vierge n'est pas atteinte



Avec un grade « **Recyclage** », la performance équivalente du liant dans l'enrobé vierge est optimisée

La performance du liant de recyclage **doit compenser ces 2 aspects**

Ex : Enrobé vierge avec du PmB « standard » << >>

Enrobé~ 50 % RAP, avec un liant de recyclage par rhéologie

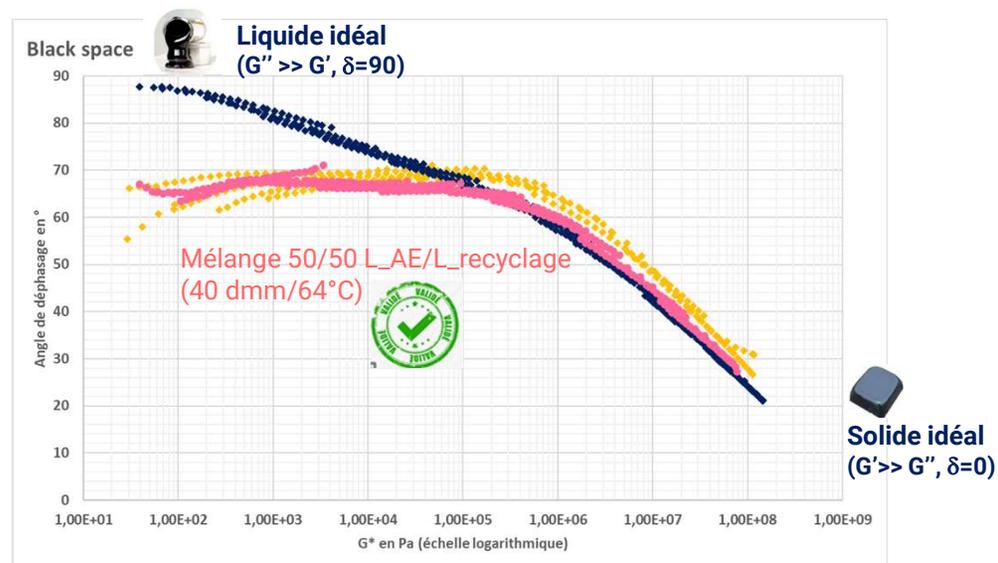
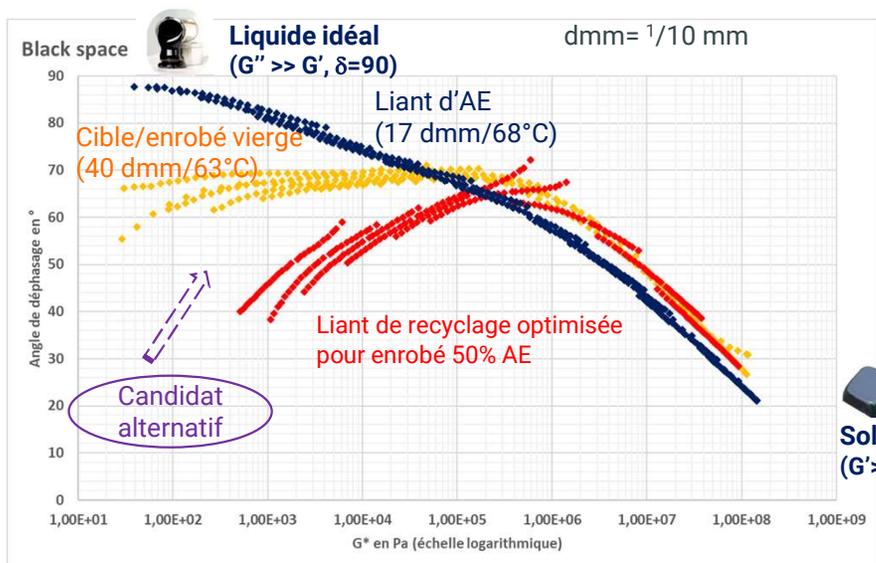


« le bon liant pour le bon usage »

# Des clés de lecture pour choisir les bons candidats



Cas d'étude: REX France – 50% AE – couche de roulement - Autoroute

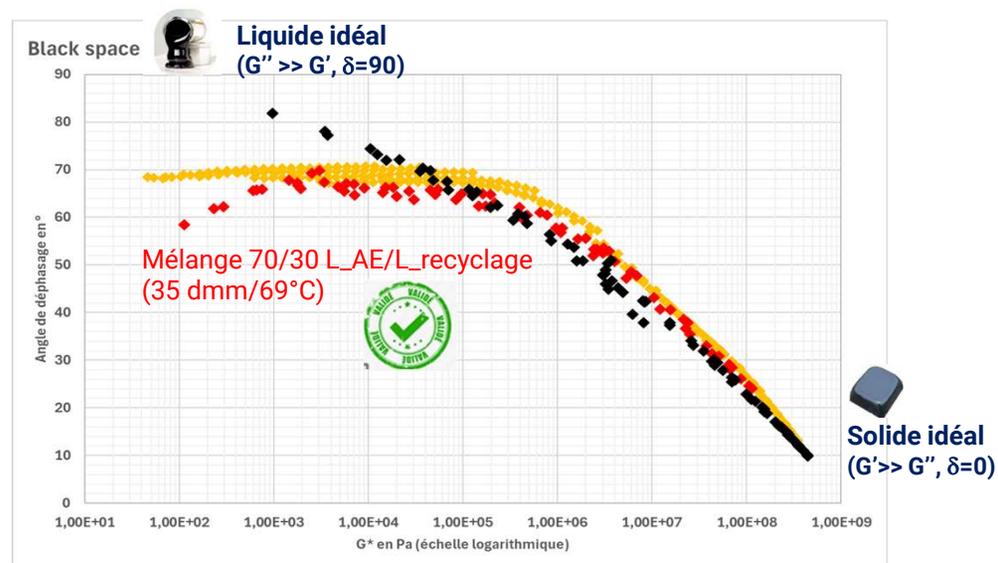
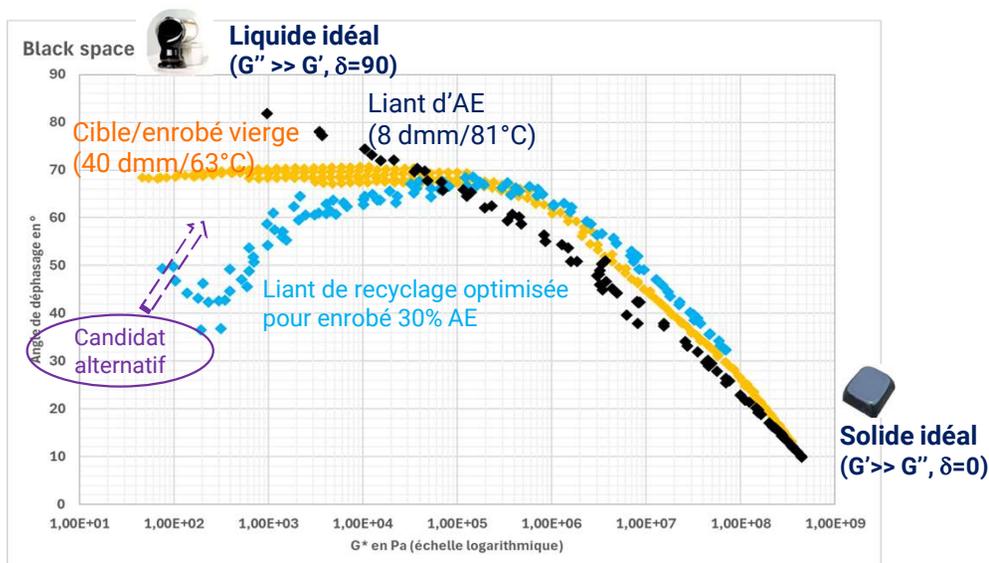


	Liant d'AE	Cible	Mélange 50/50 L_AE/L_recyclage	Mélange 50/50 L_AE/Candidat alternatif
BBR $T_s, T_m$ (°C)	-14; -13	-18; -18	-19; -19	-16; -15
$T_{VET}$ (°C)	25	15	14	-20
$\delta@G^*=1 \text{ kPa}$ (°)	82	70	68	75

# Des clés de lecture pour choisir les bons candidats



Cas d'étude: REX France – 30% AE – couche de roulement - Autoroute

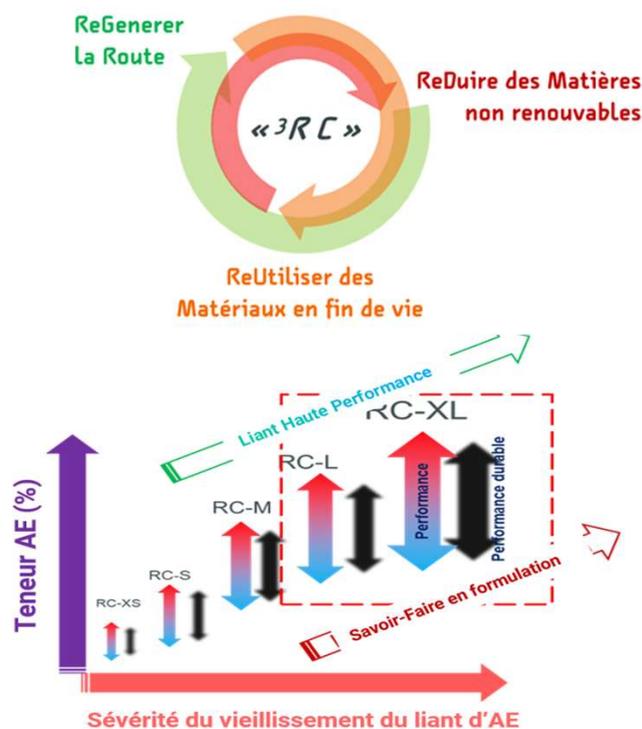


	Liant d'AE	Cible	Mélange 30/70 L_AE/L_recyclage	Mélange 30/70 L_AE/Candidat alternatif
BBR $T_s, T_m$ (°C)	-8; -3	-18; -18	-20; -19	-15; -13
$T_{VET}$ (°C)	45	15	17	24
$\delta@G^*=1$ kPa (°)	82	70	66	73

# Une approche EcoDesign « 3R C »



Un cadre méthodologique permettant de façonner les liants de recyclage en fonction du besoin



Repère normatif

Performance durable >>>

Grade	25 / 55	RC-XS	RC-S	RC-M	RC-L	RC-XL
				20- 30% AE	30- 50% AE	> 40% AE
40	25 / 55	≥ 55	≥ 60	≥ 65	≥ 70	≥ 80
60	45 / 80	≥ 50	≥ 50	≥ 60	≥ 70	≥ 80
80	65 / 105	≥ 45	≥ 50	≥ 60	≥ 70	≥ 80
100	75 / 130		≥ 45	≥ 60	≥ 70	≥ 80
120	90 / 150			≥ 55	≥ 70	≥ 80
160	120 / 200				≥ 65	≥ 70
250	200 / 300				≥ 60	≥ 65

Efficacité de recyclage <<<

En cohérence avec :

La feuille de route des associations professionnels  
Des attentes actuelles et futures des maîtres d'ouvrage



Une gamme de liants adaptée à chaque besoin

# 04

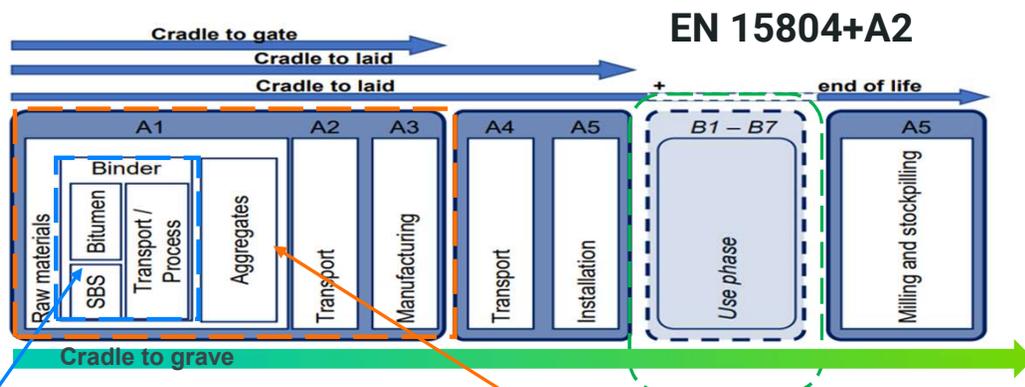
## Cas d'usage n°2: Durabilité par les bitumes- polymères

# Quantifier les gains de la durabilité dans la phase d'usage



TotalEnergies

Chaîne d'analyse du cycle vie dans le référentiel de nos clients/parties prenantes: Enrobé



A1-A3 pour TE: liant

A1-A3 de notre client/partie prenantes: enrobé/chaussée



Projet R&D  
« MDA »

Methods for Durability Assessment

TCO2

- Aligner les référentiels de dialogue
  - Intégrer la notion de TCO & TCO2 dans notre approche vis-à-vis des parties prenantes
- Total Cost of Ownership (TCO) : coût liant (€)/km de route appliqué/année de vie exploitée
- Total CO2 Cost of Ownership (TCO2) : Coût liant (CO2)/km de route appliqué/année de vie exploitée

Scenario	Reference	PmB
Modifier footprint		2.310
Modifier %		3.5 %
Binder content	5 %	5 %
GWP – binder	150 kgCO <sub>2eq</sub> / t	264 kgCO <sub>2eq</sub> / t
GWP – HMA	46.7 kgCO <sub>2eq</sub> / t	52.4 kgCO <sub>2eq</sub> / t

Table 6. Normalised GWP for surface layer

	Reference scenario	PmB scenario
Total GWP	48.8 tCO <sub>2eq</sub> per km	53.1 tCO <sub>2eq</sub> per km
Difference vs base scenario		+9 %
Expected service life	8 years *	10 years *
Normalised GWP km.year	6.1 tCO <sub>2eq</sub> per km.year	5.3 tCO <sub>2eq</sub> per km.year
Difference vs base scenario		-13%

\*L. Porot, D. Bell, Impacts of polymer modified bitumen on the carbon footprint of asphalt roads, International Flexible Pavements Symposium/Road going full circle, IFPA 2021

\*Données à réviser en fonction des EPD et des caractéristiques de la phase d'usage



Estimer quantitativement la phase d'usage «> Durabilité «> Bénéfice d'abattement CO<sub>2</sub>  
« Aide à la prise de décision ! »

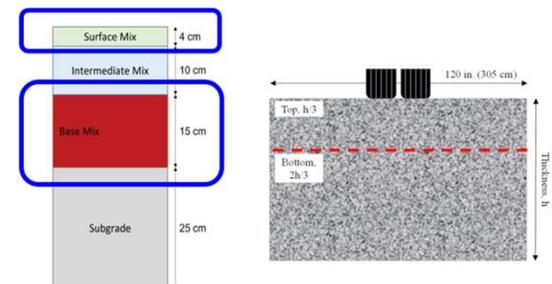
# Cadre méthodologique pour la prédiction de la durabilité



## Démarche itérative :

Affiner notre outil de prédiction de la durabilité :

- Styrelf (PmB) avec différents niveaux de modification par les polymères (faible, intermédiaire, fort)
- Promotion de liants de spécialités issus du portefeuille Business, R&D, etc...
- Effet de différentes conditions climatiques pour une même infrastructure



## PREDICTION à partir « du modèle VECD » issu de notre R&D

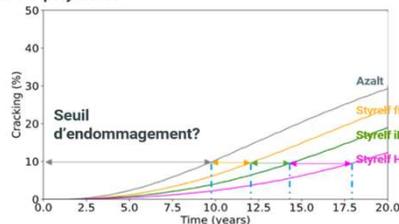
### Prédiction des tendances par le modèle développé par ONETECH

Comparaison à partir d'un seuil de 10 %

Degré de fissuration	Azalt 35/50	Styrelf fM	Styrelf iM	Styrelf HM
10 %	≈10 ans	≈12 ans	≈14 ans	≈ 17.5 ans
	0	~ +20 %	~ +40 %	~ +75 %

\*Ordre de grandeurs cohérent avec des études historiques : étude LAVOC (Lausanne Univ. jusqu'à 20 ans)

### Styrelf Xseries avec différents niveaux de modifications par les polymères

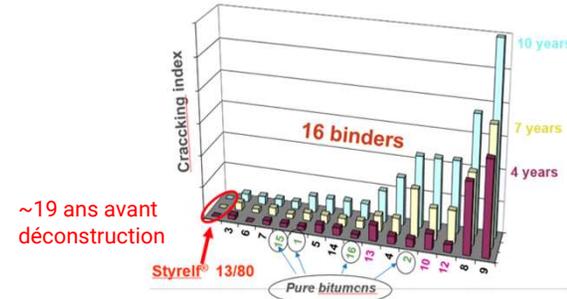


faiblement modifié    modification intermédiaire    Hautement modifié

\*\*VECD: ViscoElastic Continuum Damage

## Suivi section

1988-2008 Héritage technologie STYRELf: Étude terrain LAVOC: durée de vie – 20 ans



🗣️ Iliass Tahiri, Petersen Conference 2024



Faire évoluer la précision de l'outil pour accompagner la juste quantification des liants dans la phase d'usage

# Construire une réflexion durable sur l'ensemble de la chaîne



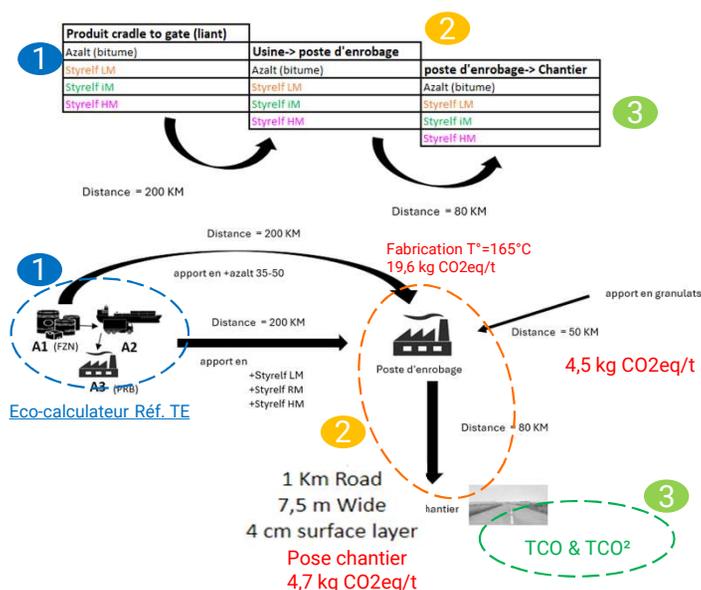
## EN 15804+A2

### Hypothèse de réflexion Cradle to usage phase (A1-A5; B1-B7):

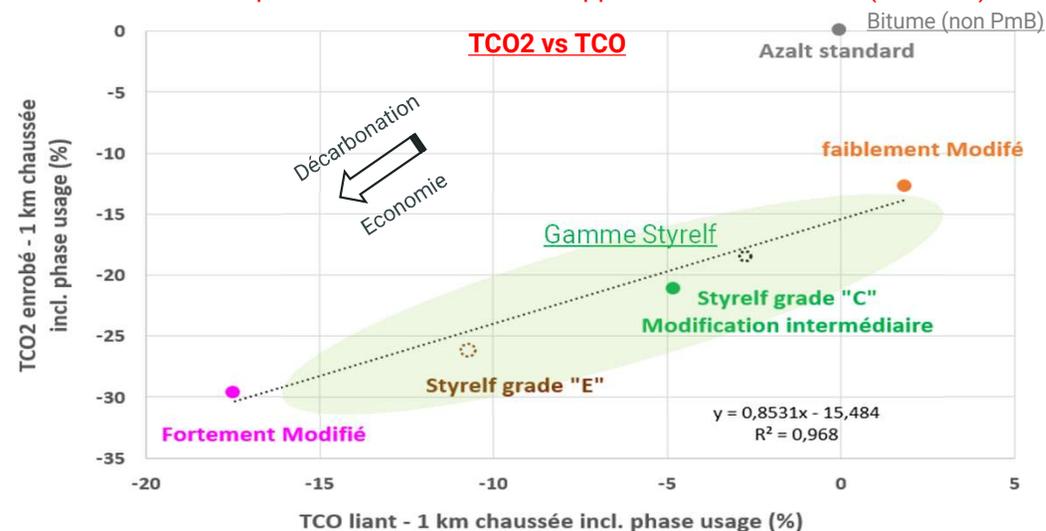
Aligner le référentiel de dialogue à travers les indicateurs TCO (€/km/an) et TC02 (kgCO2eq/km/an)

- Styrelf (PmB) avec différents niveaux de modification par les polymères (faible, intermédiaire, fort)
- Cradle to Gate (liant), Usine liant à poste d'enrobage (enrobé), poste d'enrobage à phase d'usage (route)
- /!\ Fabrication et pose des enrobés identiques pour tous les liants en 1ère approximation

### Scénario envisagé: frontière Franco-Suisse



Unité fonctionnelle pertinente : 1 km de route rapporté à sa durée de vie (km<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>)



Dégager des indicateurs pertinents pour aide à la décision vis-à-vis des enjeux sociétaux (économique & environnemental)

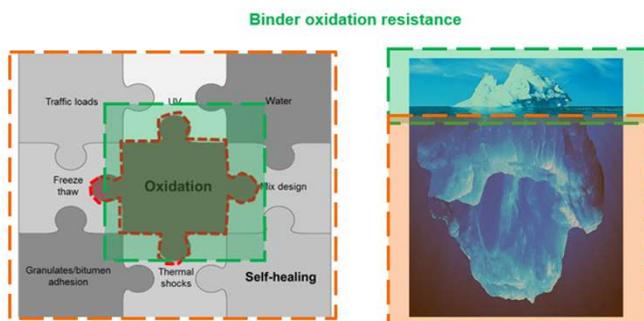


# 05

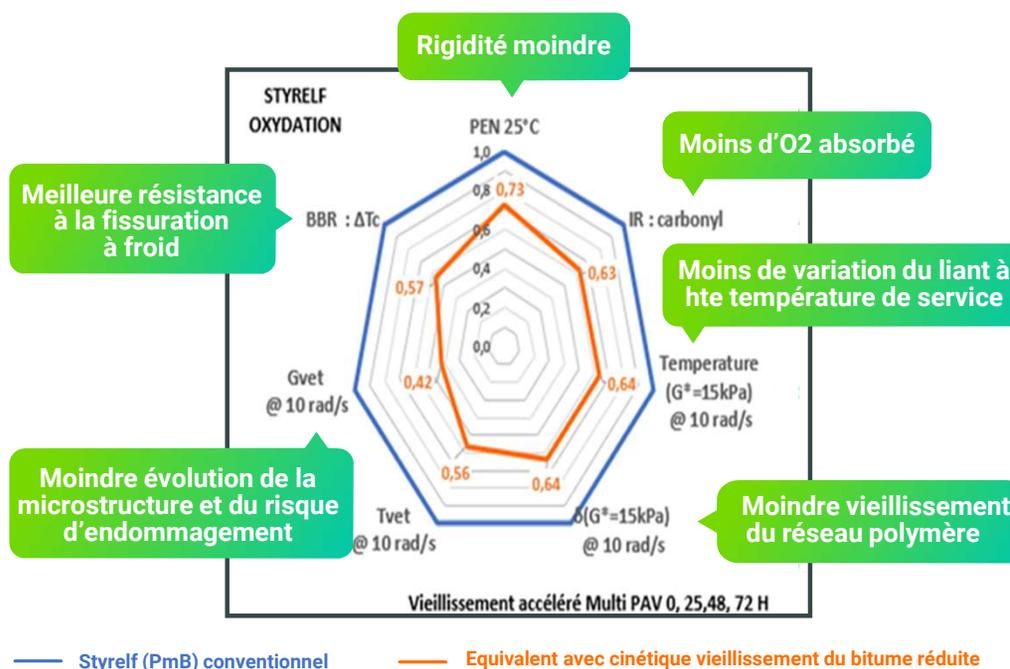
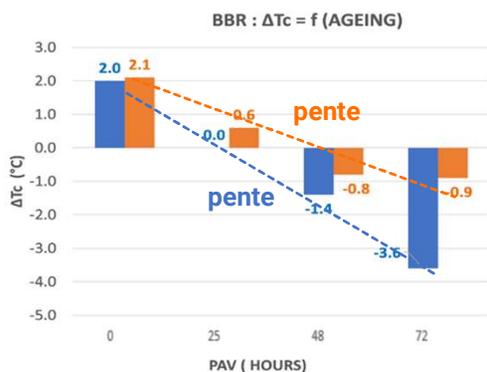
**Cas d'usage n°3:  
Ralentir le vieillissement  
oxydatif du bitume**

# Se différencier par la phase d'usage au-delà des PmB

Lutter contre le vieillissement oxydatif du liant et ajouter un levier complémentaire pour décarboner la phase d'usage au travers de la durabilité



Asphalt mixture & road durability



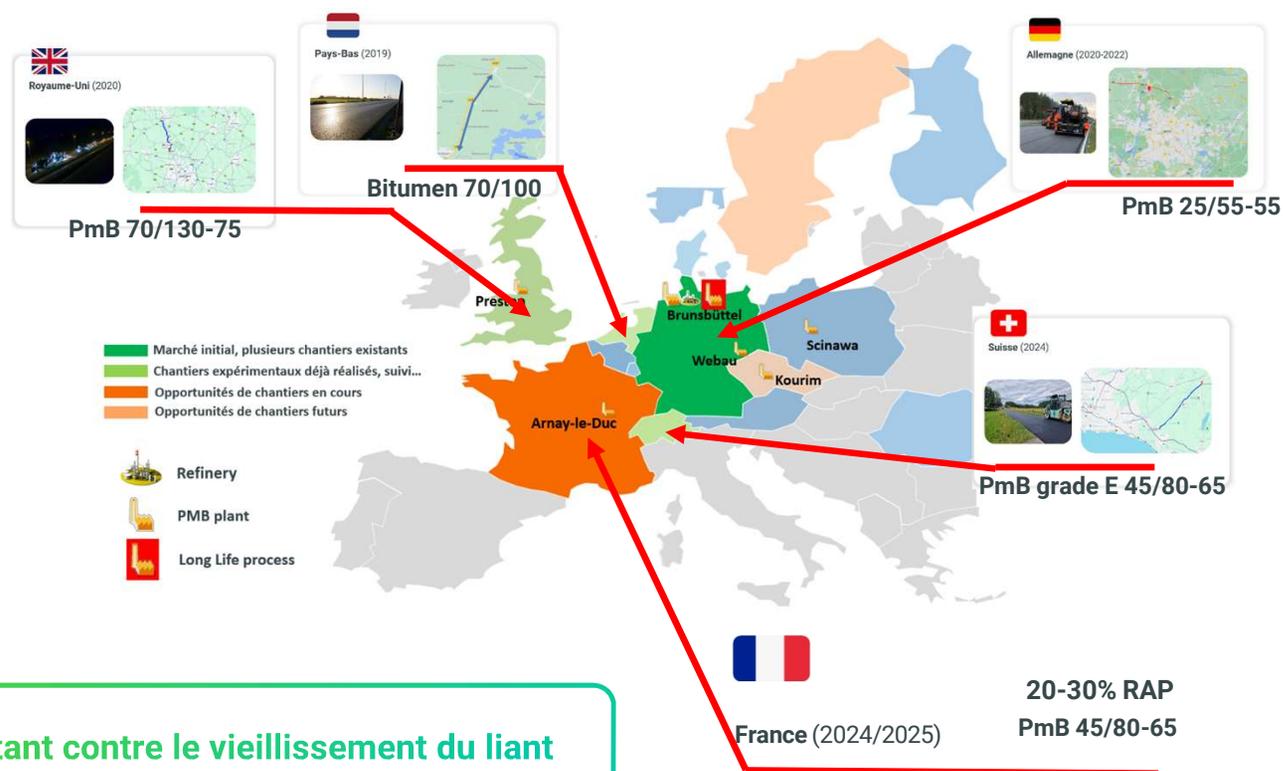
🗣️ 2 présentations E&E congress 2024 (Sékolène Laage, Iliass Tahiri)

# Se différencier par la phase d'usage au-delà des PmB

Lutter contre le vieillissement oxydatif du liant en associant les données terrain et les outils de prédiction



- D'autres expérimentations sont prévues
- Suivi des sections. Bon retour des 1<sup>ers</sup> chantiers
- Collecter des données terrains pour renforcer notre connaissance sur la durabilité de ces liant et calibrer les données d'entrée de nos outils de prédiction
- Eprouver les résultats à l'échelle 1



Dégager de la valeur en luttant contre le vieillissement du liant

# A retenir!



**Cadre sociétal et attente des parties prenantes**  
en pleine évolution



**Développement d'outils de quantification des impacts**  
pour accompagner nos offres



**R&D focalisée sur le développement de solutions viables**  
dans le long terme



**Phase d'industrialisation en cours** sur un portefeuille de liants différenciants



**Des produits éco-responsables**  
pour vous accompagner dès aujourd'hui



Des équipes techniques et commerciales **disponibles** pour répondre à vos demandes sur ces **nouveaux besoins**



**Merci!**  
**Q&A**