

# Incidence des abaissements de températures sur la mise en œuvre de matériaux bitumineux

Anne DONY, Enseignant-chercheur IRC, Responsable thématique « Matériaux de chaussées »

Layella ZIYANI, Enseignant-chercheur IRC



Session C3 – Infrastructures de surface

22 Novembre 2016

- ▶ **Importance en technique routière des enrobés à chaud en France...et dans le monde**
- ▶ **Sensibilisation depuis une dizaine d'année aux enjeux environnementaux**
  - **2000** : Premières techniques tièdes en France
  - **2007 -2009** : Grenelle de l'Environnement + Convention d'Engagement Volontaire
    - 10 engagements, dont « réduire les émissions de GES et la consommation d'énergie »
  - **1<sup>er</sup> mars 2012** : recommandation de l'USIRF d'une utilisation systématique des « enrobés tièdes » sauf cas particulier..., en accord avec la CEV
  - **2014** : PN MURE... 
- ▶ Guide «**Abaissement de la température des mélanges bitumineux, état de l'art et recommandations**» publié en 2015



3 grandes familles de processus :

- Additivition
- Mousse
- Enrobage séquencé

Etudes de laboratoire : même processus que pour les enrobés à chaud  
Points de vigilance identifiés pour le chantier...

- ▶ **Notions de maniabilité et compactibilité de matériaux bitumineux : définitions et contexte normatif**
  
- ▶ **Température et Maniabilité**
  - ▶ Asphaltes coulés : une propriété incontournable
  - ▶ Enrobés bitumineux : une maîtrise devenue nécessaire
  
- ▶ **Température et compactibilité**
  - ▶ Différentes approches avec la PCG
  - ▶ Comparaison de 2 procédés tièdes en laboratoire
  
- ▶ **Conclusions et perspectives**

- ▶ **Maniabilité** : facilité à la MO manuelle sur matériau...plus ou moins foisonné → aucune recommandation chantier
- ▶ **Compactibilité** : aptitude pour un enrobé à être compacté de façon mécanisée → T° min en fonction des grades

Deux notions nécessaires mais différentes dans la mise en œuvre...

- Quelle dépendance ?
- Comment les évaluer ?



| Classe du bitume | T° de fabrication de l'enrobé (°C) | T° de répannage (°C) |          | T° minimale de compactage (°C) |
|------------------|------------------------------------|----------------------|----------|--------------------------------|
|                  |                                    | Optimale             | Minimale |                                |
| 35/50            | 150-170                            | 140-160              | 130      | 110                            |

Source (Guide technique : Compactage des enrobés hydrocarbonés à chaud, LCPC, 2003)

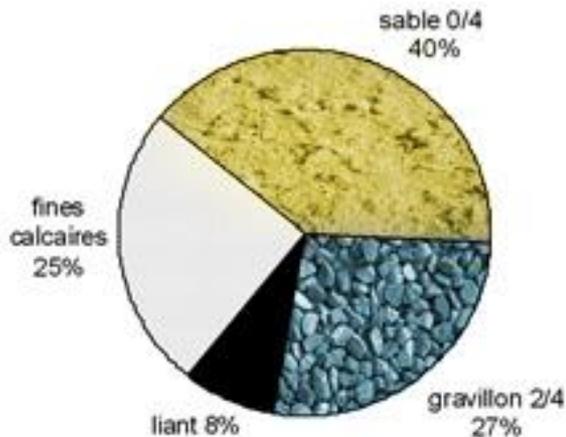


**Δ température de 40 à 60 °C**

applicable aux enrobés tièdes ?

# Température et Maniabilité

## Asphaltes coulés : une propriété incontournable



- **Asphalte coulé** : Enrobé bitumineux...mélange d'un mastic+ squelette granulaire...appliqué **par coulage à chaud, sans nécessité de compactage**
- Se décline → à chaud ( $> 200\text{ °C}$ )  
→ à basse température BT ( $180\text{ °C}$  à  $200\text{ °C}$ )  
→ à très basse température ( $< 180\text{ °C}$ )

**Matériau urbain pour couche de surface (e=15-50 mm)** : zones piétonnes, pistes cyclables, aires de stationnement, voies de circulation...



Mise en œuvre  
manuelle  
majoritairement

Réalisation d'une piste cyclable séparée intégrée à l'espace de trottoir de septembre 2010 à juin 2011.



# Température et Maniabilité

## Asphaltes coulés : une propriété incontournable



- ▶ Formulation en laboratoire avec deux caractéristiques importantes

- ▶ Maniabilité afin d'être coulé à chaud ( $T^{\circ}$  de MO)

Ressenti

Mesure de couple

Test au seau



Pas de spécification



- ▶ Indentation ( $T^{\circ}$  de service)  
avec des spécifications normalisées



- ▶ Contexte 2016 :

- ▶ Raisons sanitaires + écologiques + économiques + REACH  
baisse généralisée des températures ( $T < 200^{\circ}\text{C}$ )
- ▶ Généralisation de l'utilisation de bitumes paraffiniques



**Maniabilité**

# Température et Maniabilité

## Asphaltes coulés : une propriété incontournable



- ▶ Développement **d'additifs spécifiques** pour répondre à cette double problématique incontournable pour la MO manuelle et pérennité sur chaussée
- ▶ Qualification d'additifs A et B proposés par **ingevity** (PIER, 2015-2016)

- Vis-à-vis de l'abaissement de températures
- Vis-à-vis de l'utilisation d'un bitume paraffinique

- Sur la maniabilité de l'asphalte (mise en œuvre)
- Sur l'indentation de l'asphalte (propriété finale)

2 bases bitumes , 2 additifs,  
2 T° Fabrication, 2 échelles  
(liant bitumineux et asphalte coulé)

- **Liant** : pénétrabilité/ TBA/indice d'acide/pouvoir rigidifiant
- **Asphalte** : maniabilité et indentation



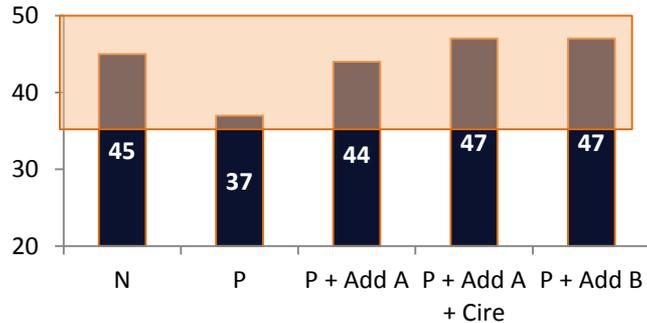
# Température et Maniabilité

## Asphaltes coulés : une propriété incontournable

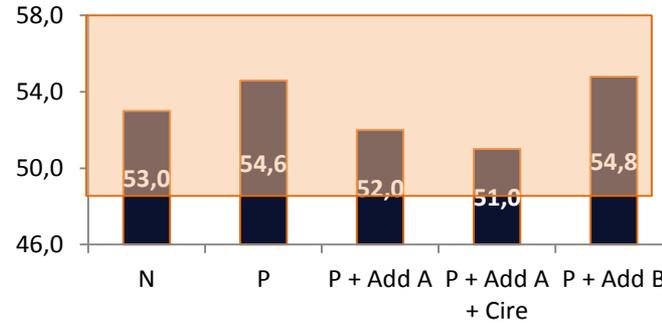


### Comparaison au niveau des liants seuls

Péné (1/10mm)



TBA (°C)

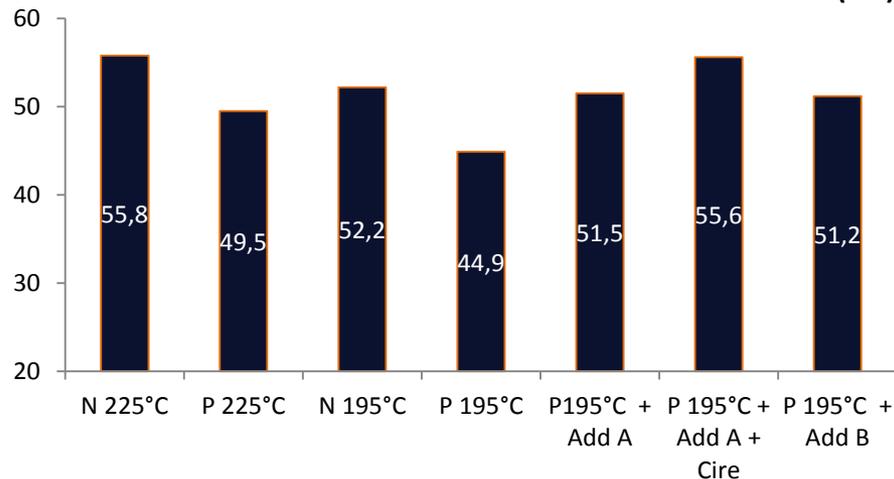


| Liant        | Indice d'acide (mg KOH/g) |
|--------------|---------------------------|
| Bitume N     | 3,26                      |
| Bitume P     | 0,33                      |
| Bitume P + A | 3,31                      |
| Bitume P + B | 2,66                      |
| Bitume P + A | 3,43                      |

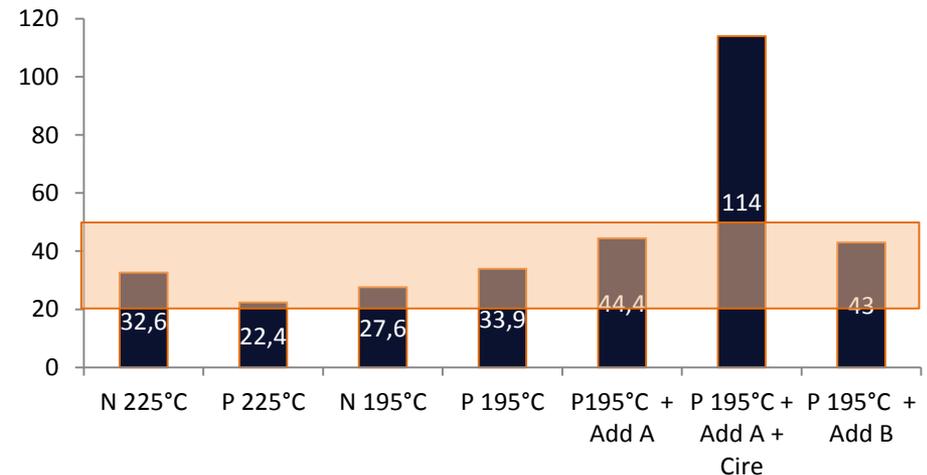
### Comparaison au niveau des asphaltes (AT 0/6)

N: Naphténique ; P: Paraffinique

Maniabilité (cm)



Indentation (1/10 mm)



- ▶ **Mise en place de l'essai au seau pour la maniabilité de l'asphalte:**
  - Simple/Pratique et représentatif de la MO sur chantier
  - Essais croisés en vue de normalisation
  - Autre essai possible ?...
  
- ▶ **Complexité de l'asphalte** : compromis indentation/maniabilité **MAIS** maîtrisé avec additifs
  - Effet sur l'acidité du bitume
  - Validation sur autres formules d'asphaltes (effet granulats et formulations)
  
- ▶ Article RGRA n° 940, octobre 2016

# Température et Maniabilité

## Enrobés bitumineux : une maîtrise devenue nécessaire



Mise en œuvre manuelle  
(enrobé foisonné)



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

Développement des enrobés tièdes et apparition sur les chantiers routiers de problèmes de **maniabilité** → **Etude du comportement des enrobés bitumineux aux températures de mise en œuvre**



IFSTAR

[Thèse A. Fabre des Essarts, 2016]

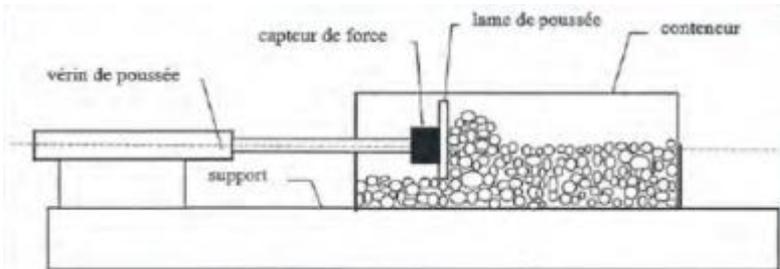
### Quels outils de mesures ?

- ▶ Mesures du **couple max** nécessaire à la déstructuration du matériau.
- ▶ Mesures de **force de cisaillement** exercée par le vérin pour cisailer l'échantillon.



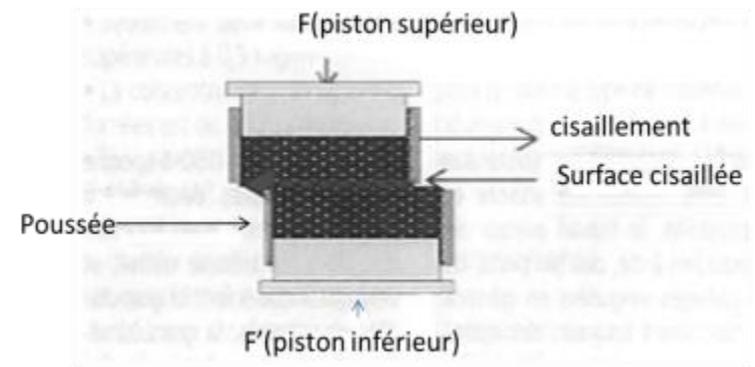
*Asphalt Workability Device*

[Bennert et al, 2010]



*Maniabilimètre Nynas*

[Brion et al, 1999]



*Tribologie Colas*

[Pellevoisin et al, 2010]

➔ Essai normalisé NF P98-258-1 en 2013  
utilisable sur chantier

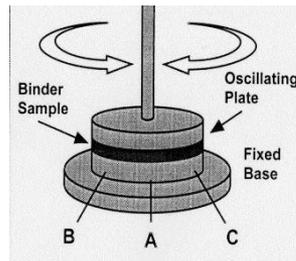


Qui régit la maniabilité ?

*Rôle primordial du liant bitumineux et du mastic*

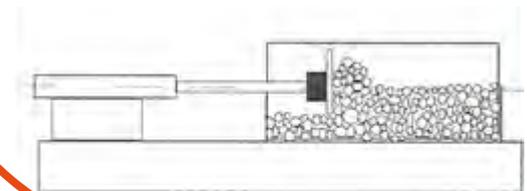
## Démarche expérimentale

Rhéologie liants  
et mastics



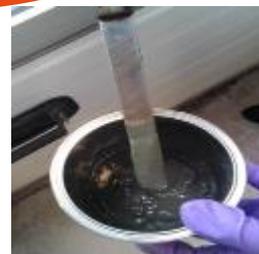
Approche multi-échelle  
aux **températures** de  
mise en œuvre

Maniabilité des  
**enrobés** à l'aide du  
maniabilimètre



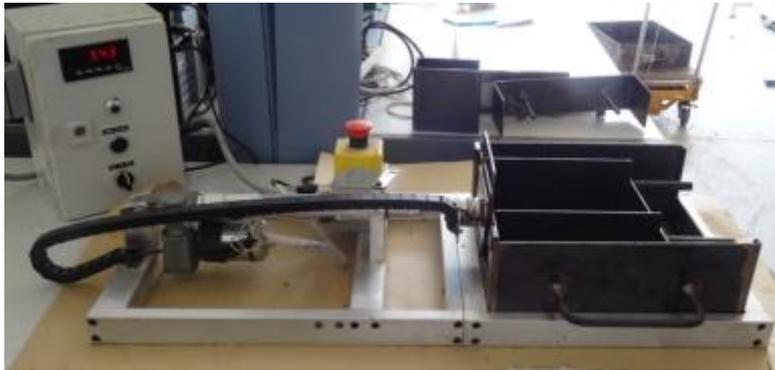
▶ **Matériaux réels** (base bitumes de différents grades avec et sans additif tensio-actif)

▶ **Matériaux modèles (base huiles de silicone)**



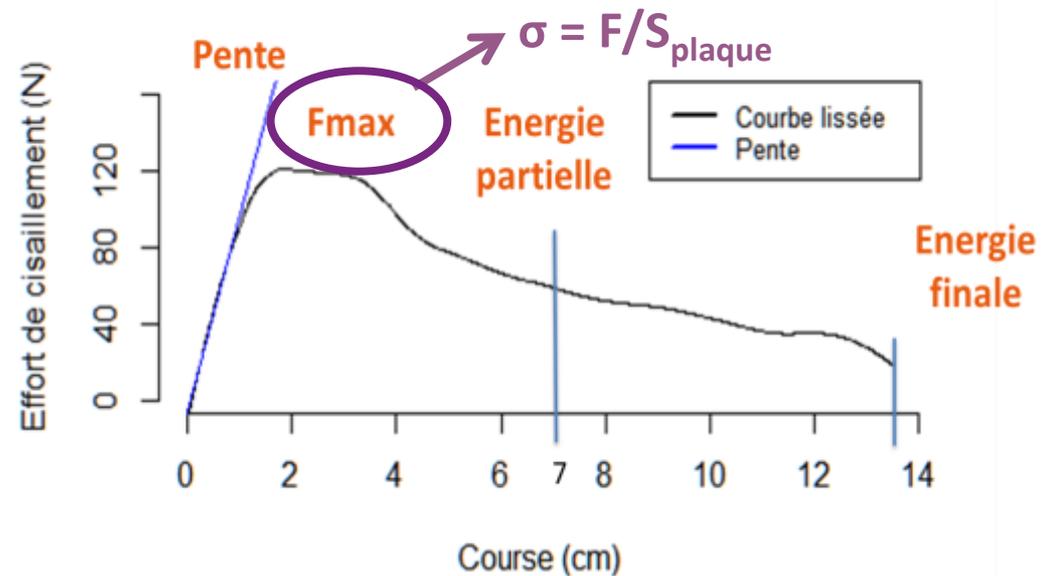
# Température et Maniabilité

## Enrobés bitumineux : une maîtrise devenue nécessaire

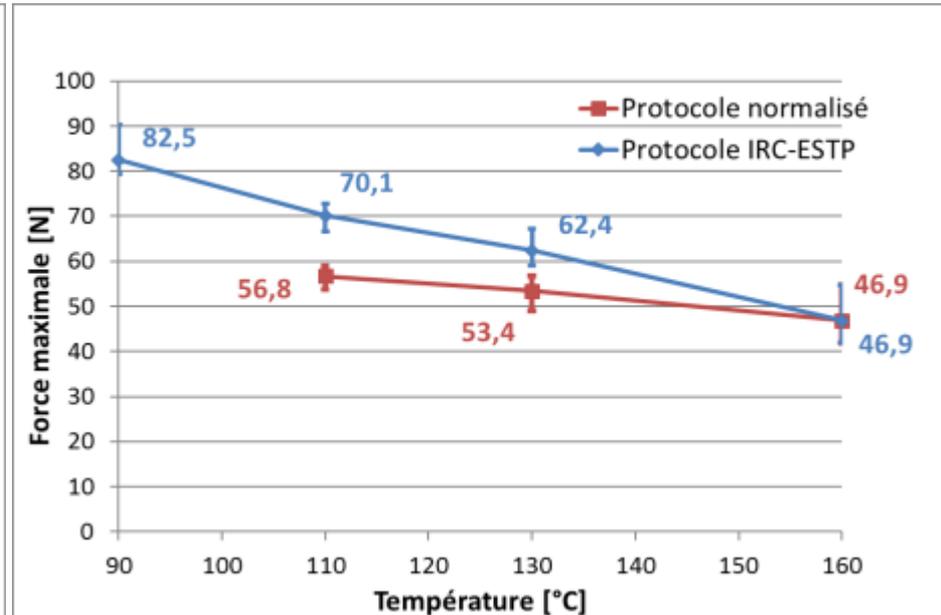
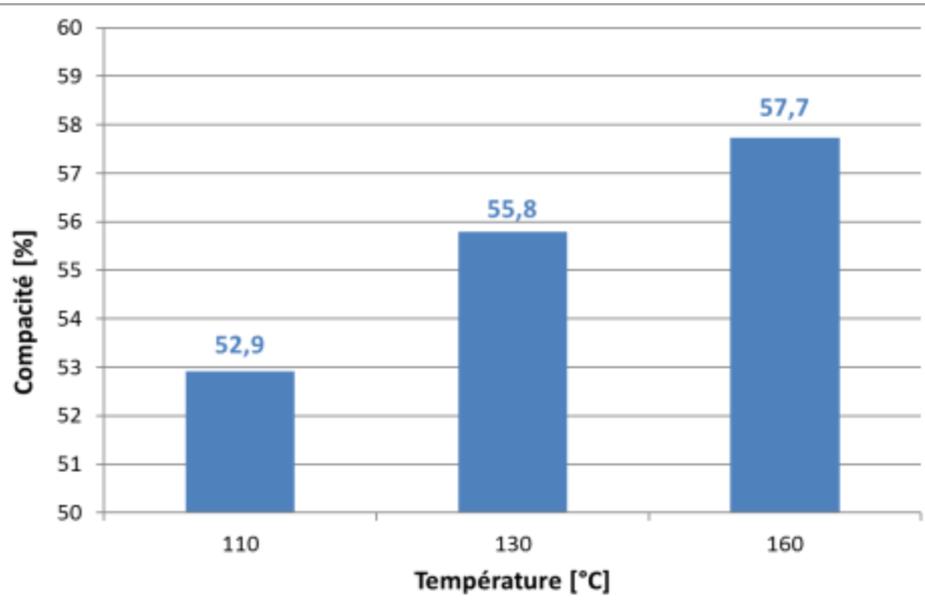


### Paramètres :

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



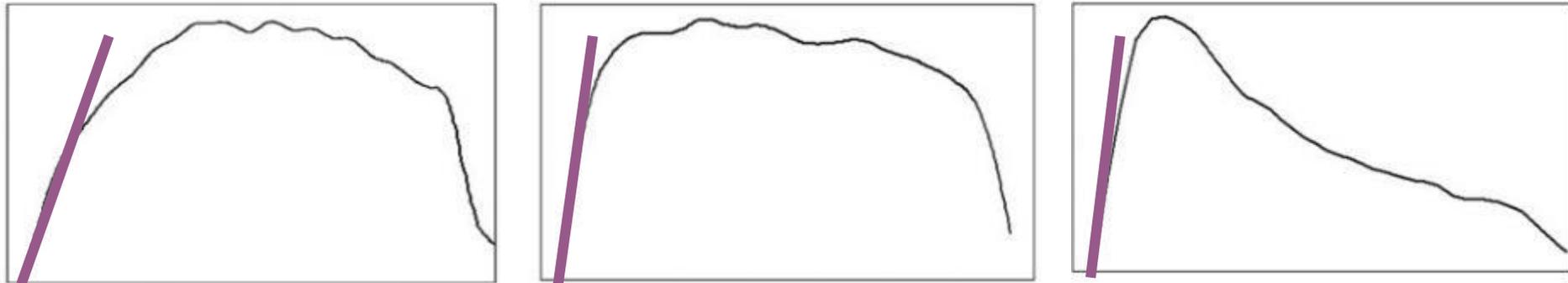
### Influence de la **compacité foisonnée** sur la maniabilité



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



### Identification de 3 types de comportement



Fmax [N]

60

70

90

Pente

30

50

65

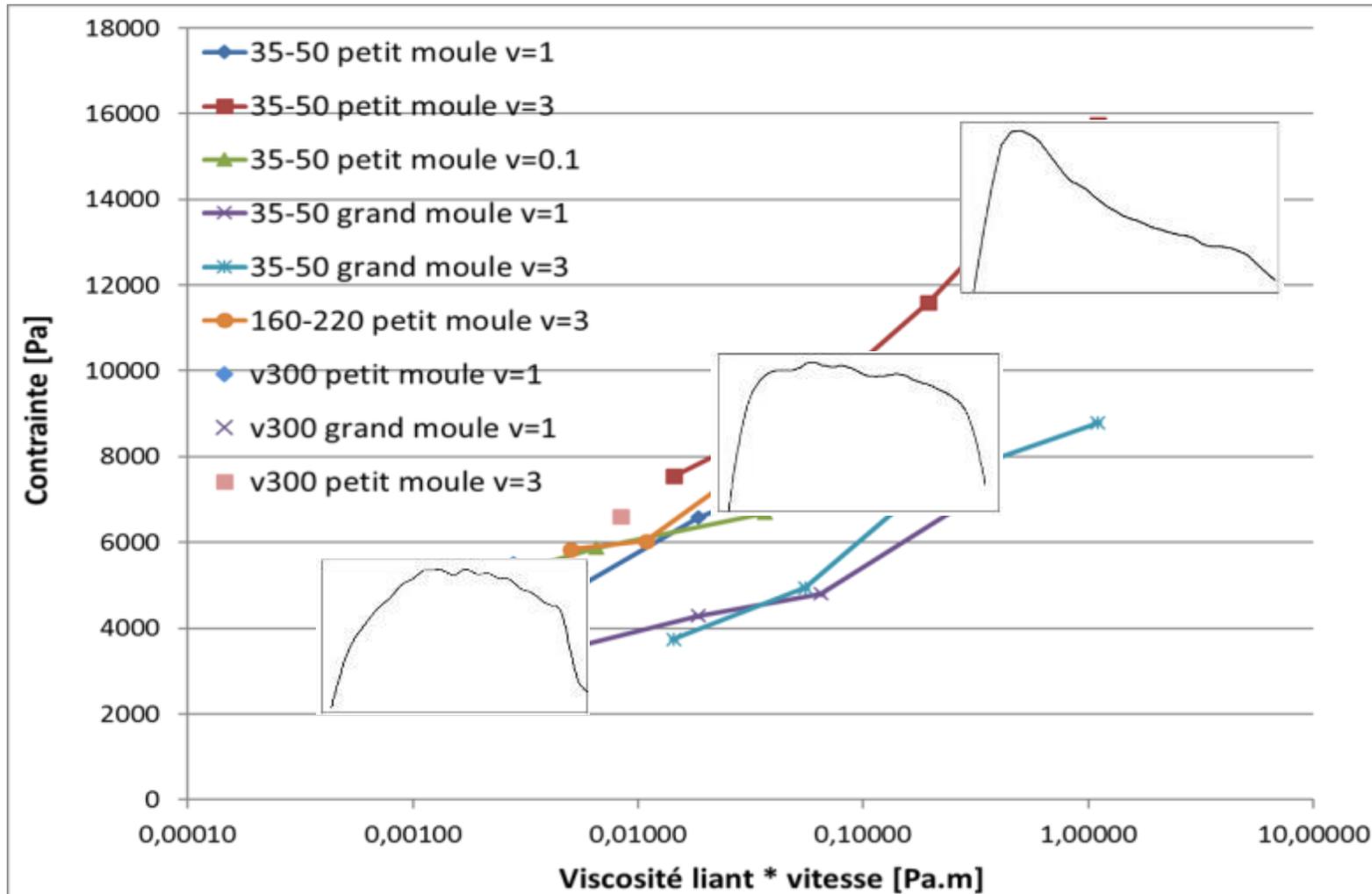


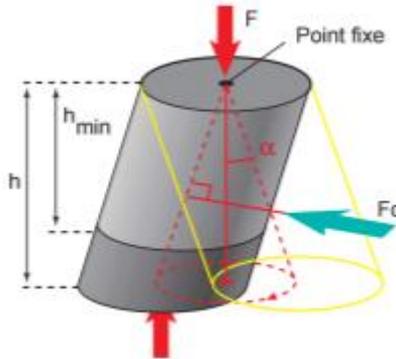
« Parabole »

« Plateau »

« Pic »

### Corrélation liant / enrobé





### Approche classique

- faible sensibilité de la PCG aux variations de T° (entre 160 à 110 °C)

Evolution du % de vides en fonction du nombre de girations

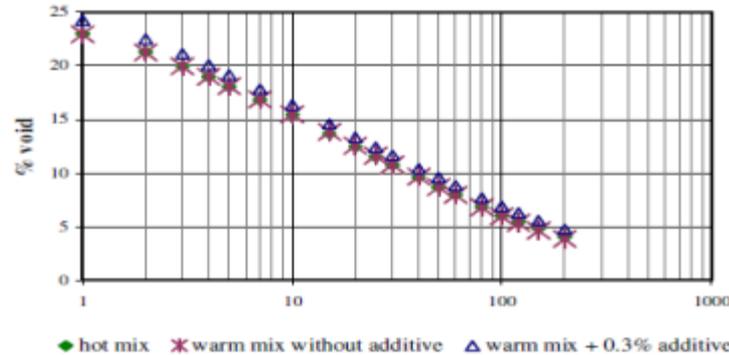
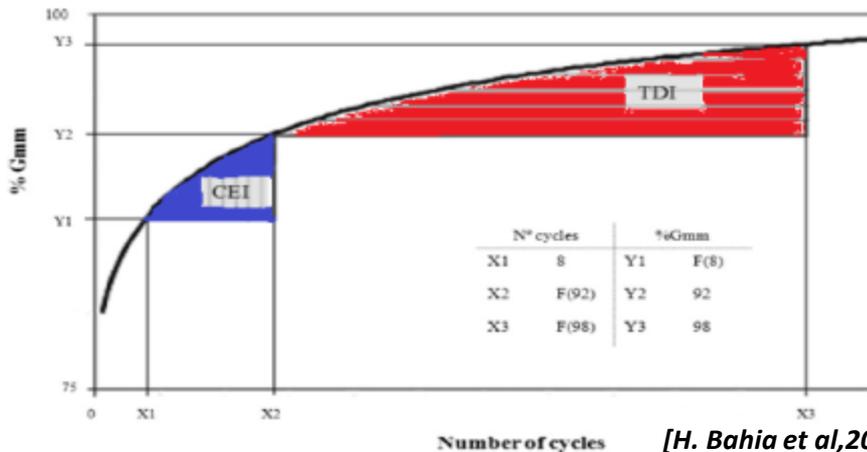


Figure 1. SGC curves for BBSG 0/10 (HMA, WMA with and without additive - 35/50 bitumen)

[A. Dony et al, 2009]

### Calcul des indices

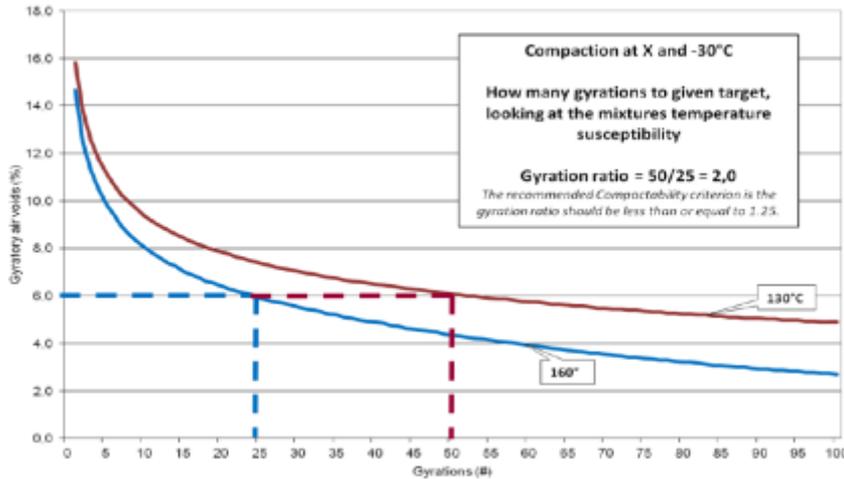


[H. Bahia et al, 2004]

$$CEI = \int_{8 \text{ girations}}^{92\%} \text{ Courbe de compacité}$$

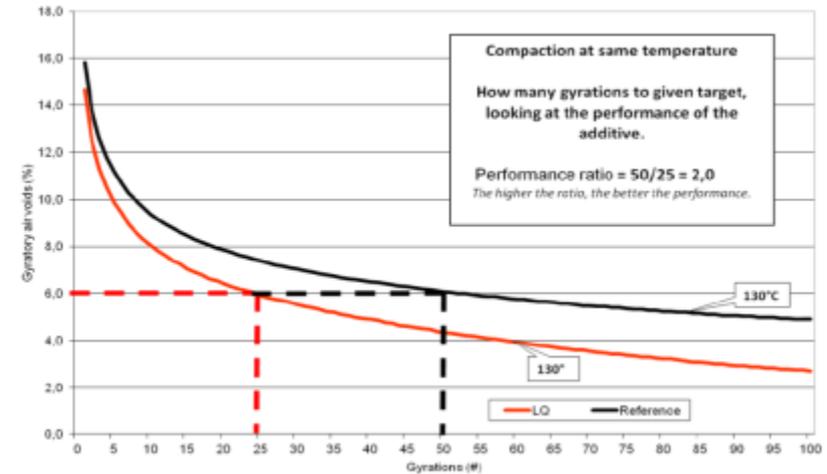
- travail effectué pendant la période de compactage sur chantier.
- CEI élevé => énergie de compactage plus élevée.

### Approche par ratio



Ratio de giration

[Smith et James, 2016]



Ratio de performance

- Deux températures différentes
- Analyse de la sensibilité d'enrobé vis-à-vis de la température d'essai.

- Calculé pour une même température
- Performance de l'additif à une température.

$$Ratio = \frac{(N_{92})_{T-30}}{(N_{92})_T}$$

$$Ratio = \frac{(N_{94})_T, HMA}{(N_{94})_T, WMA}$$

### Etude comparative expérimentale en laboratoire :

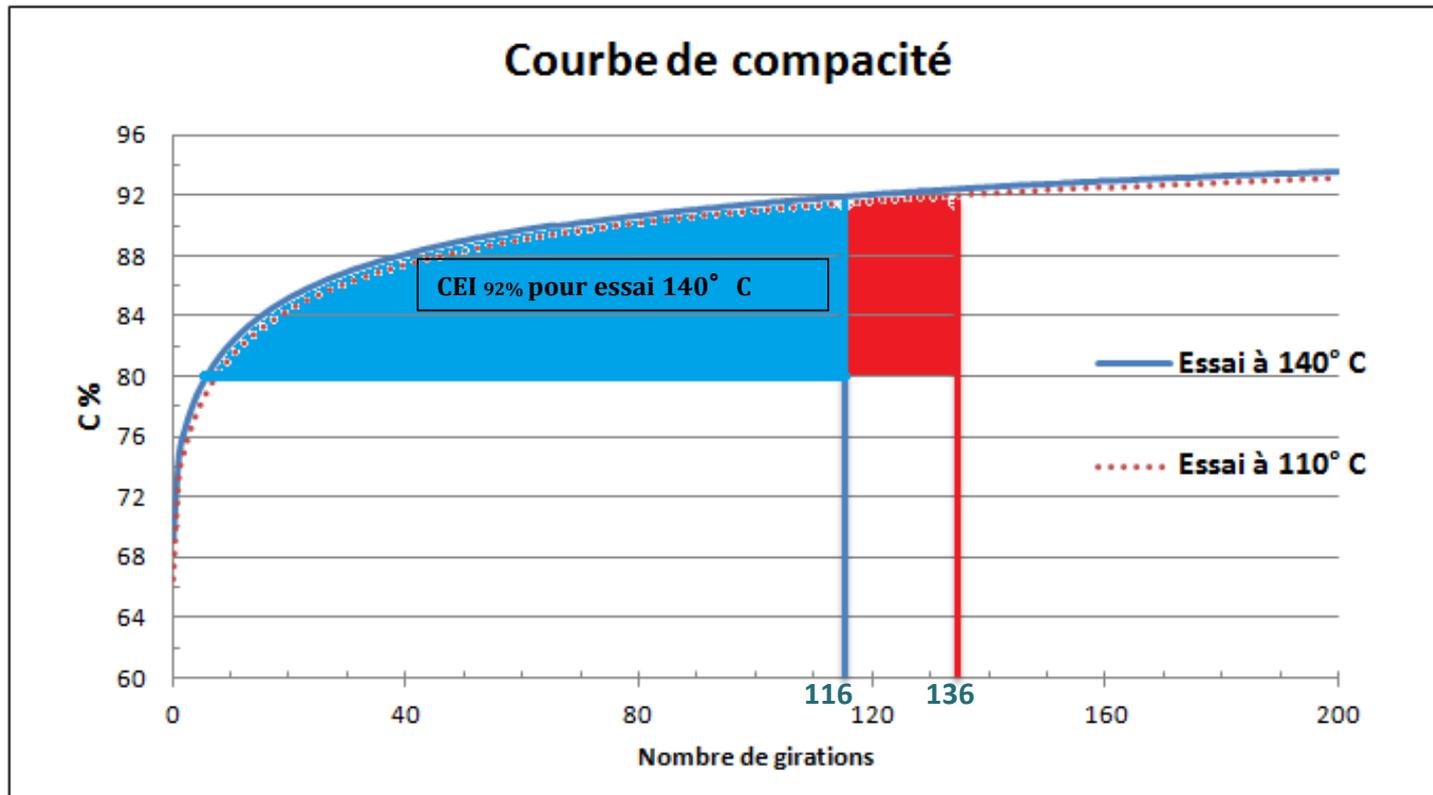
- ▶ 1 formule d'enrobés BBSG 0/10
- ▶ 2 procédés tièdes : additif WM30   
procédé mousse (ajout eau dans malaxeur)
- ▶ 3 températures : 140 °C/ 110 °C/ 80 °C par fabrication et 3 répétitions



Malaxeur FREUNDL (30 kg)

Moule PCG (~6-7 kg)

Exemple de résultats type obtenus par l'essai PCG sur BBSG 0/10 sans additif ni mousse



Ecart à 60  
Girations

Evolution de la compacité en fonction du nombre de girations

# Température et compactibilité

## Différentes approches avec la PCG

### Comparaison de deux procédés



### Approche classique : % vide à C60

- ▶  $\Delta C\%$  Chaud  $(140-80\text{ }^{\circ}\text{C})$  2,8 %
- ▶  $\Delta C\%$  Additif  $(110-80\text{ }^{\circ}\text{C})$  2,5 %
- ▶  $\Delta C\%$  Mousse  $(110-80\text{ }^{\circ}\text{C})$  1,5 %

### Approche des indices de compactibilité

| Type de fabrication | T° d'essai (°C) | CEI <sub>92%</sub> | CEI <sub>60</sub> girations |
|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------------------|
| Enrobé à chaud      | 140             | 834 ± 89           | 290 ± 2                     |
|                     | 110             | 1096 ± 40          | 303 ± 1                     |
|                     | 80              | 2132 ± 314         | 304 ± 10                    |
| Tiède Additif       | 110             | 473 ± 20           | 311 ± 3                     |
|                     | 80              | 1531 ± 48          | 313 ± 2                     |
| Tiède mousse        | 110             | 819 ± 20           | 295 ± 2                     |
|                     | 80              | 1684 ± 172         | 311 ± 2                     |

- ▶ CEI<sub>92%</sub> additif 110 °C : de 45% CEI<sub>92%</sub> Mousse 110 °C = HMA 140 °C
- CEI<sub>92%</sub> additif 80 °C = Mousse 80 °C
- ▶ Pas d'écart CEI 60 girations

## Résultats PCG sur la formule BBSG

### Ratio de giration

|  | 90 % |
|--|------|
| Ratio de giration 110° tiède WM30 / 140° chaud   | 0,7  |
| Ratio de giration 110° tiède mousse / 140° chaud | 1,0  |
| Ratio de giration 80° tiède WM 30 / 110° chaud   | 1,28 |
| Ratio de giration 80° tiède mousse / 110° chaud  | 1,30 |

Additif 110 °C  25 % girations

### Ratio de performance

|                                   | T° (°C) | 90 % |
|-----------------------------------|---------|------|
| Ratio de performance tiède WM30   | 110     | 1,6  |
|                                   | 80      | 1,4  |
| Ratio de performance tiède mousse | 110     | 1,2  |
|                                   | 80      | 1,4  |

▶ À 110 °C : WM30 plus performant

▶ À 80 °C : mêmes performances



- ▶ **Côté maniabilité**, nécessité d'un essai spécifique → plusieurs outils à disposition  
comparaison en cours en France (MURE)
  
- ▶ **Côté compactibilité**, proposition d'une démarche expérimentale avec outils classiques  
« adaptés » :
  - 1/ L'approche classique : peu sensible aux changements de températures
  - 2/ La méthode avec les indices de compactibilité : pertinente mais plus longue
  - 3/ L'approche par ratios de performance : rapide et pertinente.
  
- ▶ Amélioration de la compactibilité selon les procédés testés
  
- ▶ Méthodologies de laboratoire et comparaison chantier à bien appréhender → seuils à définir pour les MO manuelles .... notamment en chantiers urbains

MERCI DE VOTRE ATTENTION



Contacts : Anne DONY [adony@estp-paris.eu](mailto:adony@estp-paris.eu)  
Layella ZIYANI [lziyani@estp-paris.eu](mailto:lziyani@estp-paris.eu)

—  
**École Spéciale des Travaux Publics, du Bâtiment et de l'Industrie - ESTP Paris**  
28 avenue du Président Wilson - 94234 Cachan Cedex  
Tél. : +33 (0)1 49 08 56 50 - Fax : 01 45 47 60 39 - [www.estp.fr](http://www.estp.fr)

Établissement d'enseignement supérieur privé d'intérêt général (EESPIG), reconnu par l'État depuis 1921, géré par une association sans but lucratif régie par la loi du 1er juillet 1901.  
Membre associé de la COMUE Université Paris-Est.  
Siret 325 002 111 00012 - TVA intracommunautaire : FR 78 325 002 111