

The background features a collage of six images: a modern building with a bicycle, a large orange roof structure, a mountain landscape, a pedestrian walkway, a green and white striped landscape, and a concrete bridge.

 **CONGRÈS DE  
L'IDRRIM**  
Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité

**MERCREDI 15 JUN 2016 / 14H00 – 15H30**  
**SESSION N°11 : RECHERCHE, INNOVATIONS ET**  
**EXPERIMENTATIONS**

**14 • 15 JUIN**

**PARIS • PORTE DE VERSAILLES**  
**PAVILLON 1**

# ➤ RECHERCHE, INNOVATIONS ET EXPERIMENTATIONS

- ✓ Matériaux et Infrastructures pour les Rues, les Routes et le Rail : Aperçu sur les recherches menées à l'ENTPE/LTDS
- ✓ ESTP : Des solutions de recherche appliquée pour les industriels
- ✓ Présentation et fonctionnement du Comité Innovation Routes et Rues
- ✓ Les lauréats du CIRR 2016
- ✓ Les Terrassement de demain : Perspectives





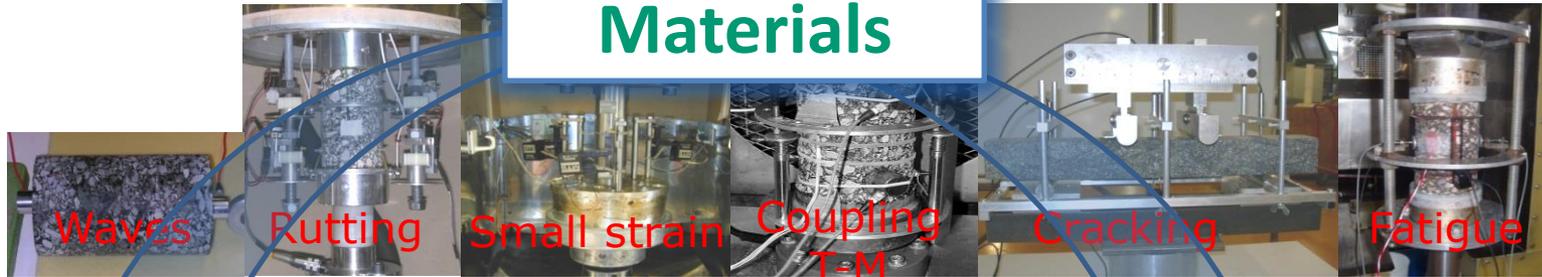
# Matériaux et Infrastructures pour les Rues, les Routes et le Rail

## Aperçu sur les recherches menées à l'ENTPE/LTDS

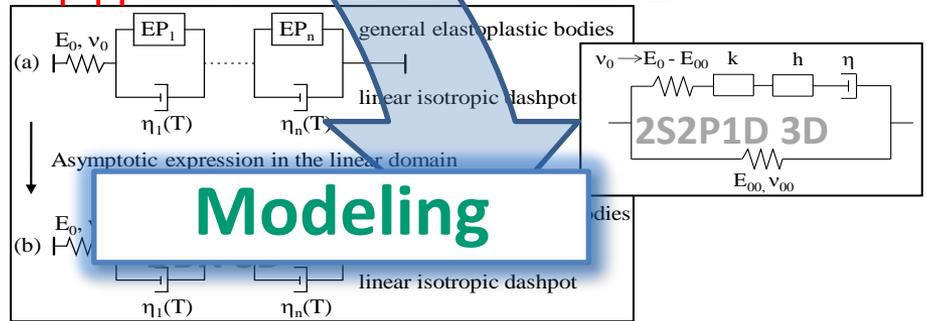
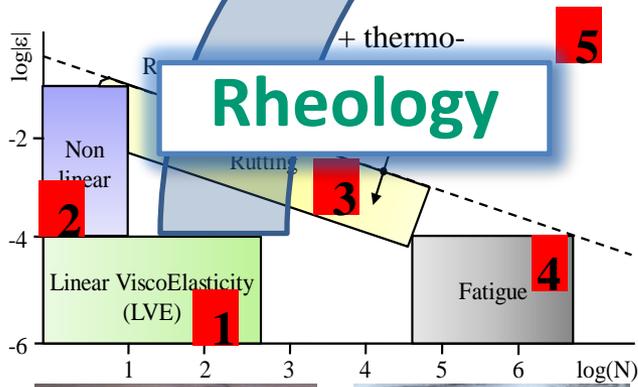
Hervé Di Benedetto (ENTPE-LTDS)

# Synthèse des recherches menées

## Materials



## Rheology



## Modeling

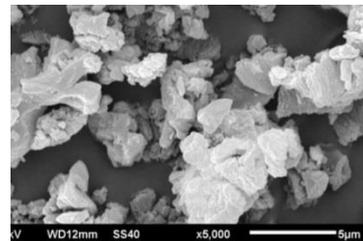
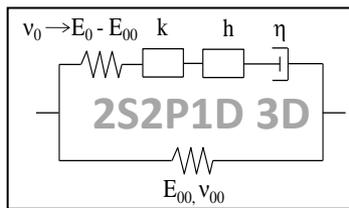
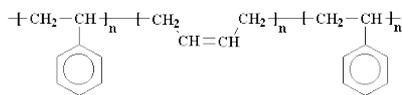


## INFRASTRUCTURES

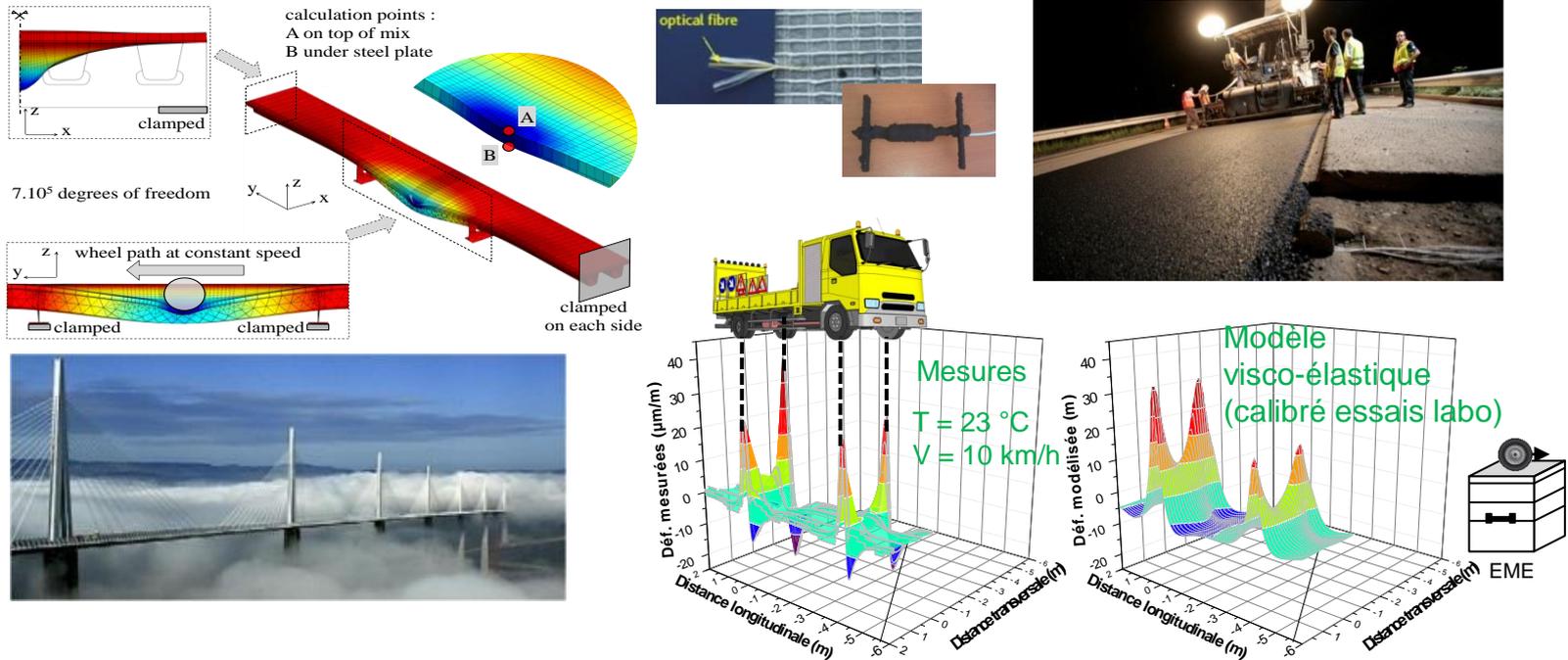
**Contacts:** Hervé Di Benedetto: [herve.dibenedetto@entpe.fr](mailto:herve.dibenedetto@entpe.fr)  
 Cédric Sauzéat: [cedric.sauzeat@entpe.fr](mailto:cedric.sauzeat@entpe.fr)

# Enjeux actuels et futurs-Matériaux

- Description du comportement thermo-mécanique
- Recyclage des matériaux en place (AER)
- Réutilisation de sous-produits, déchets (bardeaux bitumineux...)
- Nouveaux procédés de fabrication (baisse des températures de fabrication...)
- Nouveaux matériaux innovants (nano-, adjuvants, formulation...)



# Enjeux actuels et futurs-Infrastructures

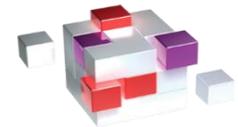


- Dimensionnement des structures
- Endommagement/vieillesse des chaussées
- Auscultation des chaussées en place (durabilité)
- Calcul du cycle de vie complet des infrastructures

# Partenaires et financeurs (2012-2016)



**PALSE:  
MaPCoD**



International Society for  
Asphalt Pavement



European Asphalt  
Technology Association

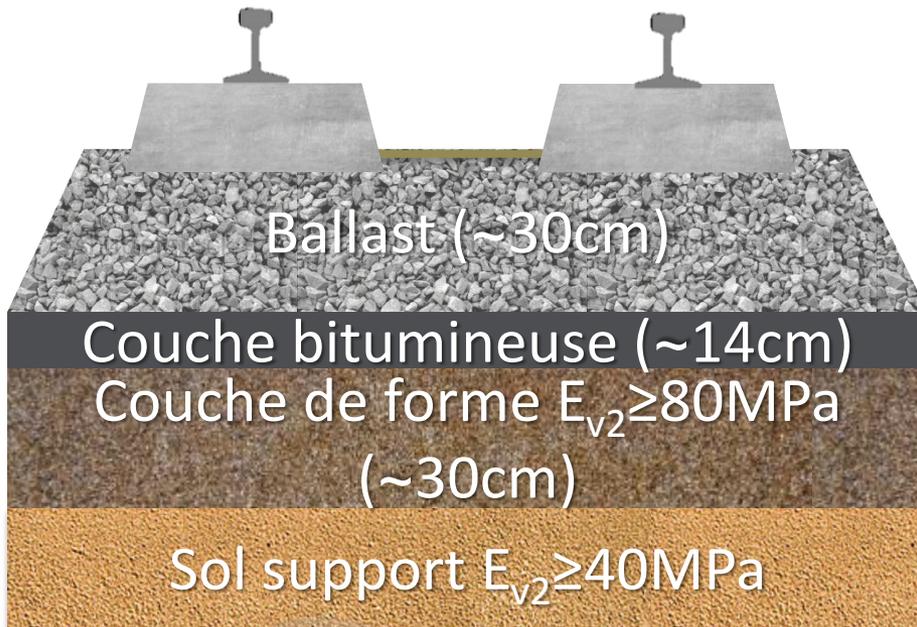


# Caractérisation des propriétés thermomécaniques des enrobés bitumineux pour usage ferroviaire

Diego Ramirez Cardona (Doctorant CIFRE ENTPE-SNCF)

# Les enrobés dans la voie ferrée

- Avantages des couches bitumineuses sous ballast:



Exemple de structure avec couche bitumineuse sous ballast

- Economies en matériaux de construction
- Circulation des engins de construction sur la couche bitumineuse
- Amélioration de la stabilité de la structure  
→ Réduction des besoins de maintenance
- Réduction des vibrations

# ➤ Les enrobés dans la voie ferrée (2)

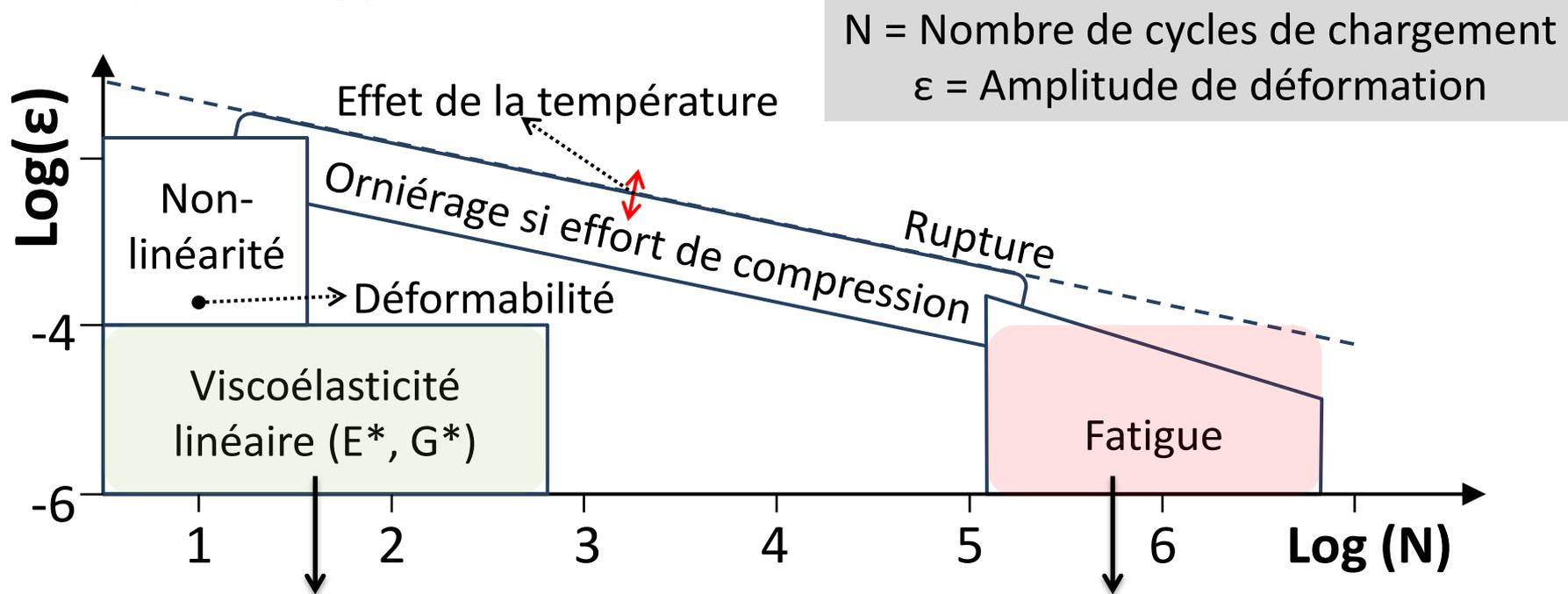
- Conditions de service – routes vs voies ferrées
  - Hautes fréquences de sollicitation à haute vitesse (→350 km/h)
  - Exposition des enrobés pour couche de base aux aléas climatiques
  - Charges à l'essieu élevées (~85 kN)
  - Durée de vie attendue > 60 ans
  - Chargement localisé car transport guidé
  - Poids de la superstructure (ballast + traverse + rail)



**Les enrobés répondent-ils bien à ces conditions de sollicitation ?**

# Comportement mécanique des enrobés

- Comportement dépendant de la **température (T)** et de la **fréquence (f)**



Module complexe  $E^*$  à plusieurs (f, T)

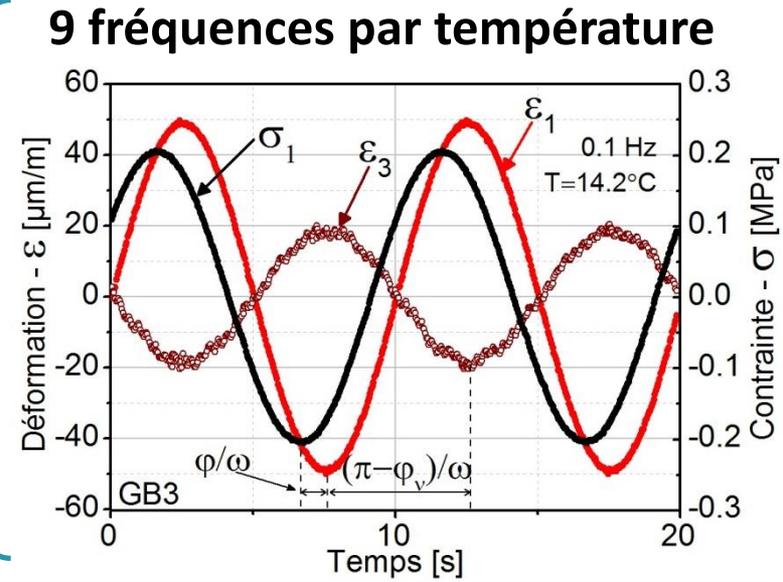
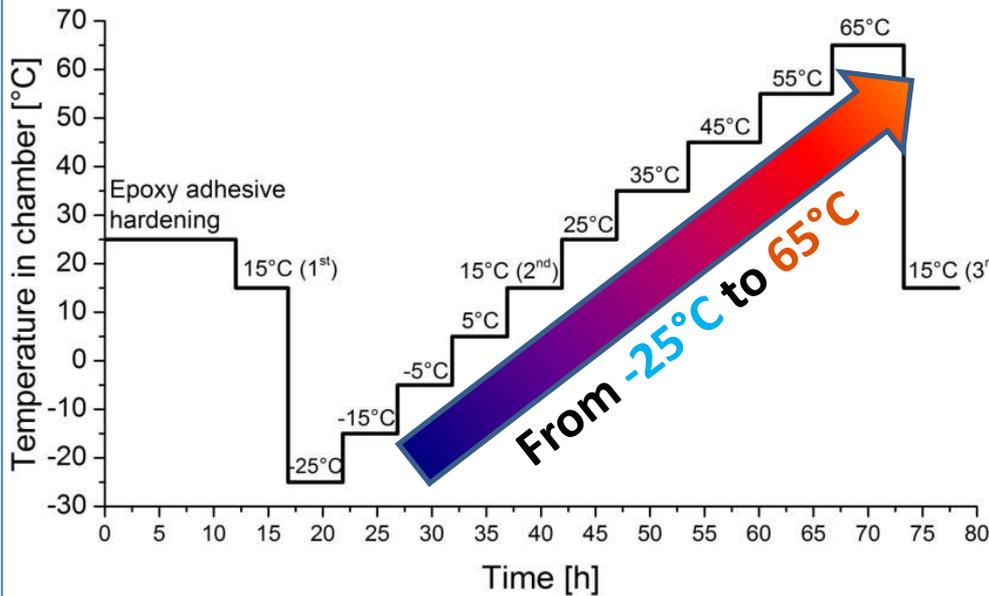
Durée de vie pour un chargement cyclique à (f, T)

# Essais de caractérisation

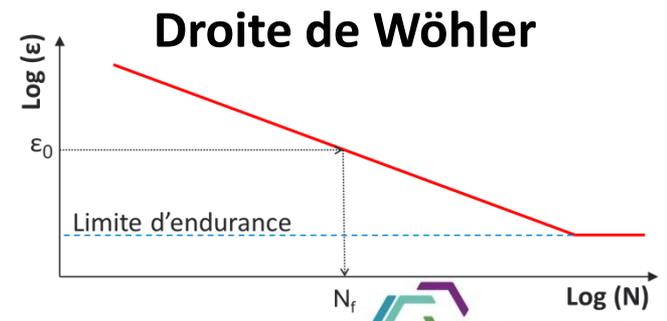
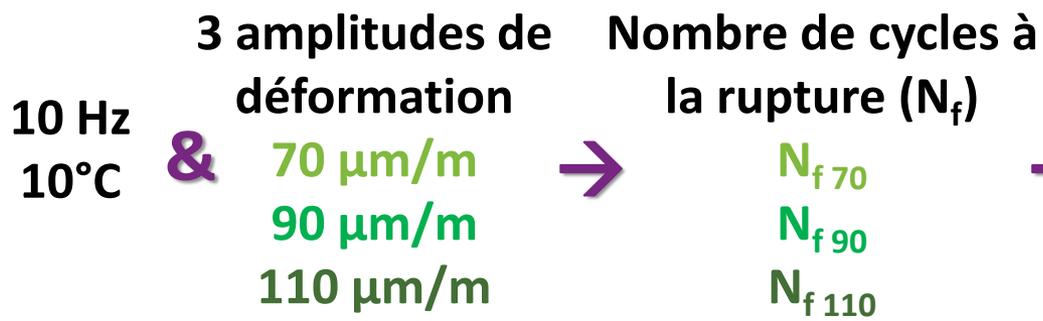


- Essais cycliques sinusoïdaux en **traction-compression** sur éprouvettes cylindriques : **Avant & Après conditionnement**

Module complexe  $E^*$

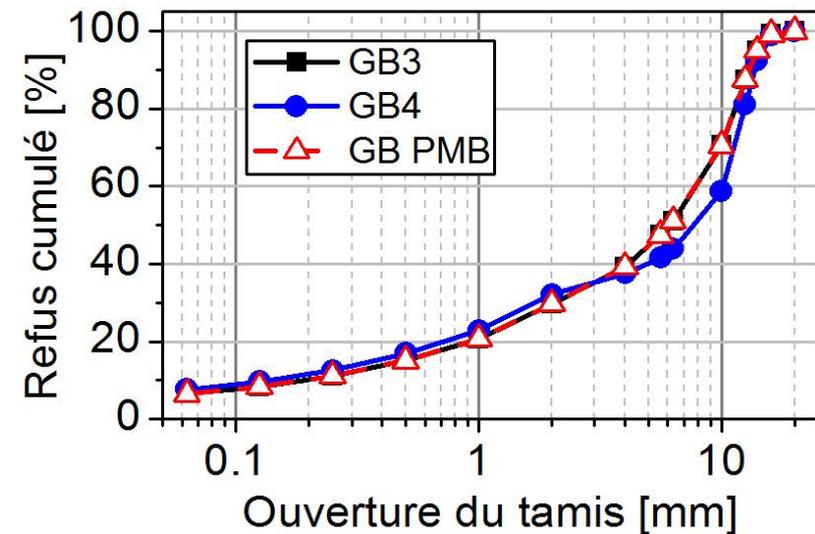


Fatigue



# Matériaux étudiés

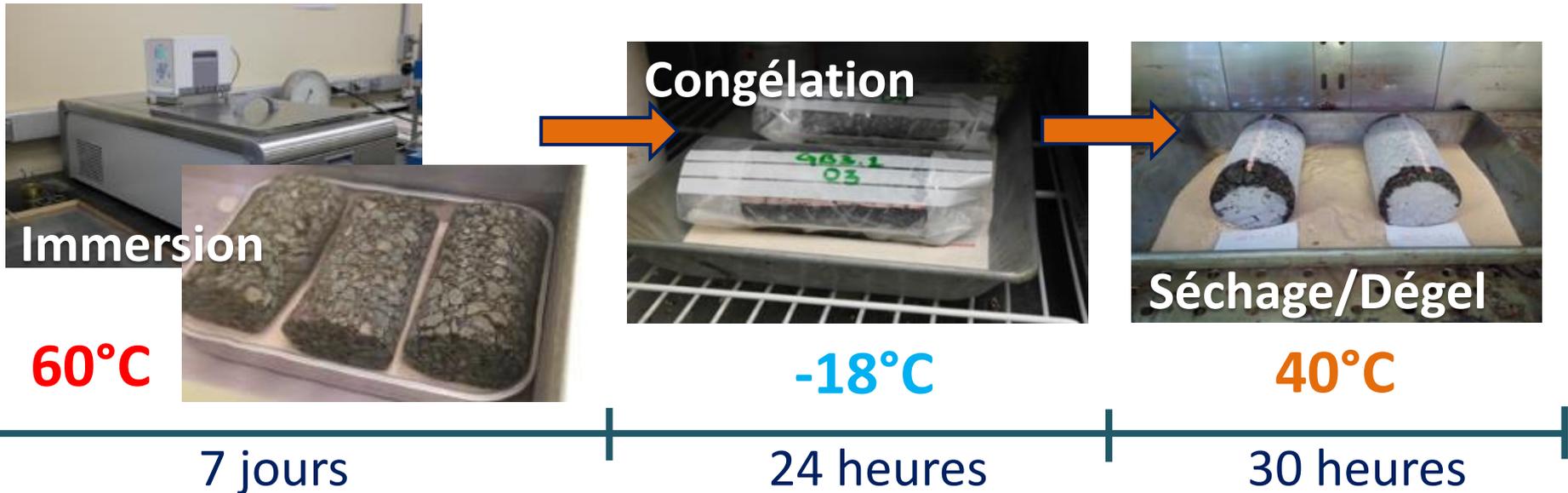
- Trois formules d'enrobé pour couche de base testées :
  - GB3** → matériau de référence
  - GB4** → formule avec squelette granulaire optimisé
  - GB PMB** → même formule que GB3 avec bitume modifié aux polymères



	GB3	GB4	GB PMB
Bitume	35/50	35/50	35/50+2.5% SBS réticulé
TL [%]	4.4	4.8	4.4
MVR [g/cm <sup>3</sup> ]	2.49	2.48	2.49
Filler d'apport (calcaire) [%]	2.5	3.4	2.5
Vides moyen [%]	8.1	4.4	7.6

# ➤ Méthode de conditionnement des éprouvettes à l'eau et au gel

- Méthode sévère proposée sur la base des essais normalisés Duriez (NF EN 12697-12) et AASHTO T283

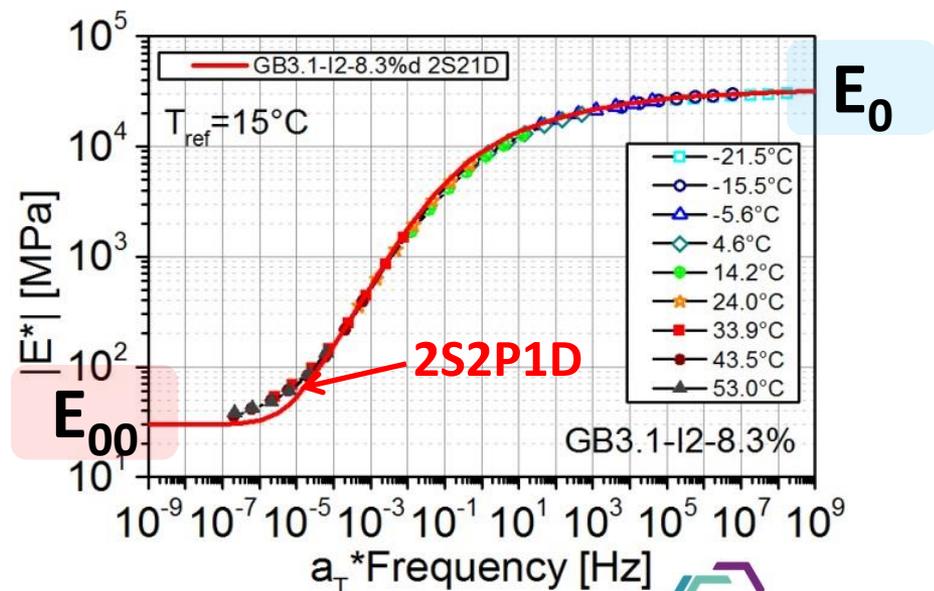
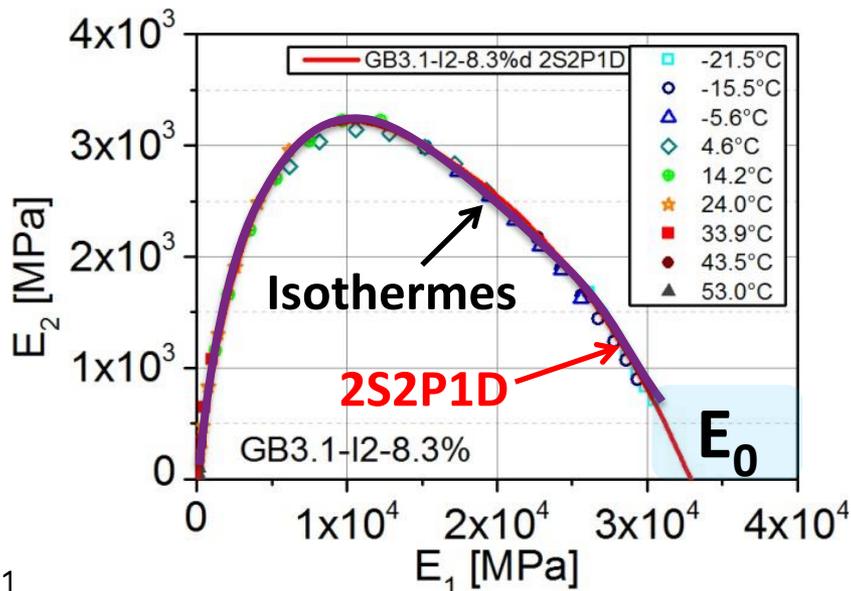
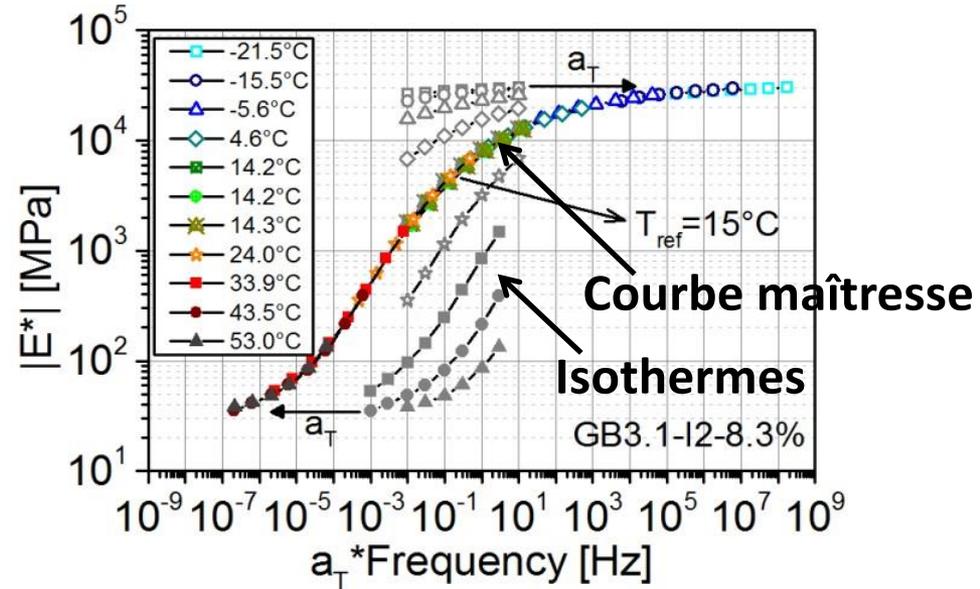


# Résultats des essais de module complexe

- Construction de courbe maîtresse de  $|E^*|$  et modélisation 2S2P1D :

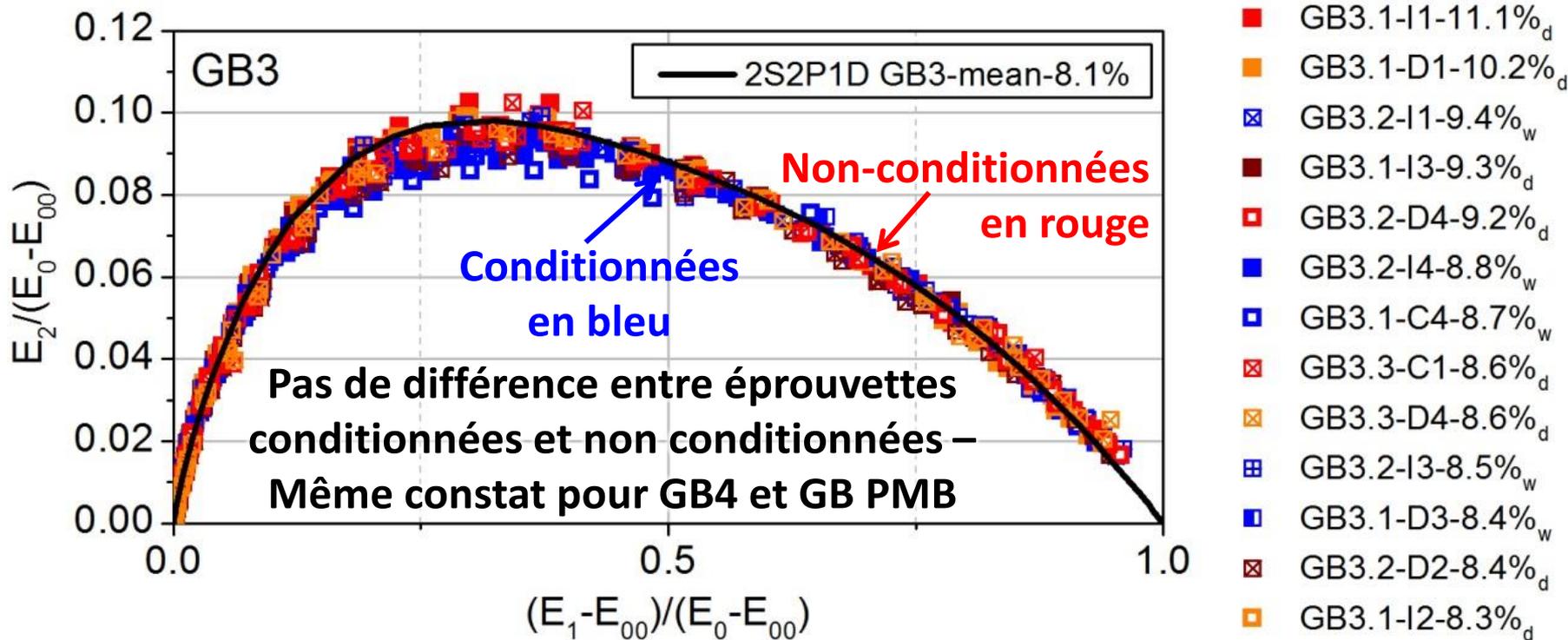
$$E^* = E_1 + jE_2$$

$$= |E^*| \cos \varphi + j|E^*| \sin \varphi$$



# Résultats des essais de module complexe

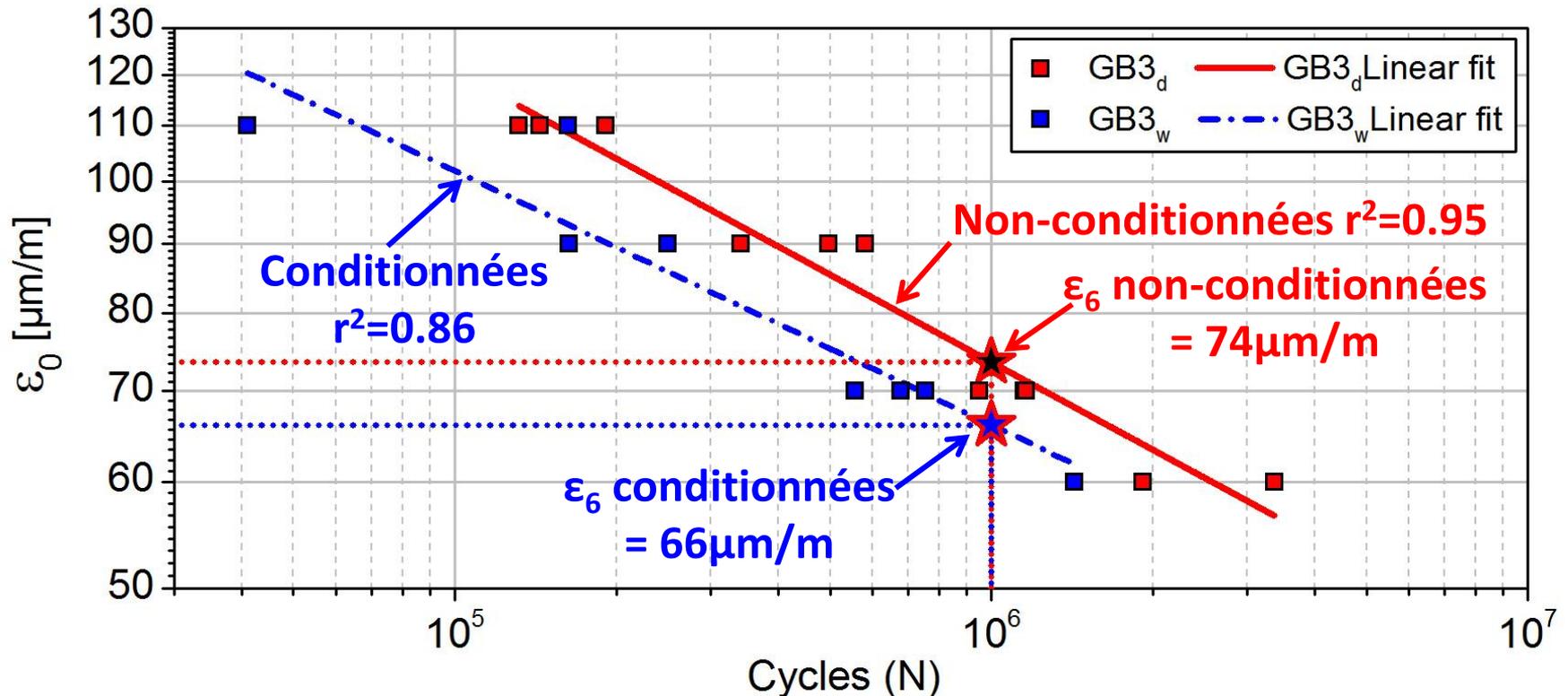
- Influence du conditionnement à l'eau et au gel – Résultats sur plan Cole-Cole normalisé par  $E_{00}$  et  $E_0$



Mêmes courbes dans les axes normalisées →  
modélisation VEL de l'effet du conditionnement

# ➤ Résultats des essais de fatigue

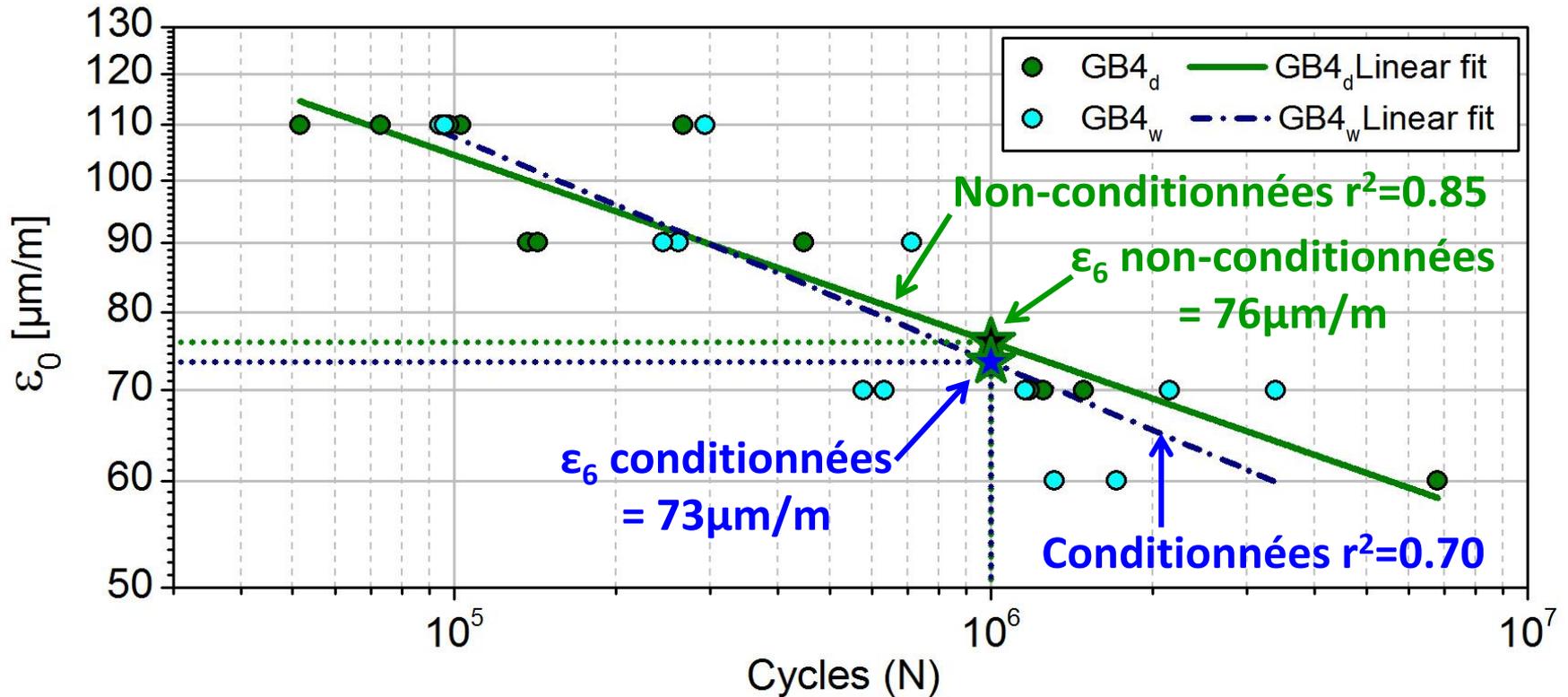
- Influence du conditionnement à l'eau et au gel – Droites de Wöhler **GB3**



GB3 : Réduction évidente de la tenue en fatigue

# ➤ Résultats des essais de fatigue

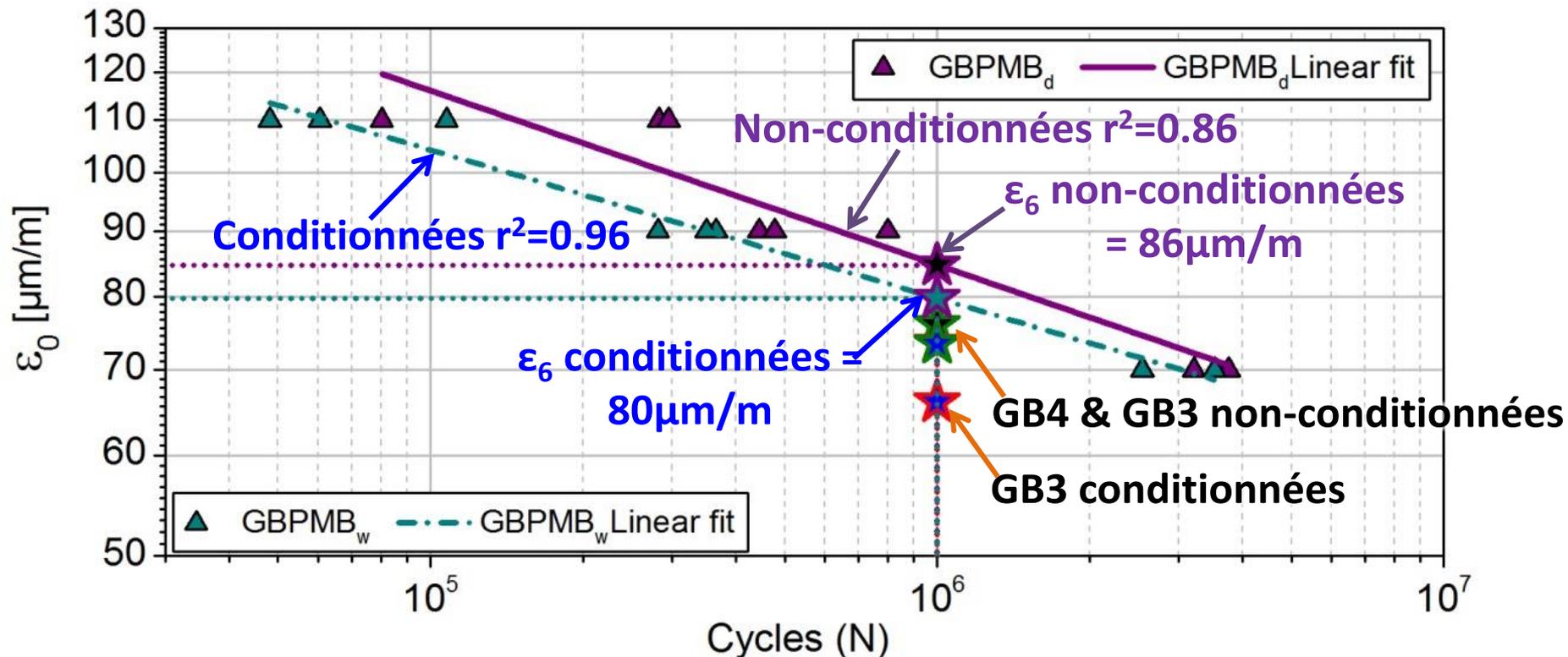
- Influence du conditionnement à l'eau et au gel – Droites de Wöhler **GB4**



GB4 : Pas d'effet visible sur la tenue en fatigue

# ➤ Résultats des essais de fatigue

- Influence du conditionnement à l'eau et au gel – Droites de Wöhler GB PMB



GBPMB : Plus résistant à la fatigue que GB3 et GB4, même après conditionnement

# Conclusions

## Comportement viscoélastique linéaire

- Haute rigidité, intéressant pour utilisation en couche sous-ballast
- Le comportement VEL des matériaux ne varie pas significativement après conditionnement à l'eau et au gel
- Modèle 2S2P1D de l'ENTPE: bon outil pour décrire le comportement VEL des enrobés bitumineux

## Comportement en fatigue en traction-compression

- La GB4 a une moins forte susceptibilité à l'eau et au gel vis-à-vis de la fatigue que la GB3
- L'utilisation d'un bitume modifié aux polymères a augmenté sensiblement la résistance à la fatigue

# CONGRÈS DE L'IDRIM

Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité



# Merci de votre attention



**ESTP**

**Des solutions de recherche  
appliquée pour les industriels**

---

**Anne DONY**  
**15 Juin 2016**

# > Sommaire

- ESTP- Une Grande Ecole d'Ingénieur de la Construction et son IRC – Institut de Recherche en Constructibilité
- Thèse 1: Comportement des enrobés tièdes aux températures de mise en œuvre ( soutenue 04/2016)
- Thèse 2: Co-maintenance des réseaux enterrés et structures de chaussées en milieu urbain (démarrage 09/2016)

# ESTP et son IRC



- Association Loi 1901, sans but lucratif
- 125 ans d'existence, reconnue par l'Etat, habilitée CTI

ASSOCIÉ À LA COMUE

UNIVERSITÉ  
— PARIS-EST

avec IFSTTAR, CNRS, ADVANCITY, CSTB, ENPC,  
ENSG, ESIEE, EIVP, UMLV, UPEC, ....

- 2 600 étudiants, français et étrangers et 600 ingénieurs diplômés / an
- 77 universités étrangères partenaires sur les 5 continents
- Formation : Bac + 2 à bac +8

**Constructibilité:** dès le lancement du projet, définir la meilleure stratégie de construction d'un ouvrage

- Création en 2009, évaluée en 2014 par le HCERES
- 3 axes majeurs: Constructibilité **et Matériaux/ et Structures/ et Projets**
- Chiffres clés:
  - 25 EC + personnel avec 1300 m<sup>2</sup> de locaux, 6 laboratoires
  - 18 doctorants, 30 stagiaires/an
  - 2 chaires Enseignement-Recherche (GCN, IdB)

# Comment faire de la Recherche/Innovation à l'ESTP ?

- Cours Enseignement : **PIER** (Projet Industriel d'Entrepreneuriat et de Recherche) mené par binôme ou trinôme ESTP (8 mois max.; 1 journée /semaine) → **Journée Innovation**
- Cours Recherche :
  - Master de 4 à 6 mois
  - TFE Recherche ESTP (4 à 6 mois)
  - TFE Recherche internationale (4 à 6 mois)
  - **Thèse (3 ans)**

## Partenariats industriels

- Entreprises /Fournisseurs
- Organisations professionnelles
- Organismes d'état

## Partenariats académiques

nationaux et internationaux

## Recherche collaborative

nationale, européenne, internationale

# Etude du comportement des enrobés bitumineux aux températures de mise en œuvre

Soutenue le 12 avril 2016 par **Angélique Fabre des Essarts**



Développement des enrobés tièdes et apparition sur les chantiers routiers de problèmes de **maniabilité**



Mise en œuvre manuelle  
(enrobé foisonné)

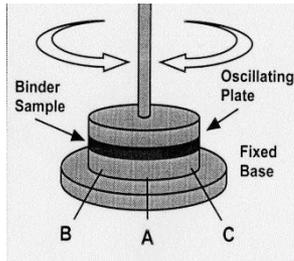


Mise en œuvre mécanisée et finitions manuelles (enrobé pré-compacté)

# Etude du comportement des enrobés bitumineux aux T° de mise en œuvre

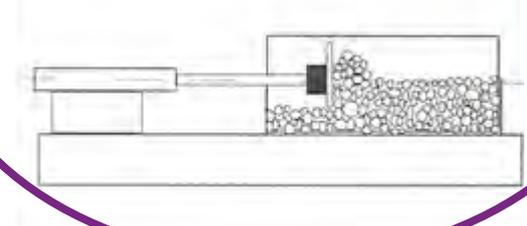
## Démarche expérimentale

### Rhéologie liants et mastics



Approche multi-échelle aux températures de mise en œuvre

### Maniabilité des enrobés, à l'aide du maniabilimètre



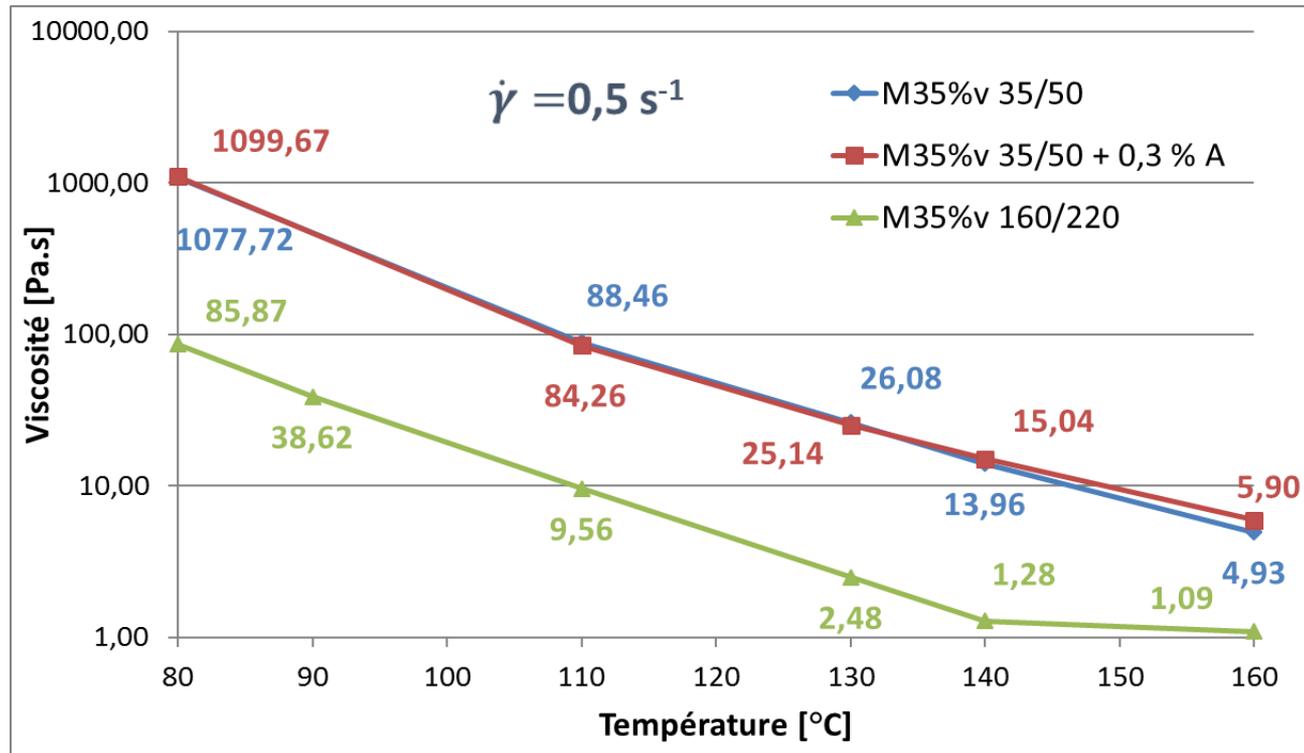
- **Matériaux réels** (base bitumes de différents grades avec et sans additif tensio-actif)
- **Matériaux modèles** (base huiles de silicone)





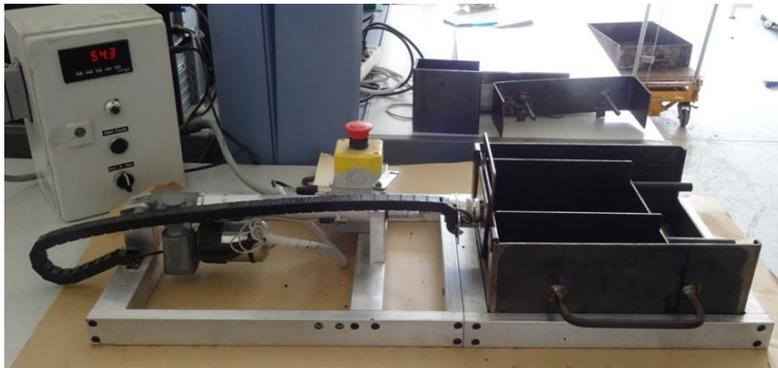
# Etude du comportement des enrobés bitumineux aux T° de mise en œuvre

## Liant et mastic : influence de la T°, grade bitume et additif



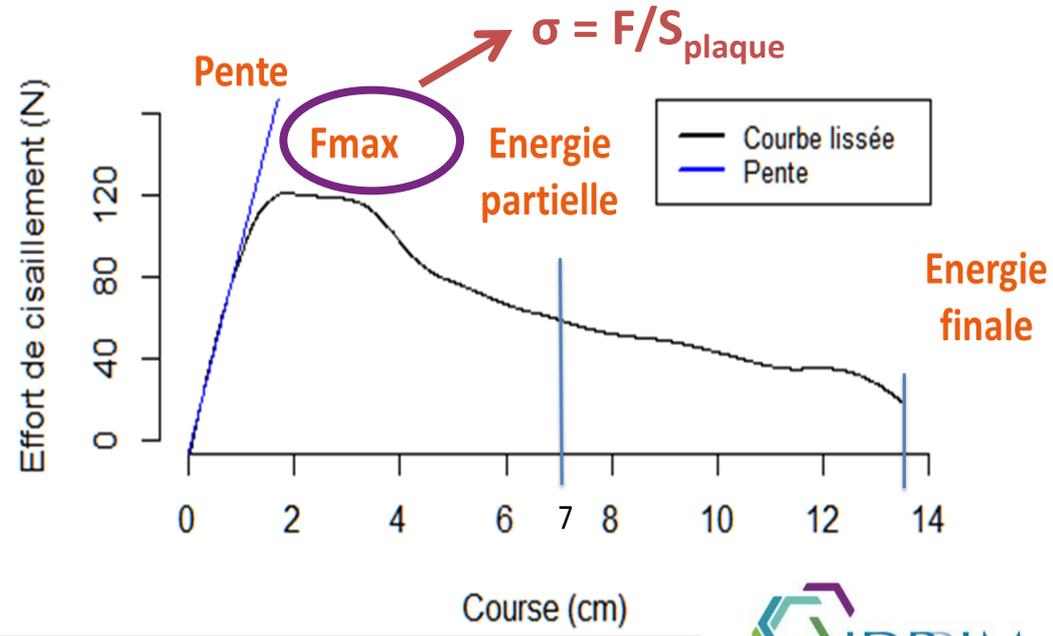
Caractère newtonien des liants et huiles MAIS **non newtonien** des mastics  
**Pas d'effet de l'additif** sur la viscosité du bitume 35/50 et mastic  
Phénomène de **sédimentation** ...

# Etude du comportement des enrobés bitumineux aux T° de mise en œuvre



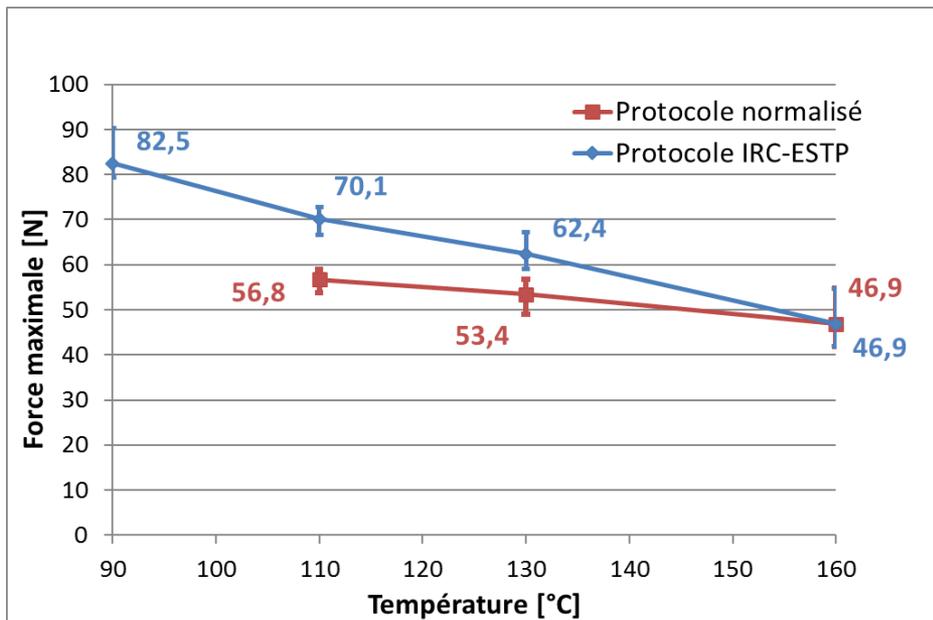
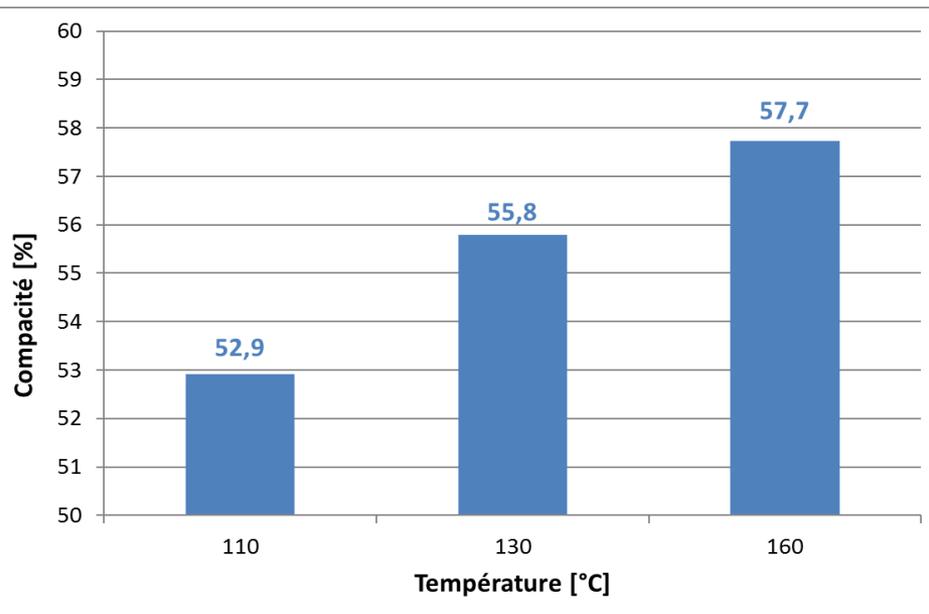
## • Paramètres:

- Matériaux : liants/ granulats/K/ compacité
- Procédés: chaud/tiède/additif
- Outil: vitesse/taille moule/ Longueur/largeur/déversement...



# Etude du comportement des enrobés bitumineux aux T° de mise en œuvre

## Influence de la compacité foisonnée sur la maniabilité

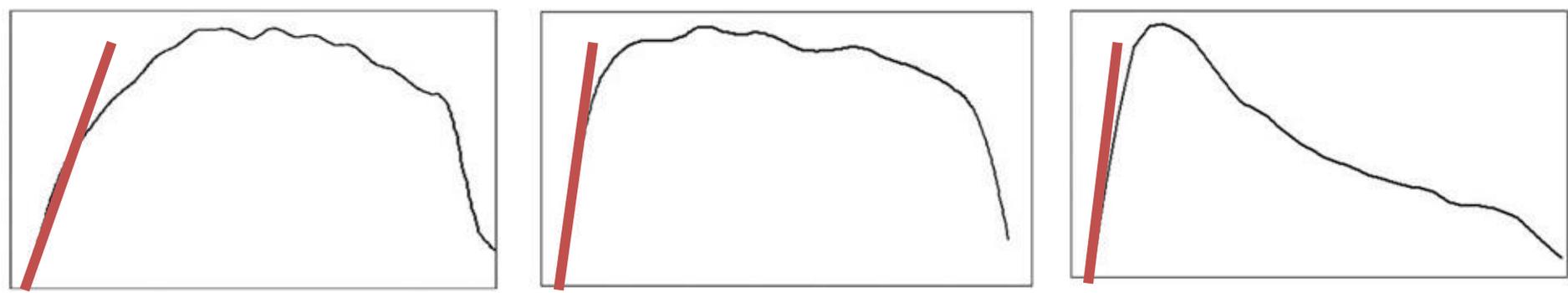


Importance de maîtriser la compacité et développement d'un **protocole d'essai à compacité contrôlée**



# Etude du comportement des enrobés bitumineux aux T° de mise en œuvre

## Identification de 3 types de comportement



Fmax [N]	60	70	90
Pente	30	50	65



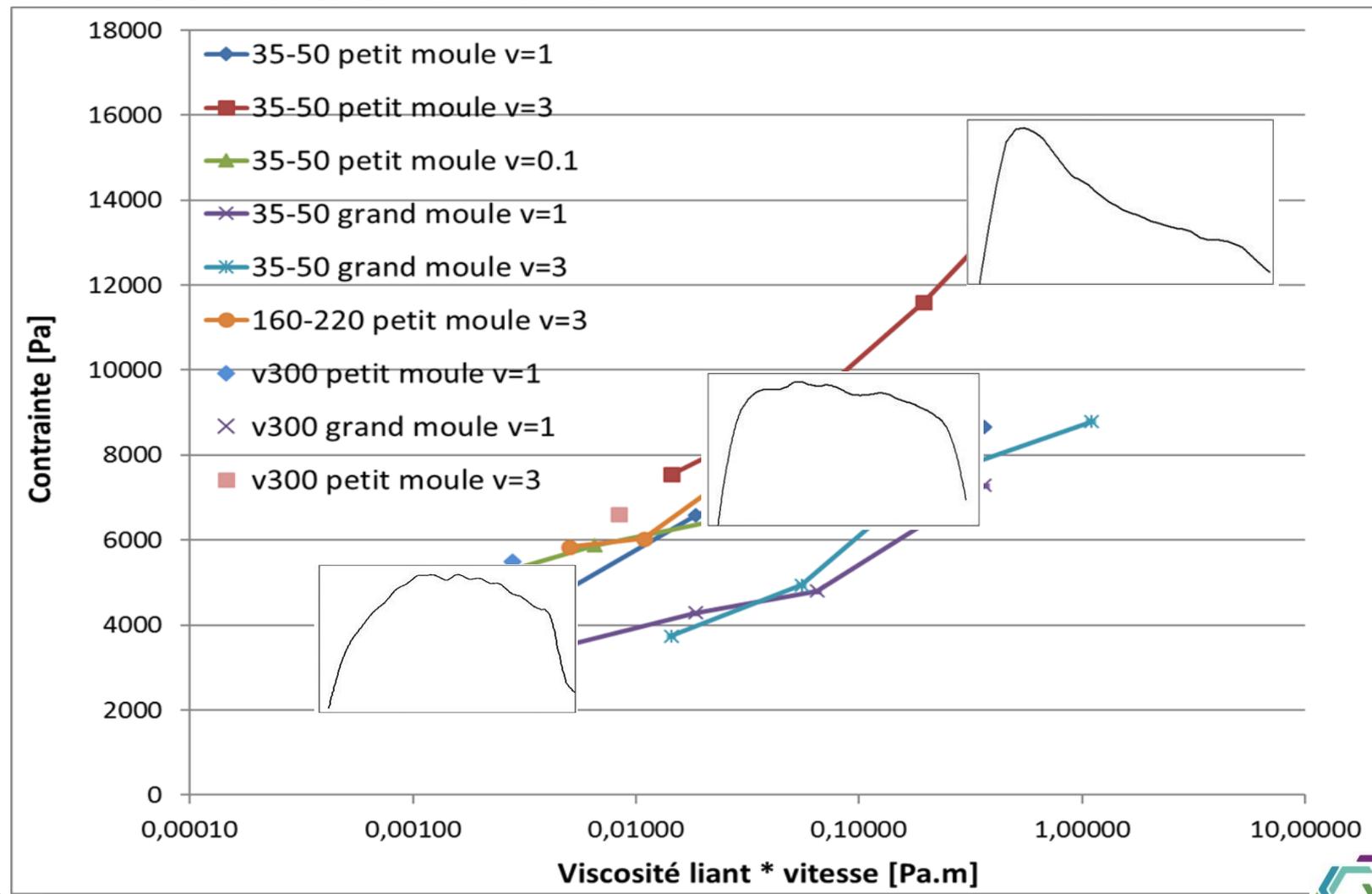
« Parabole »

« Plateau »

« Pic »

# Etude du comportement des enrobés bitumineux aux T° de mise en œuvre

## Corrélation liant / enrobé



# Etude du comportement des enrobés bitumineux aux T° de mise en œuvre

## Conclusions

- Possibilité/intérêt des **matériaux modèles**
- **Complexité** de la rhéologie du mastic (migration, taille de particules)
- Intérêt de l'**outil maniabilimètre MAIS** nécessité de poursuivre l'analyse (seuils / travail manuel sur chantier, amélioration norme, prise de la mesure, géométrie de l'appareil,...)
- Valorisation en cours

# Co-maintenance des réseaux enterrés et structures de chaussées en milieu urbain

## Contexte actuel

- 2.4 M de km de réseaux enterrés et sensible à la vie économique en France
- Importance des voiries urbaines MAIS fragilisation liés aux interventions sur réseaux
- Une gestion indépendante, des voiries communales, d'une part ... des réseaux de distribution d'autre part,
- Dans les collectivités, des services proches ... mais séparés!

### MAIS

- Peu /pas de SIG en gestion voirie ET +/- SIG en gestion réseau
- De nombreux acteurs dans la chaîne de décision...



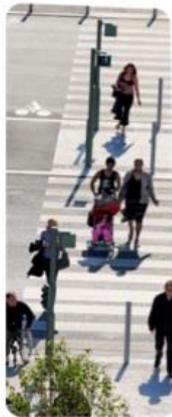


# Co-maintenance des réseaux enterrés et structures de chaussées en milieu urbain

## Objectif de la thèse (P.Bordin/A.Dony)

Élaborer une **démarche** (technique, opérationnelle et méthodologique) s'appuyant sur un **outil de gestion conjointe** à partir d'un SIG pour :

- **Fédérer** toutes les informations (système route/réseaux)
- **Coordonner** les travaux sur les réseaux
- **Gérer** les travaux sur les matériaux de chaussées, en particulier à l'occasion des travaux sur les réseaux, intégrer un historique → optimiser
- Enfin, **aider à la décision** du choix de matériaux sur la chaussée et optimiser la conception même des routes ...



**Merci de votre attention**

**Anne DONY**

**[adony@estp-paris.eu](mailto:adony@estp-paris.eu)**

# Comité Innovation Routes et Rues

**Christine Bouchet**

Directrice des Infrastructures de Transport,  
DGITM/MEEM





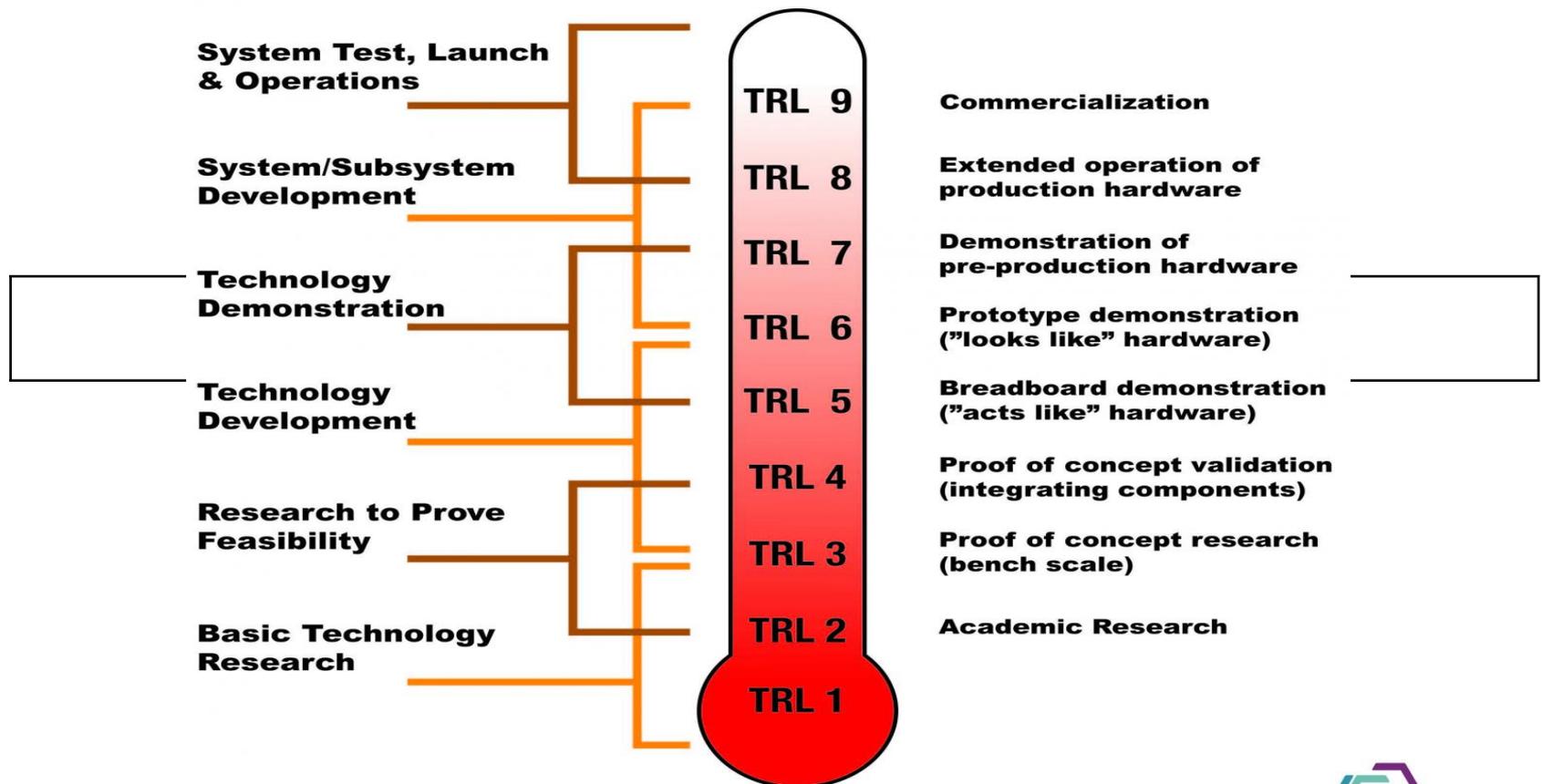
# Présentation et fonctionnement du CIRR

Par Georges Tempez

# L'innovation par l'expérimentation :

## L'Appel à projets d'innovation Routes et Rues ou CIRR

# Le CIRR dans l'échelle *Technology Readiness Level*



## Certificats délivrés depuis 2007

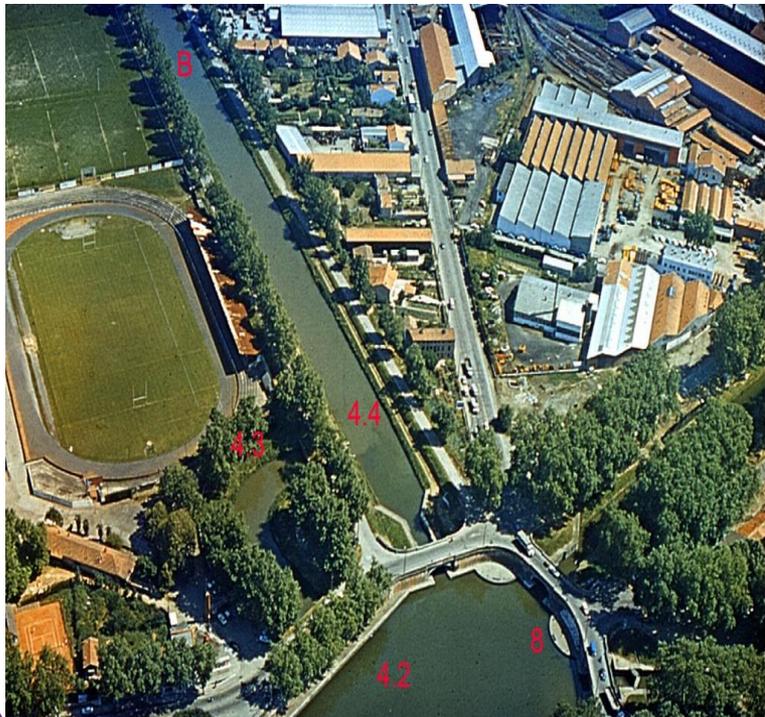
Année	nombre	innovations
2007	3	Valorcol-ESU ; Compomac RM2 ; Neofix
2008	6	Regevia ; Colmat HA ; 3E ; Rugosoft ; Ecomac ; ESU-Vegeflux
2009	5	3E ; Ecomix ; Exocol ; Nanosoft ; Rexovia
2011	2	Etima ; 3E+R roulements
2014	1	Tokomat
2015	1	Scorvia
2016	1	Orthodalle

# ORTHODALLE :

## renforcement du tablier du pont d'ILLZACH ( Eiffage TP ; MOA - CD Haut-Rhin - CEREMA)



# ECOMIX, enrobé mixte à froid pour couche d'assise ( MALET - Toulouse-métropole - CEREMA)



## 3 CHIFFRES MARQUANTS

**11 800**  $\pm$  300 MPa

Module sécant (15°C 0,02s)

**40°C** d'économie d'énergie

**-30 %** d'émission de Gaz à Effet de Serre



# LUMIROUTE : un dispositif d'éclairage des routes moins énergivore

Malet/SPIE Batignolles/Thorn – Limoges Métropole - CEREMA



# La révision de 2014-2015

Un essoufflement : les collectivités ne s'y retrouvent pas

## ***Principales difficultés :***

- Un processus long et laborieux ; De nombreux essais inaboutis
- Un coût financier pour l'Etat mal maîtrisé ; Des risques juridiques pour les collectivités mal cernés

## ***Prendre en compte les évolutions depuis 2007 :***

- Création de L'IDRRIM et du CEREMA
- Les collectivités, acteur majeur de l'innovation dans la construction et de l'entretien des routes et des rues ;
- Le contexte économique

## ***Maintenir la qualité de l'expérimentation : indépendance des experts***

# Un cycle d'innovation maîtrisé

Année n-1		Année n				Année n+1				Année n+2
T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	
<b>Expression des besoins</b>										
		<b>Appel à projets d'innovation</b>								
					<b>Identification de sites d'expérimentation</b>					
						<b>Expérimentations et premiers bilans</b>				

→ **Programme public national DGITM**

→ **Grille d'évaluation des experts**

<b>Acronyme du projet</b>				
<b>Prénom de l'expert</b>		<b>Nom de l'expert</b>	<b>Date</b>	
<b>1. Adéquation vis-à-vis des thèmes</b>				<b>Note de 0 à 5</b> N1=
<i>Justification de la note - commentaires</i>				
<b>2. Caractère innovant de la proposition ; apports attendus par rapport aux techniques existantes</b>				<b>Note de 0 à 5</b> N2=
<i>Justification de la note - commentaires</i>				
<b>3. Intérêt pour les différentes maîtrises d'ouvrage routières</b>				<b>Note de 0 à 5</b> N3=
<i>Justification de la note - commentaires</i>				
<b>4. Intérêt économique de l'innovation</b>				<b>Note de 0 à 5</b> N4=
<i>Justification de la note - commentaires</i>				
<b>5. Possibilité d'évaluer les apports du projet</b>				<b>Note de 0 à 5</b> N5=
<i>Justification de la note - commentaires</i>				
<b>6. Acquis de nature à crédibiliser l'innovation</b> (recherches préalables effectuées, résultats d'essais de laboratoire ou in-situ, publications, etc.)				<b>Note de 0 à 5</b> N6=
<i>Justification de la note - commentaires</i>				
<b>7. Nature de l'expérimentation et caractéristiques du site envisagés</b>				<b>Note de 0 à 5</b> N7=
<i>Justification de la note - commentaires</i>				

# La Prise en compte des MOA:

## la grille d'évaluation

<b>8. Évaluation des risques attachés à un possible échec de l'expérimentation</b>
<i>Justification de la note - commentaires</i>
<b>9. Commentaire général et avis</b>
<i>Commentaires généraux, points forts, points faibles, recommandations (5-20 lignes)</i>
<b>Je déclare avoir pris connaissance de la Note aux experts pour l'instruction des propositions, signé la Fiche d'engagement qui y est associée et n'avoir (pour autant que je le sache) aucun conflit d'intérêt dans l'évaluation de cette proposition</b>
<small>Extrait du document présentant les instructions aux experts et aux rapporteurs : « Par conflit d'intérêt on entend toute situation où un individu est amené 1) à porter un jugement, 2) à participer à une prise de décision, dont lui-même pourrait tirer un bénéfice direct ou indirect dans le cadre de ses activités de scientifique ou de responsable scientifique. »</small>
Nom → date → Signature

# Premiers succès : les lauréats 2015

Nombre de véhicules nécessaires pour transporter 30 personnes



Groupe de covoiturage de deux personnes



Automobiles à un seul occupant

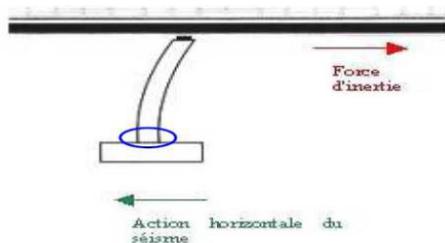


Figure 1 : Pied de pile - rupture sous séisme

# Mise en relation lauréat/MOA : Tout se joue les premiers mois

	J+60	J+80	J+95	J+155
Désignation d'un expert et instruction du dossier	Instruction au fil de la réception des propositions			
Restitution de l'avis			Sélection par le CIRR	
Rédaction et validation du cadre d'expérimentation				Elaboration avec l'entreprise

# Pour un territoire innovant au service de l'économie réelle

*Une procédure maintenant rodée*

*Création base de données IDRRIM/CEREMA sur les innovations « Routes et Rues »*

Lieu de partage et d'échanges d'expériences sur les innovations, toute origine confondue, le CIRR ne jouera son rôle qu'à condition que s'impliquent tous les acteurs

# Comité Innovation Routes et Rues

## Lauréat 2016



# EUROMAC

## L'ENROBÉ À FROID ULTRA MINCE

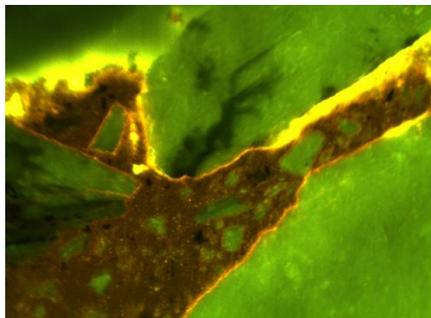


- **BBUME :**  
(moins de 2 cm )  
une technique superficielle  
d'usure  
sans apport structurel  
jusqu'à T2 et en ville

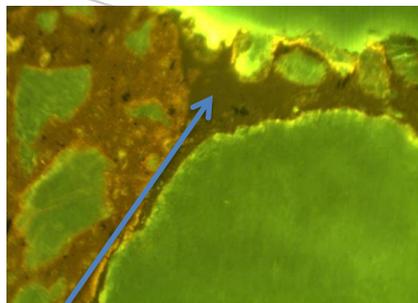


# PENTACK

## PROCÉDÉ À FROID DE RÉGÉNÉRATION



Avant



Après

Pores comblés



Technique développée par COLAS DK pour  
Routes et Aéroports

Transfert de Technologie

Emulsions choisies  
(pure et régénérante)  
+ granite 0/2 mm



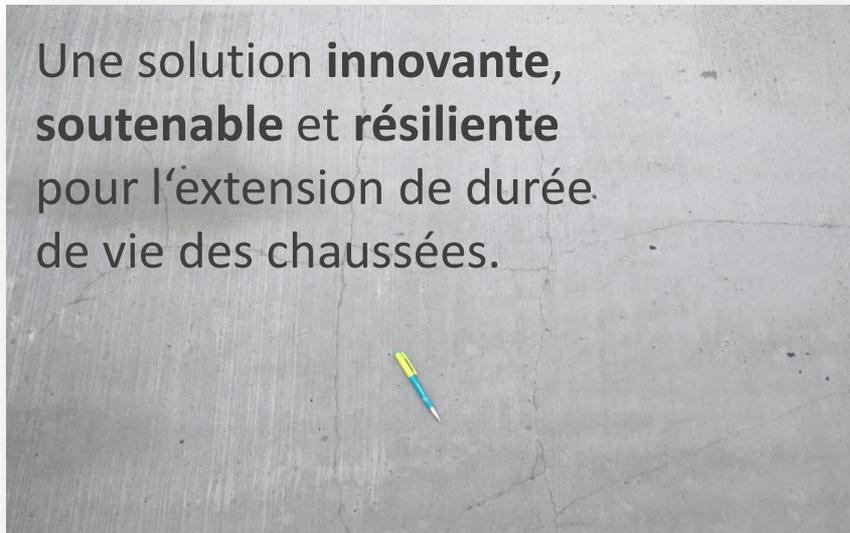
# Aéroprène®

Béton Bitumineux Aéronautique de Nouvelle Génération, dense et grenu, répondant à l'évolution des exigences de la réglementation européenne.

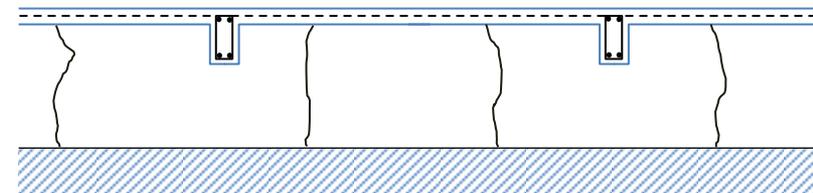
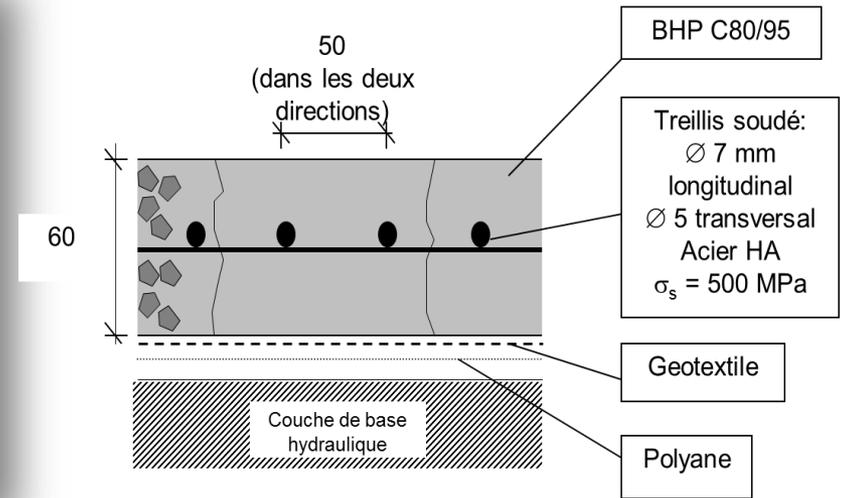
- Macrotexture supérieure à celle des BBA conventionnels : **PMT ≥ 1 mm**  
Courbes granulométriques 0/14 mm optimales
- **Durabilité assurée** par des performances mécaniques très élevées  
Bitumes modifiés aux Polymères (BmP)
- **Propriétés anti-ké**  
Densité optimale + BmP



# LA MOQUETTE BHP



Une solution innovante, soutenable et résiliente pour l'extension de durée de vie des chaussées.



Une chaussée mince en béton à hautes performances C80/95  
Une couche de roulement (non structurelle) qui peut être appliquée sur une couche de base neuve ou sur une chaussée ancienne fissurée.



L'OPÉRATEUR GLOBAL DE LA MOBILITÉ SÛRE

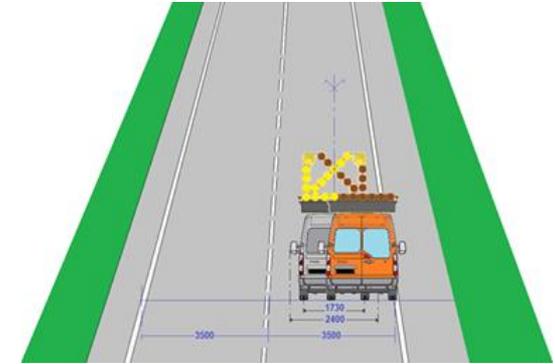
AXIMUM INNOVE POUR SÉCURISER  
LES INTERVENTIONS

**AXIMUM**

# FLU-D & LYNX



## Flèche Lumineuse d'Urgence Décalable FLU-D



## Boîtier de commande à rétro-vision LYNX





**Ductal**<sup>®</sup>



**Foreva**<sup>®</sup>  
Repair  
by Freyssinet

**L'expertise des  
produits Ductal<sup>®</sup>  
par LafargeHolcim**

**Avec plus de 20 ans  
d'expérience,  
LafargeHolcim est le  
leader mondial de la  
production et du  
développement de  
BFUP**

**Le savoir faire de  
projection par  
Foreva<sup>®</sup>  
Freyssinet**

**Avec les solutions de  
réparation Foreva<sup>®</sup>,  
Freyssinet est un  
acteur référent de la  
mise en œuvre des  
bétons projetés.**

**Régénération des buses métalliques sous les routes et  
autoroutes par coque ultra-mince en BFUP projeté**

# CONGRÈS DE L'IDRIM

Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité



# Merci de votre attention



# Les Terrassements de demain : Perspectives

# > Film : Savoir-faire

# Des pistes d'évolution au service des projets...



# ...dans le domaine de l'acquisition de données



# > Lidar : Vecteur

- Hélicoptère ULM
- 450 Kg PTAC
- Vitesse d'acquisition : 80 Km/h; Croisière : 150 Km/h
- Autonomie : 2h30
- Déplaçable par la route sur remorque légère



# > Lidar : Vecteur

## Les rendus



# Photogrammétrie et drone



# Photogrammétrie et drone

## Les rendus



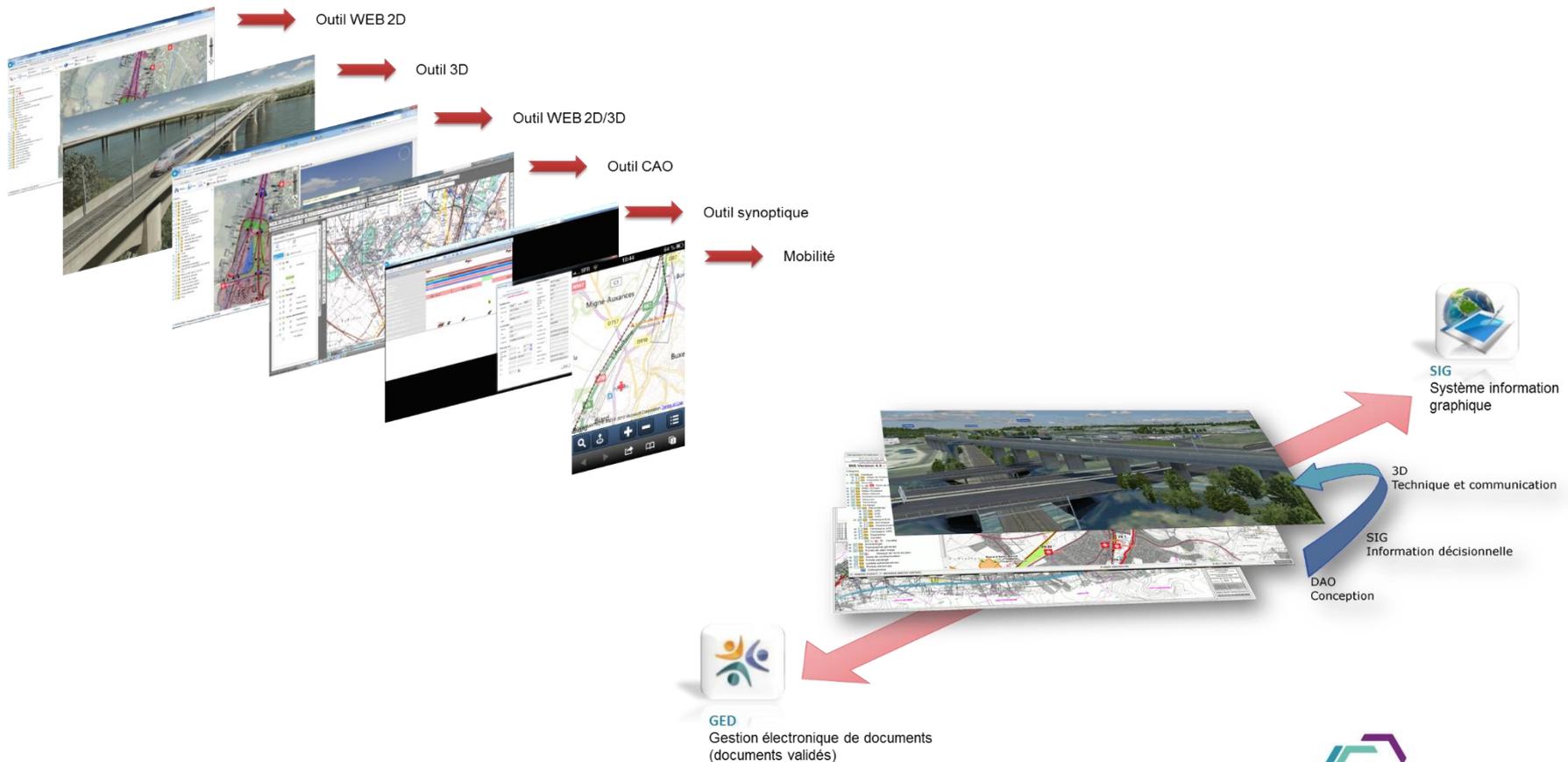
- 30 prises de vue pour un stock
- 30 minutes d'acquisition
- Pas ou peu de cheminement pédestre sur le stock

# ...dans le domaine du traitement des données



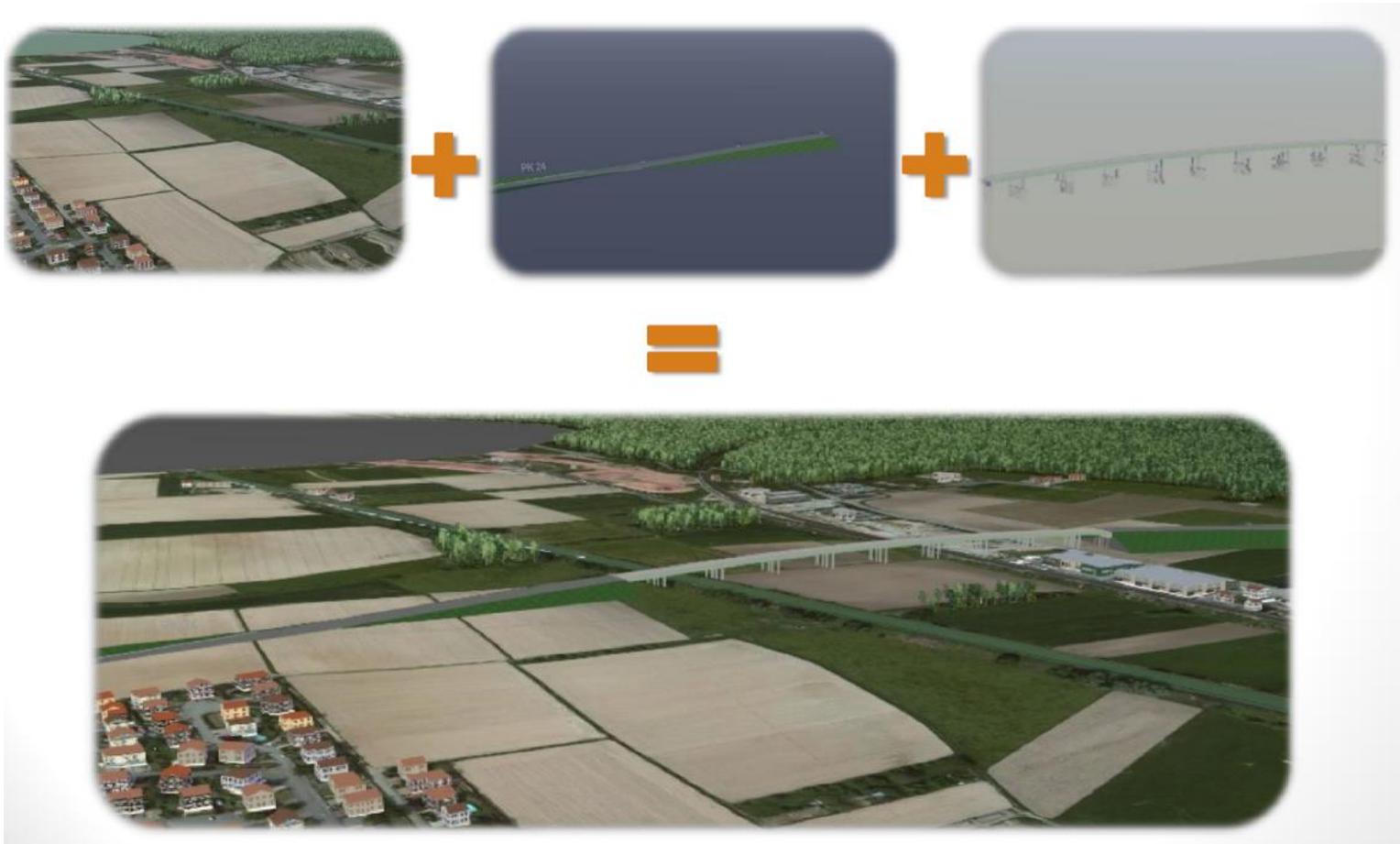
# Le SIG

- SIG (Système d'Information Géographique) : c'est un ensemble de données basiques (points, lignes, surfaces) géo-référencées comportant des attributs les catégorisant.



# ➤ La maquette numérique

- Maquette numérique : c'est une synthèse texturée des différents ouvrages, préalablement modélisés en 3D.



# › La maquette numérique



# > Le BIM

- BIM (building Information Modeling) : c'est un processus associé à une maquette numérique réalisé à partir de données structurées permettant une gestion commune et unique des informations.



# ...dans le domaine de l'exécution des travaux



# › Couche de forme Bio-composite en chanvre

Incorporation  
des fibres



Epandage des fibres



Après passage de l'épandeur

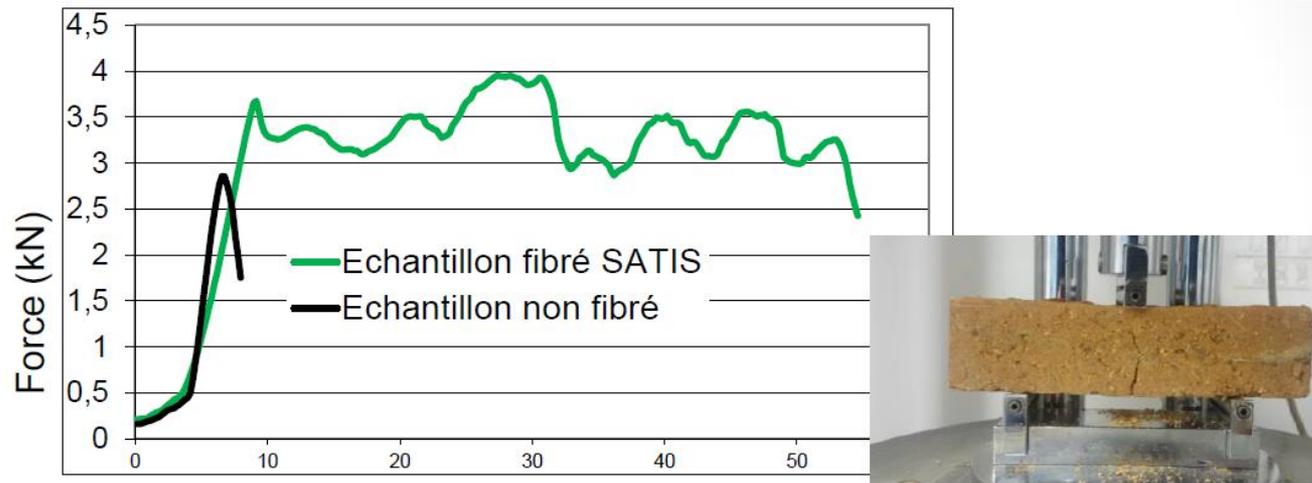


Malaxage sol/fibres

# Couche de forme Bio-composite

## Avantages techniques du procédé

### 1. Augmentation de résistance en traction

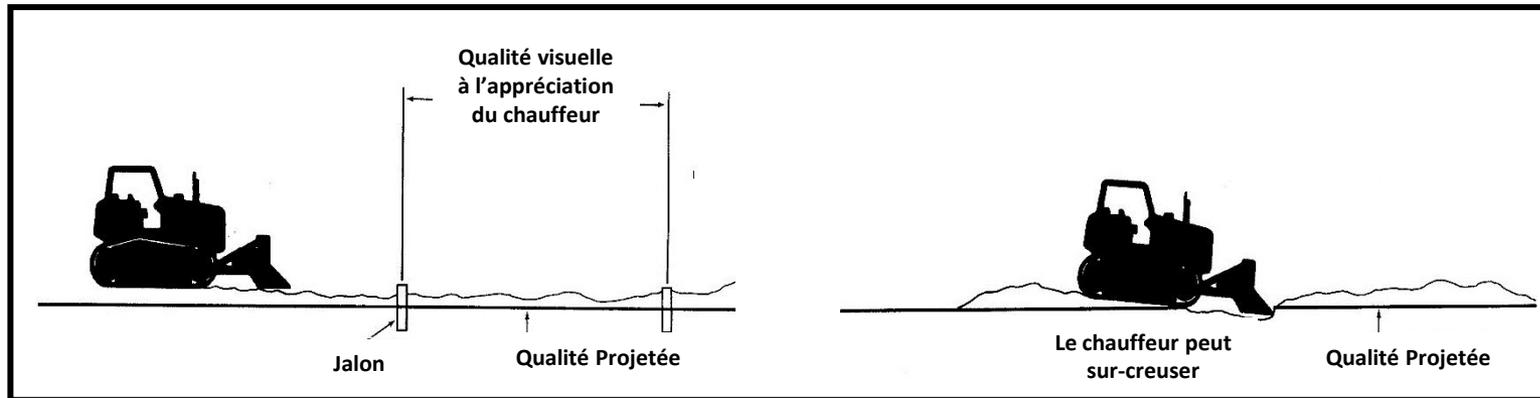


### 2. Augmentation de résistance en fatigue

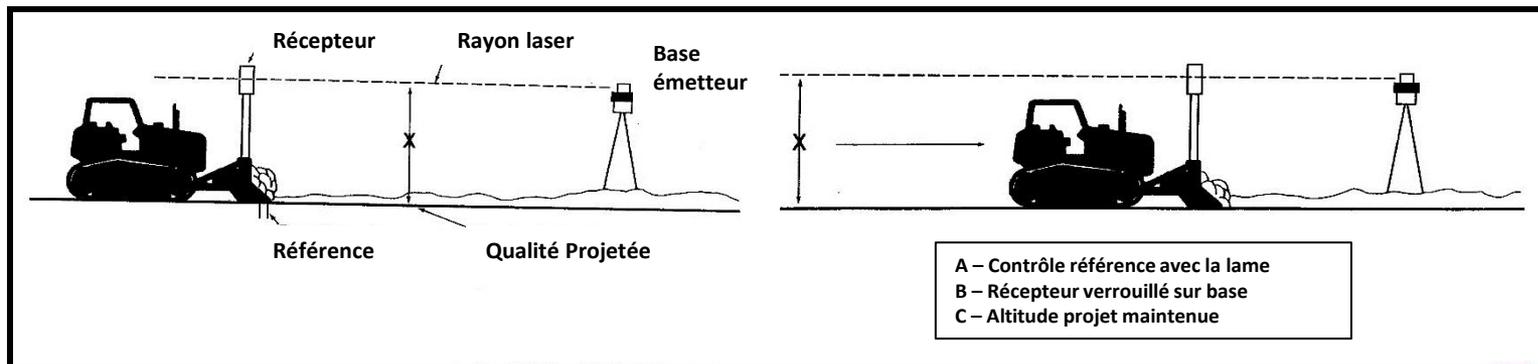
### 3. Réduction du risque de fissuration

# Les systèmes de guidage

## Méthode Traditionnelle



## Méthode avec Guidage



# Les systèmes de guidage



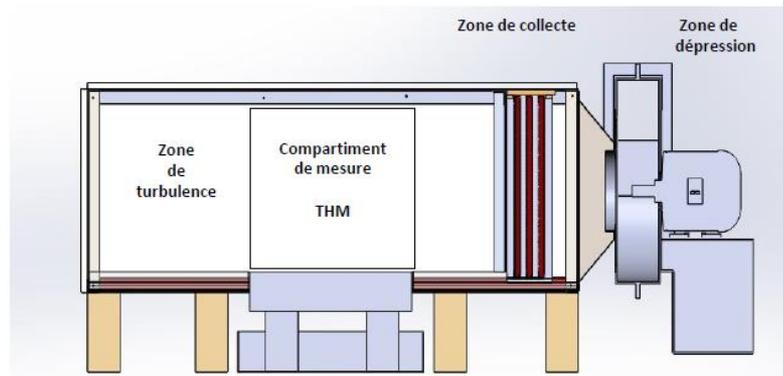
SECURITE :



# Economie d'eau et diminution des poussières

## 1. Objectif : établir une méthode Q/S de l'eau

- Partenariat scientifique SPTF / IFSTTAR « étude des mécanismes d'instabilités et d'envols des particules en lien avec l'hydratation des sols fins »
- Création chambre aéraulique pour expérimentation environnement contrôlé



## 2. Test sur chantiers avec des dispositifs opérationnels & innovants

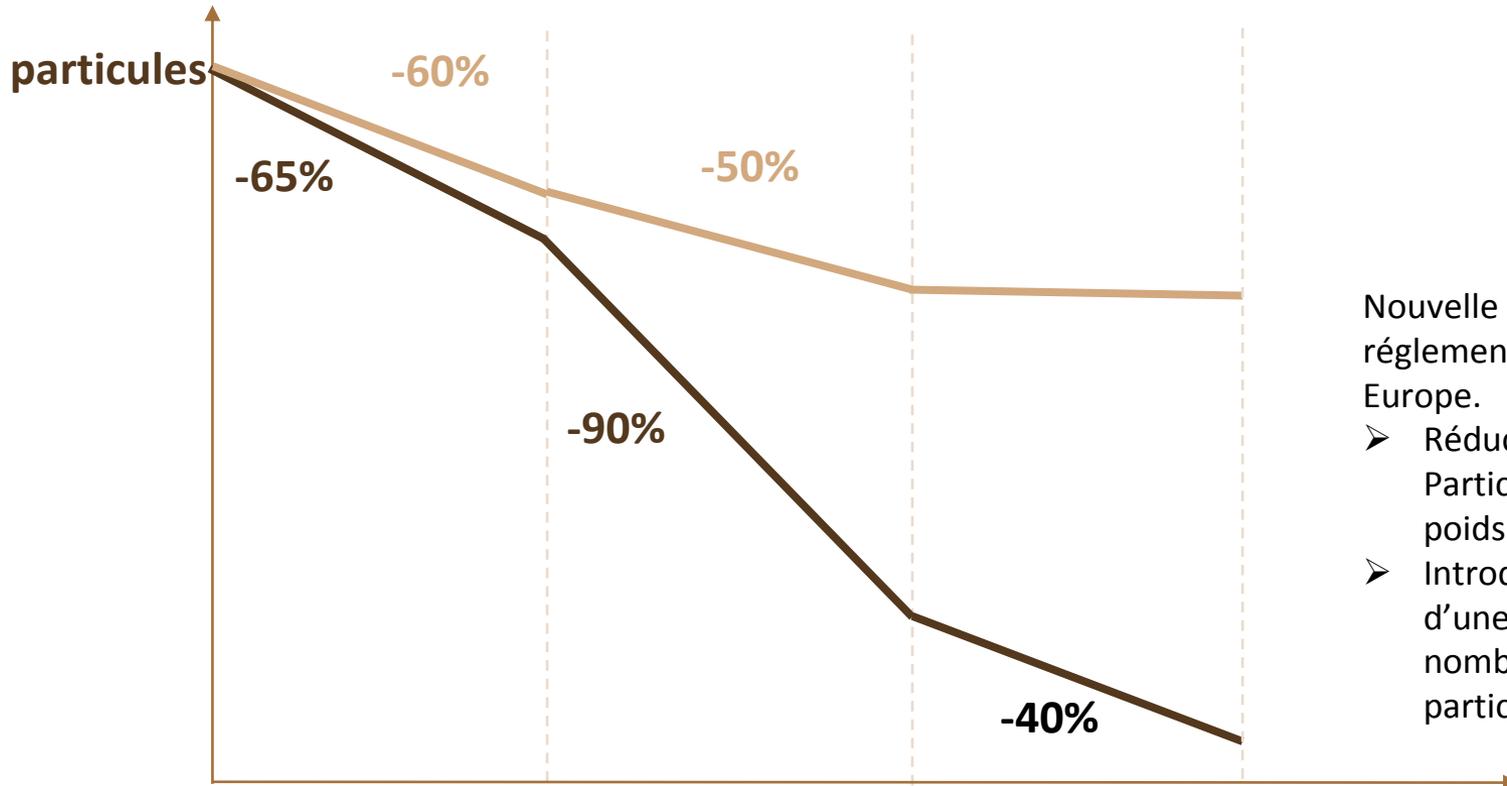


# ...dans le domaine de l'environnement



# Les émissions moteurs

Oxyde d'azote



- Nouvelle réglementation en Europe.
- Réduction des Particules en poids
  - Introduction d'une limite du nombre de particules.

**STAGE 1**  
1996

**STAGE 3a**  
2006

**STAGE 3b**  
2011

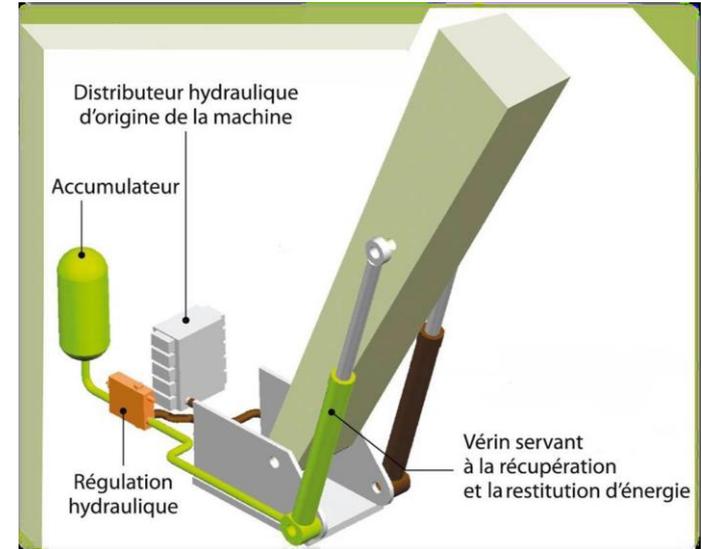
**STAGE 4**  
2014

**STAGE 5**  
2019

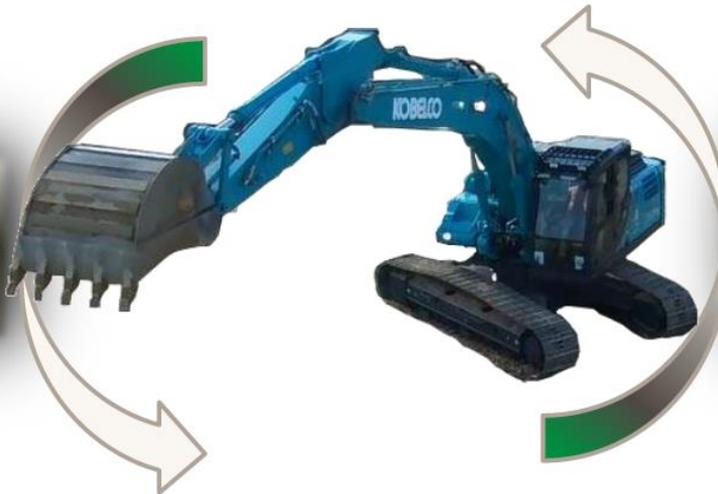
# ➤ Système ECO-nergy®

Avantages techniques du procédé :

Plus de 30% de gains énergétiques (L/heure/m<sup>3</sup>)



*Récupération de l'énergie lors de la descente du bras*

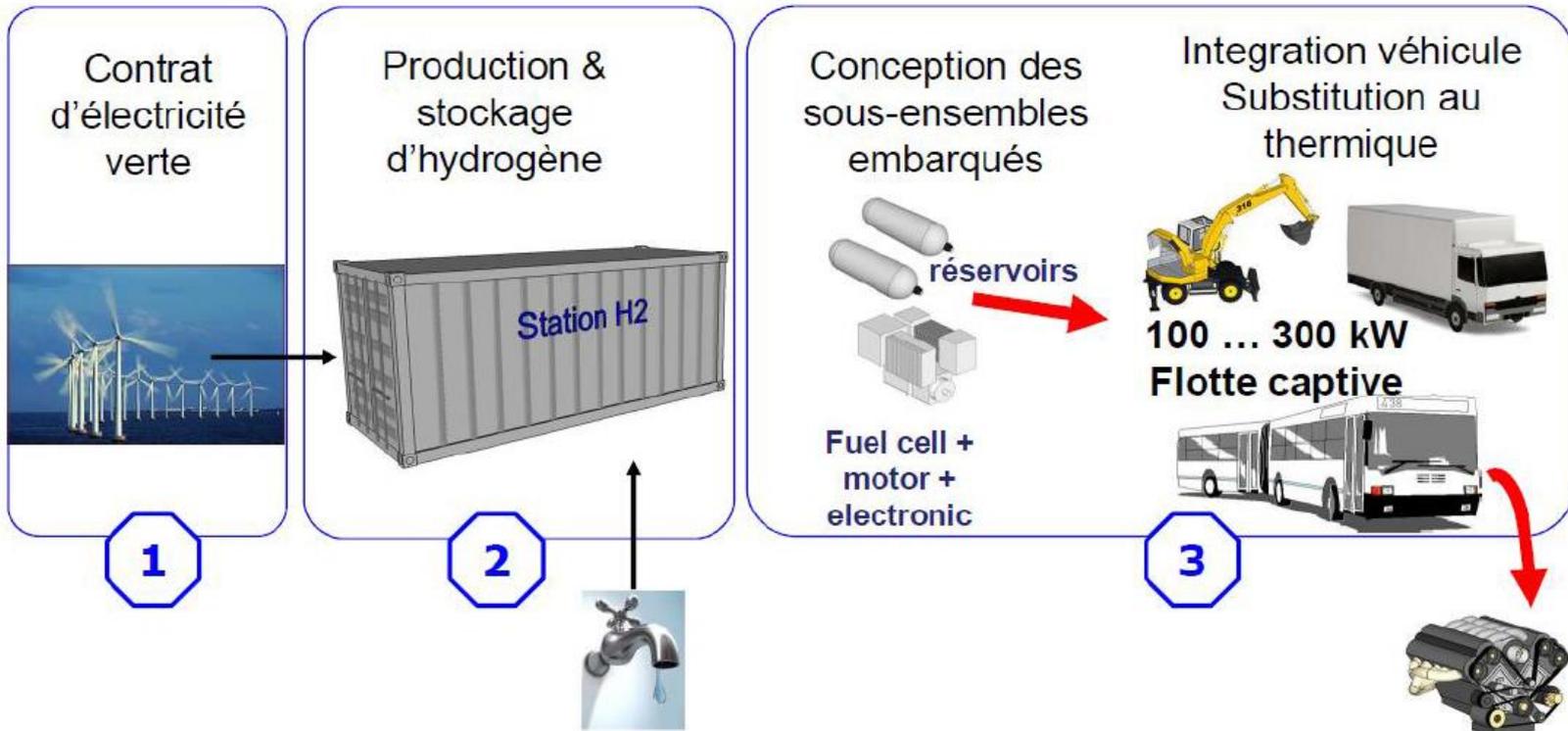


*Restitution de l'énergie lors du levage du bras*

# Systeme Hytrac

Une offre globale pour l'hydrogène

Objectif : rassembler des acteurs complémentaires de la filière hydrogène française, pour proposer une offre complète



**...dans le domaine  
de l'amélioration des  
conditions de travail**



# ➤ Nos hommes dans leur machine

Accessibilité et ergonomie (postes de conduite, points de maintenance, postes de travail...)



# ➤ Nos hommes dans leur machine

Sécurisation et visibilité du poste de conduite



Skyview  
360°



# CONGRÈS DE L'IDRIM

Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité



# Merci de votre attention