



# L'eau, ennemi des chaussées : Evaluation de la tenue à l'eau des matériaux bitumineux

Frédéric DELFOSSE : Vinci Construction/  
Eurovia

**JERI : Journée d'Etudes des Routes et  
des infrastructures : 8 Novembre 2022**



01

# CONTEXTE

Il est nous dit  
contraints d  
de pécher à  
sur le terrain. Le n  
cité sans regret  
de. Et c'est, en  
toute, avoir d'un  
laine silencieuse  
tandis que se carit  
avons des financ  
la parole et ce m  
en train de passer  
à côté de grottes  
Si, factuel, les au  
routes malentent  
leur état. On  
sensé discom  
poids au car que  
cités aussi. Ce  
tamment le imp  
gè par M  
ailleurs). Supply  
d'ajoutant de  
sur le pavé  
aussi que la per  
mètre de g  
10 % en quatre ans  
Un autre d  
côté des dépenses  
vestimentaire  
bilé des départe  
(ADP) : 4,2 millia  
de ans, un peu p  
soulèvement qui  
tous au passage le  
des quatre 100  
que d'entretien  
et à leur 100 000  
charge (voir not

C'est à cause  
double peine po  
qui, d'après que  
également si 000  
tenants de classe  
centralisation. A  
transport et des  
la Charente-Mai  
nologie bus  
séparés de ce  
c'est pas un  
il ne arrive d'alle  
des transports de  
que d'attendre d  
d'éventuelle amé  
toute, c'est un  
personnes sociales, en  
qui couvrent les  
châtiments et si  
première vacat  
Quand D  
maintenant un 1  
40 millions d  
6 000 km de  
taille des boue

## Trop de trous dans les routes de Limoges



Les fortes pluies après un été très sec créent des infiltrations d'eau dans les chaussées. / © France 3 Limousin

partages

De fortes pluies après un été très sec créent des infiltrations d'eau dans les chaussées. Résultat : des trous dans la route, que le service de la voirie de Limoges Métropole commence déjà à reboucher, avant même l'arrivée du gel hivernal.

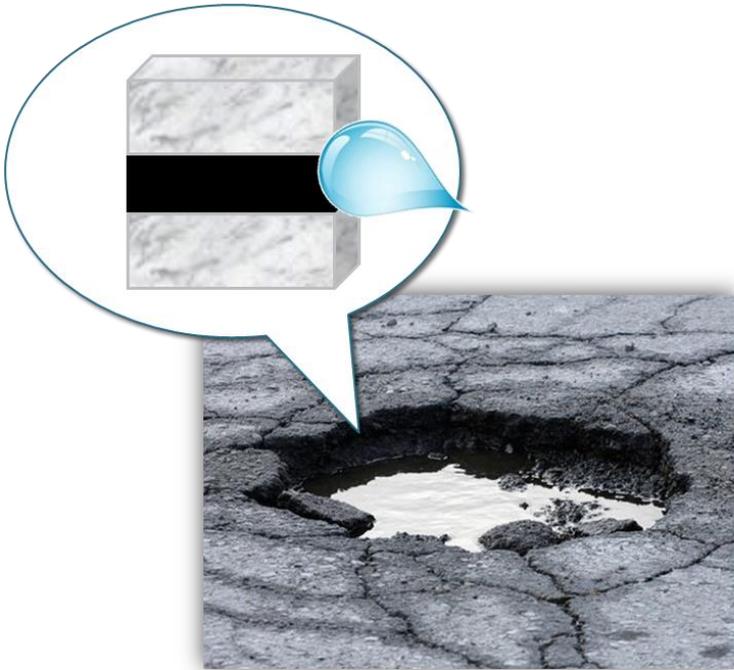
Par François Clapeau Publié le 09/12/2019 à 11:22 Mis à jour le 09/12/2019 à 11:27

Contourner les trous sur les chaussées de Limoges... C'est une manoeuvre à laquelle les automobilistes vont devoir s'habituer. L'apparition de "nids de poules", qui intervient d'habitude au printemps, a été précipitée cette année.

qui apparaît sur les 4 069 km de voie dont elle a la gestion. Mais pour les petites communes, ce type d'intervention

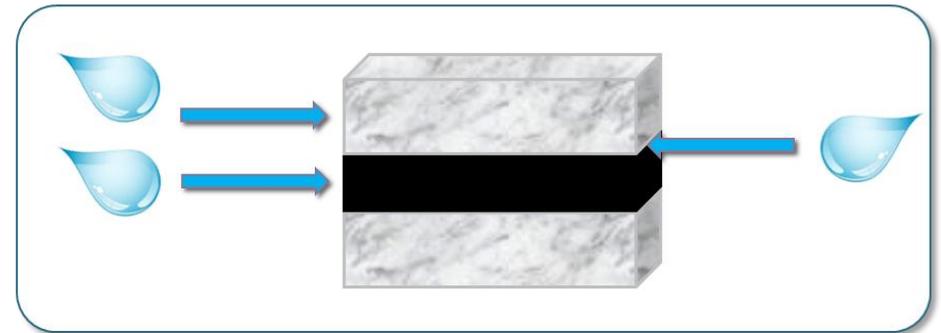
# L'eau, ennemi des chaussées

## Effet de l'eau



## Mécanismes de dégradation

- Diminue la résistance des constituants
- Diminue la résistance de l'interface



Hefer, A., A Synthesis of Theories and Mechanisms of Bitumen-Aggregate Adhesion Including Recent Advances in Quantifying the Effects of Water, 2005.

Little, D.N., Chemical and Mechanical Processes of Moisture Damage in Hot-Mix Asphalt Pavements, *Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements, A National Seminar*, 2003.

# L'eau, ennemi des chaussées

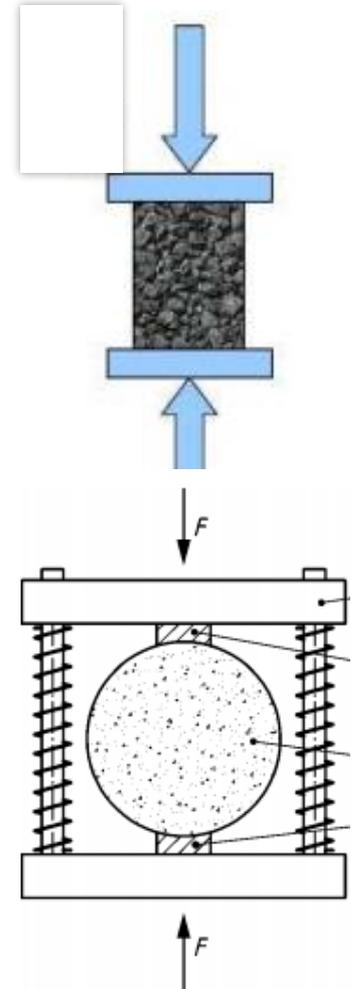
## Limite des essais conventionnels européens ?

→ NF EN 12697-12- Méthode B: Essai Duriez

- Fabrication : Compactage statique avec une charge constante
- Mûrissement à 18 °C air/eau
- Compression statique axiale (écrasement 18°C)
- Eprouvettes laboratoire

→ NF EN 12697-12 – Méthode A : ITSR

- Eprouvettes carottées dans une plaque ou obtenues par PCG
- Mûrissement : eau 40 °C 3j/ air 25°C
- Écrasement à 15 °C : Compression statique diamétrale
- Eprouvettes laboratoire/chantier



# L'eau, ennemi des chaussées

## Limite des essais internationaux ?

- Beaucoup d'essais normalisés pour évaluer la tenue à l'eau en laboratoire mais manque de pouvoir prédictif vis-à-vis de la réalité chantier
- Volonté industrielle : Etre plus pertinent pour améliorer la durabilité des matériaux !



**Matériaux compactés (10**

**normes),  
Matériaux foisonnés (7  
normes)**



Gordon, D. A., State of the Art Report on Moisture Sensitivity Test Methods for Bituminous Pavement Materials, RMPD, 4, pp.355-372, 2002,  
SomeS.C., **Gaudefroy V.**, A new laboratory method to evaluate the influence of aggregate temperature on the binder-aggregate bonding: first results, Mat and Struct, 2014, 47, 6, pp. 963-976

Schram S., Ranking of HMA Moisture Sensitivity Tests in Iowa, SP&R Project # RB10-012, Final Report, Iowa Department of Transportation, 2012.

02

# EVALUATION DES ESSAIS NORMALISÉS

# L'eau, ennemi des chaussées

## Travaux de recherche

→ Approche Multiéchelle : These Cantot Vinet (2019)



### Echelle 1 :

Adhésion chimique  
pure  
Physico chimie



### Echelle 2 : d/D

Impact de la  
morphologie  
Physico chimie  
Rhéologie



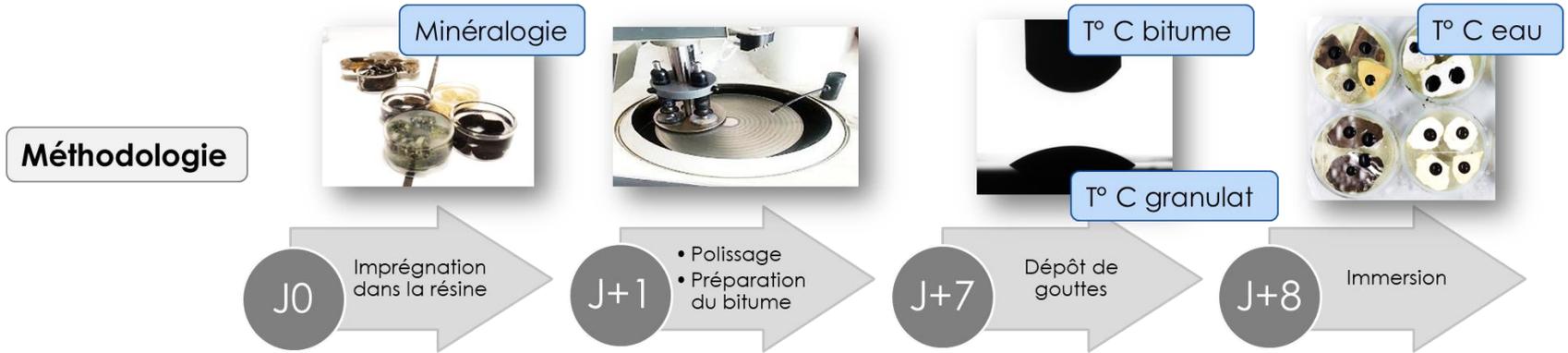
### Echelle 3 : 0/D

Performances  
mécaniques  
Génie civil

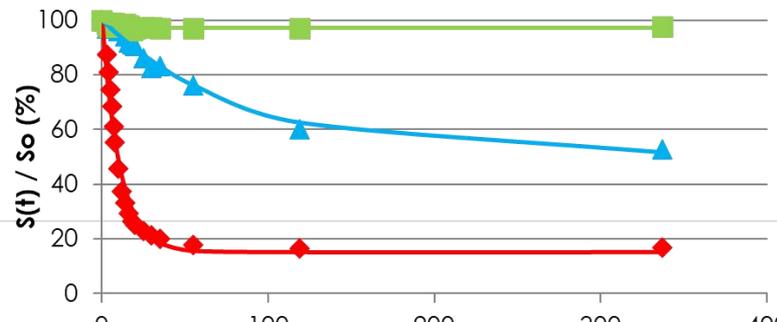
# L'eau, ennemi des chaussées

## Essai echelle 1

→ lame de granulats/ Bitume (volume de goutte maîtrisé/ Temperature bitume et Temperature granulats)



**Exploitation**



$$\frac{S(t)}{S_o} = A - (A - 100)e^{-t/\tau}$$

**A** : Valeur à l'équilibre

$\tau$  : Constante de temps

**A** = grandeur de référence pour comparer les couples bitume/granulat

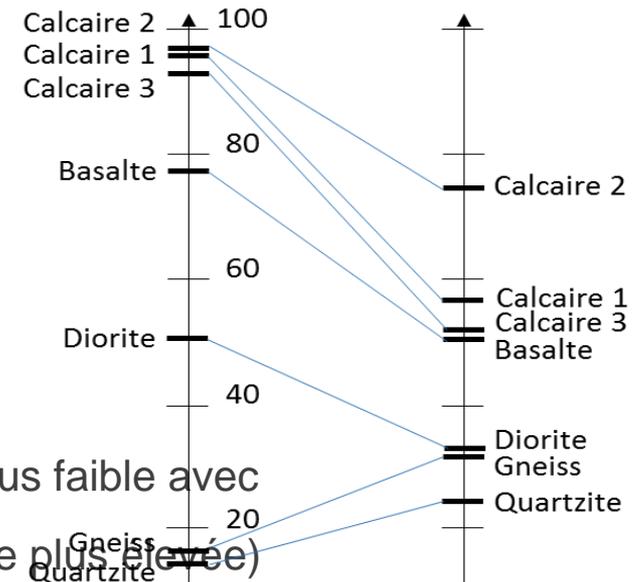
# L'eau, ennemi des chaussées

## Essai echelle 2

→ Granulats 6/10 / Bitume (volume de goutte maîtrisé/ Temperature bitume et Température granulats



### Echelle 1 Boiling Test



→ Bonne corrélation entre les deux échelles. Amplitude plus faible avec le boiling test : 10 min. à 85°C (épaisseur du film de bitume plus élevée)

→ Limite : pas de prise en compte des paramètres de formulation

# L'eau, ennemi des chaussées

## Évaluation des essais d'adhésion sur éprouvettes compactées (échelle 3)

Tableau IV-10 : Description des essais destructifs sur matériaux compactés.

Référence de la norme Notation essai	Confection des échantillons	Description des échantillons	Conditions de saturation	Conditions d'immersion	Grandeurs étudiées	Conditions d'essai
Duriez – EN 12 697 12B Duriez	Compactage statique	Éprouvette cylindrique de diamètre 80 mm	Échantillons sous vide (47 kPa) pendant 120 minutes	7 jours à 18°C	Résistance en compression	18°C et 55 mm/min
ITSR – EN 12 697 12A ITSR	PCG*	Éprouvette cylindrique de diamètre 100 mm et de hauteur 63,5 mm	Échantillons sous vide (6,7 kPa) pendant 30 minutes	72 heures à 40°C	Résistance à la traction indirecte	15°C et 51 mm/min
Essai Lottman – Aashto T283-07 Lottman	PCG*	Éprouvette cylindrique de diamètre 100 mm et de hauteur 63,5 mm	Saturation entre 70 et 80% (6,7 kPa)	16 heures à -18°C puis 24 heures à 60°C	Résistance à la traction indirecte	15°C et 51 mm/min
Hamburg AASHTO T324	PCG*	2 éprouvettes cylindriques de diamètre 150 mm et de hauteur 62 mm qui sont découpées puis collées	Pas de saturation	50°C	Profondeur d'ornièrè	dans l'eau à 50°C
MIST TSR – ASTM D7870 MIST TSR	PCG*	Éprouvette cylindrique de diamètre 100 mm et de hauteur 63,5 mm	3500 cycles de pression/dépression à 60°C	20 heures à 60°C	Résistance à la traction indirecte	25°C

\* PCG : Presse à Cisaillement Giratoire

# L'eau, ennemi des chaussées

## Évaluation des essais d'adhésion sur éprouvettes compactées (échelle 3)

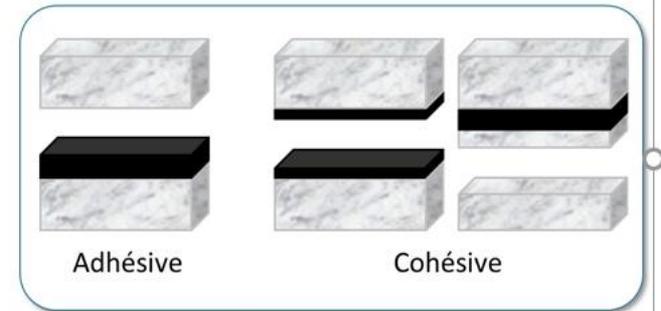
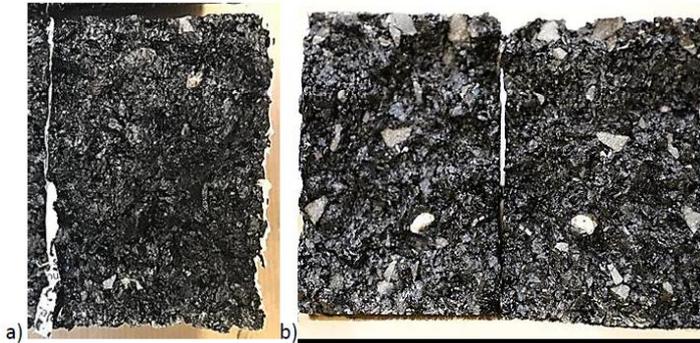
→ 2 grandes familles d'essais :

- Essais destructifs
- Essais non destructifs

→ Essais destructifs :

- En fonction des conditions de mûrissement (Température de l'eau, temps d'immersion), de la température d'écrasement, de la nature des granulats :

- Fractures cohésives (fracture des granulats)



# L'eau, ennemi des chaussées

## Évaluation des essais d'adhésion sur éprouvettes compactées (échelle 3)

→ Essais destructifs :

- Pas de corrélation avec Echelles 1 ou 2
- Dans le domaine non linéaire de déformation, le module du granulat et sa friabilité en présence d'eau impactent la prédiction des propriétés aux interfaces
- Quartzite > Calcaire 1 !

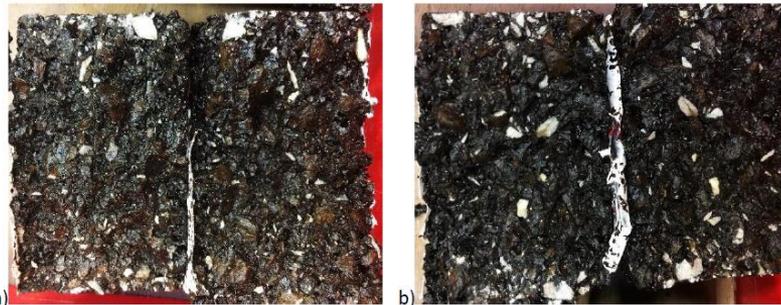
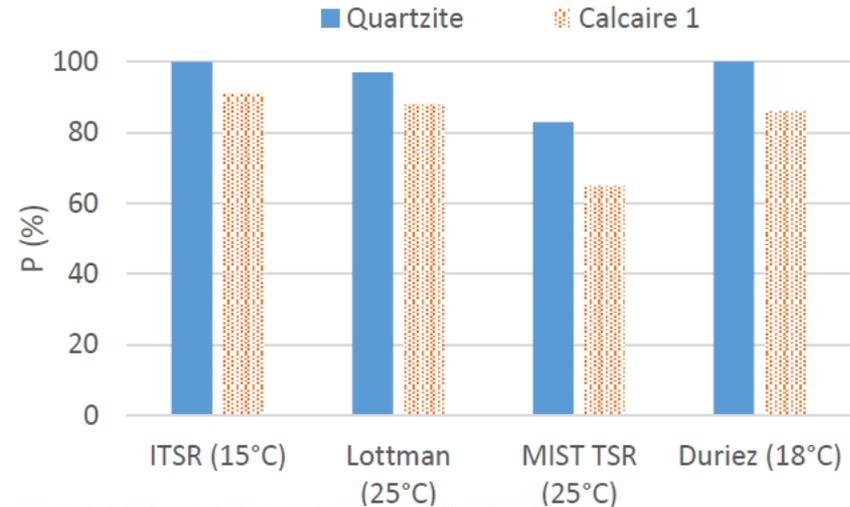


Figure IV-13 : Surface de rupture des échantillons conditionnés 72 heures à 40°C après l'essai ITSR

# L'eau, ennemi des chaussées

## Sous titre

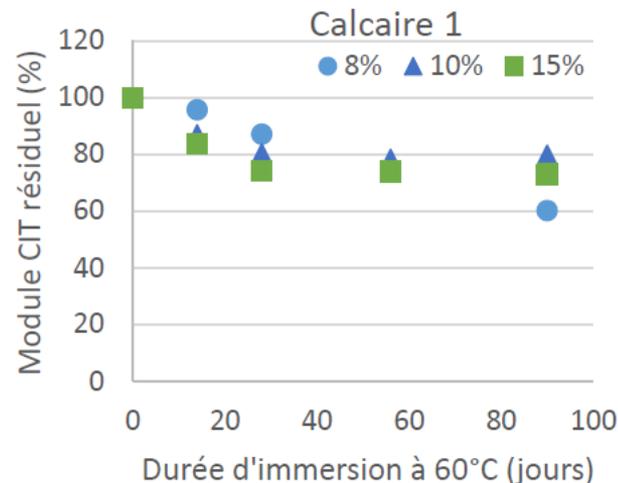
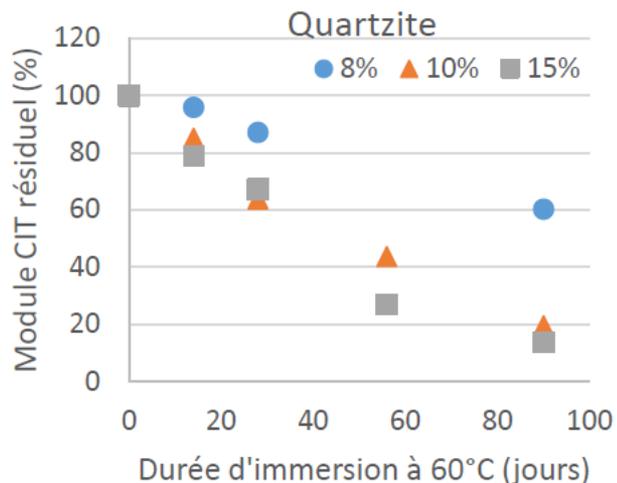
	Classement des formules en fonction de la minéralogie
Duriez – Ecrasement à 18°C	Quartzite > Calcaire 1
ITSR – Ecrasement à 15°C	Quartzite > Calcaire 1
Lottman – Ecrasement à 25°C	Quartzite > Calcaire 1
MIST TSR – Ecrasement à 25°C	Quartzite > Calcaire 1
Hamburg – Orniérage à 50°C	Quartzite > Calcaire 1
SATS – Module IT à 20°C (124 ms)	Calcaire 1 = Quartzite dans la vapeur d'eau Calcaire 1 > Quartzite dans l'eau
Evolution du module IT à 10°C (124 ms)	Quartzite > Calcaire 1 avant 60 jours Calcaire 1 = Quartzite après 60 jours
Evolution du module CIT à 15°C (10 Hz)	Quartzite > Calcaire 1 avant 60 jours Calcaire 1 = Quartzite après 60 jours
Evolution de l'angle de phase à 15°C (10 Hz)	Quartzite > Calcaire 1 avant 60 jours Calcaire 1 > Quartzite après 60 jours

# L'eau, ennemi des chaussées

## Évaluation des essais d'adhésion sur éprouvettes compactées (échelle 3)

→ Essais non destructifs

- Corrélation avec échelles 1 et 2



03

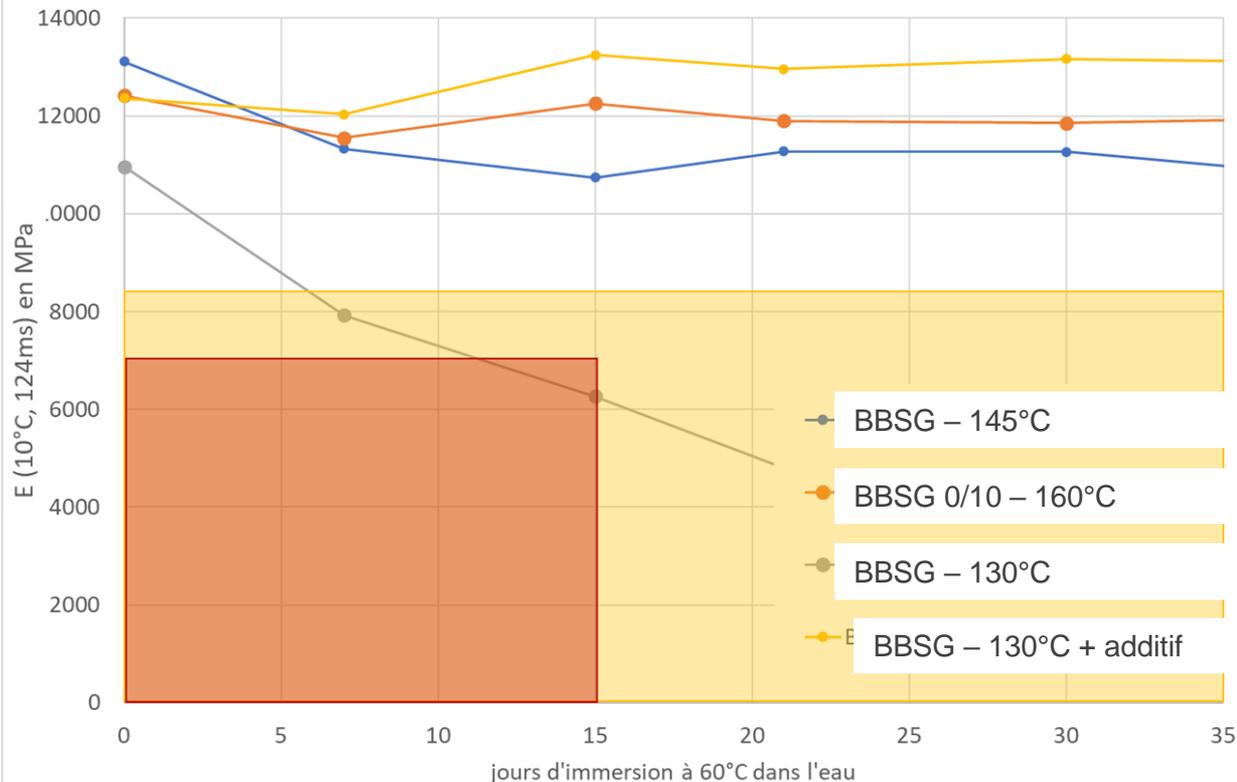
# MISE EN PLACE D'UN ESSAI

# Objectifs

- Caractérisation de la tenue à l'eau d'un enrobé :
  - Etude de validation en laboratoire de couples granulats/ bitume en f (T, teneur en liant, % vides...)
  - Qualification de la tenue à l'eau résiduelle des enrobés sur chantier
- Principe : Suivi de l'évolution du module diamétrale selon la norme NF EN 12697-26 annexe C pendant une immersion dans l'eau à 60°C
  - Géométrie des éprouvettes :
    - diamètre : 100 mm ( $\pm 1$ mm) ou 150 ( $\pm 1$ mm).
    - épaisseur : 40 et 60 mm.
  - Saturation en eau des éprouvettes : Avant chaque immersion (t). > 70%
  - Immersion dans l'eau à 60°C

# Eprouvettes fabriquées en laboratoire

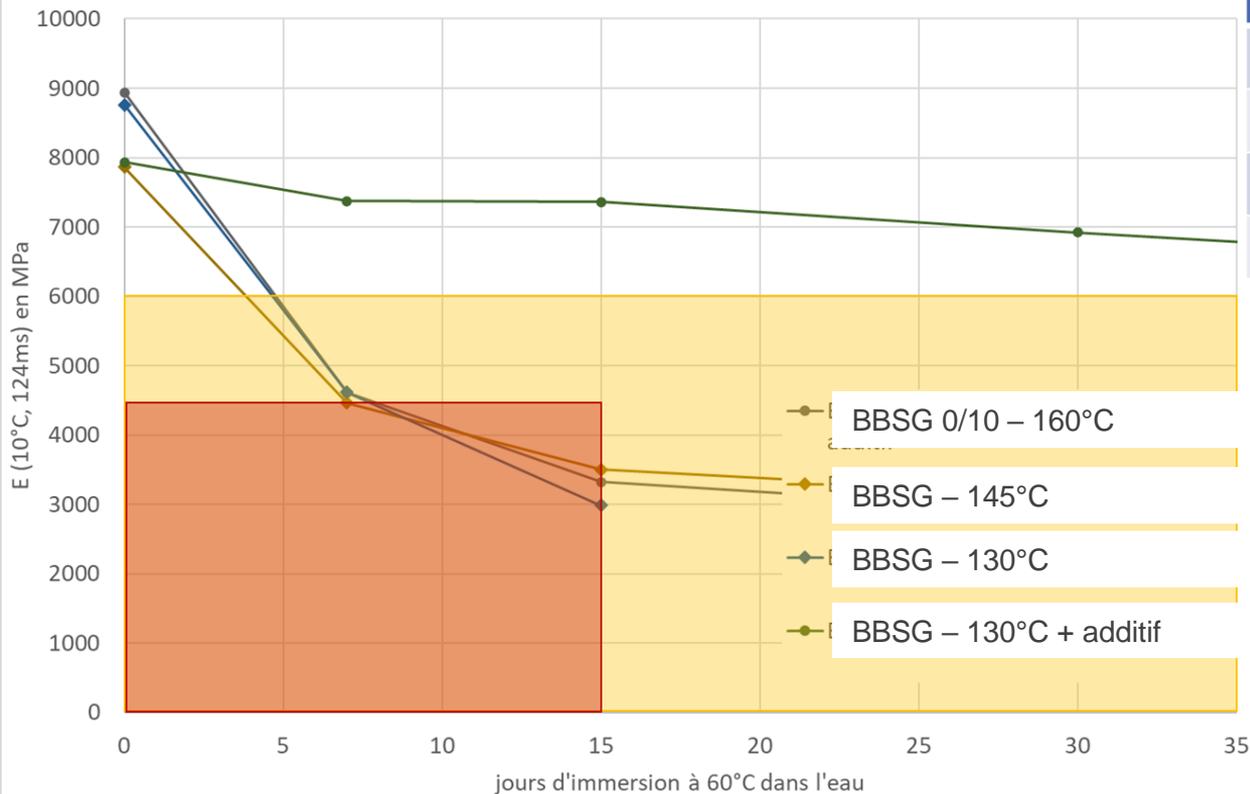
Impact de la température de fabrication sur la tenue à l'eau des enrobés



Température de fabrication	Résultat DURIEZ
160	87
145	90
130	81
130 + additif	91

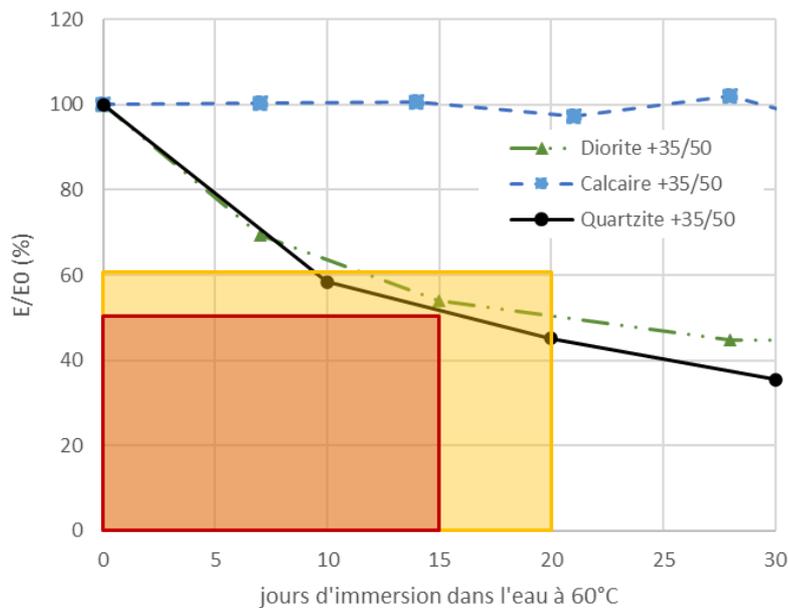
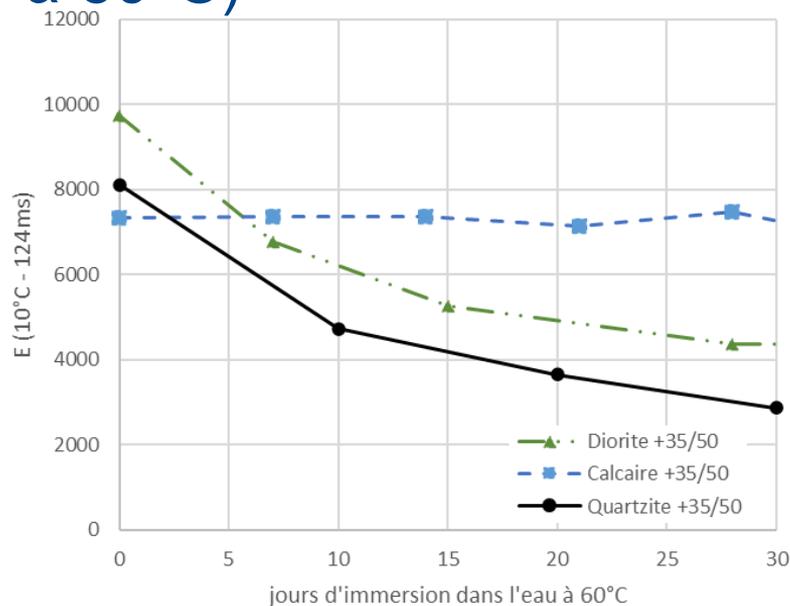
# Eprouvettes fabriquées en laboratoire

Impact de la température de fabrication sur la tenue à l'eau des enrobés



Température de fabrication	Résultat ITSR
160	76
145	55
130	38
130 + additif	91

# Impact de la nature pétrographique d'un granulat (immersion à 60°C)

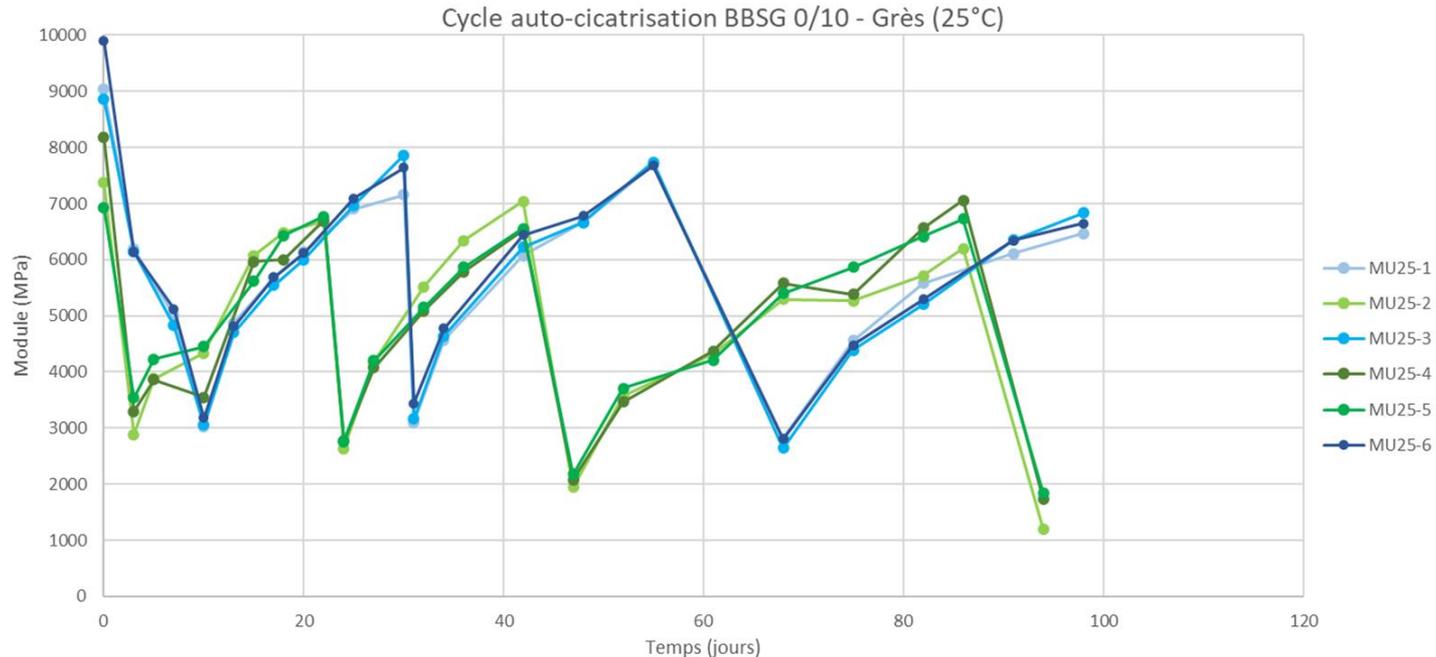


Pétrographie	ITSR (%) - 12697-12 / A
EB 10 roul 35 - Diorite	87,1
EB 10 roul 35 - Calcaire	90,1
EB 10 roul 35 - Quartzite	97,6

# Eprouvettes de chantier ?

→ Comment peut on qualifier la tenue à l'eau résiduelle d'une chaussée à partir de cet essai ?

- Le module dépend pas uniquement de l'oxydation du liant mais aussi de l'historique hydrique de la chaussée

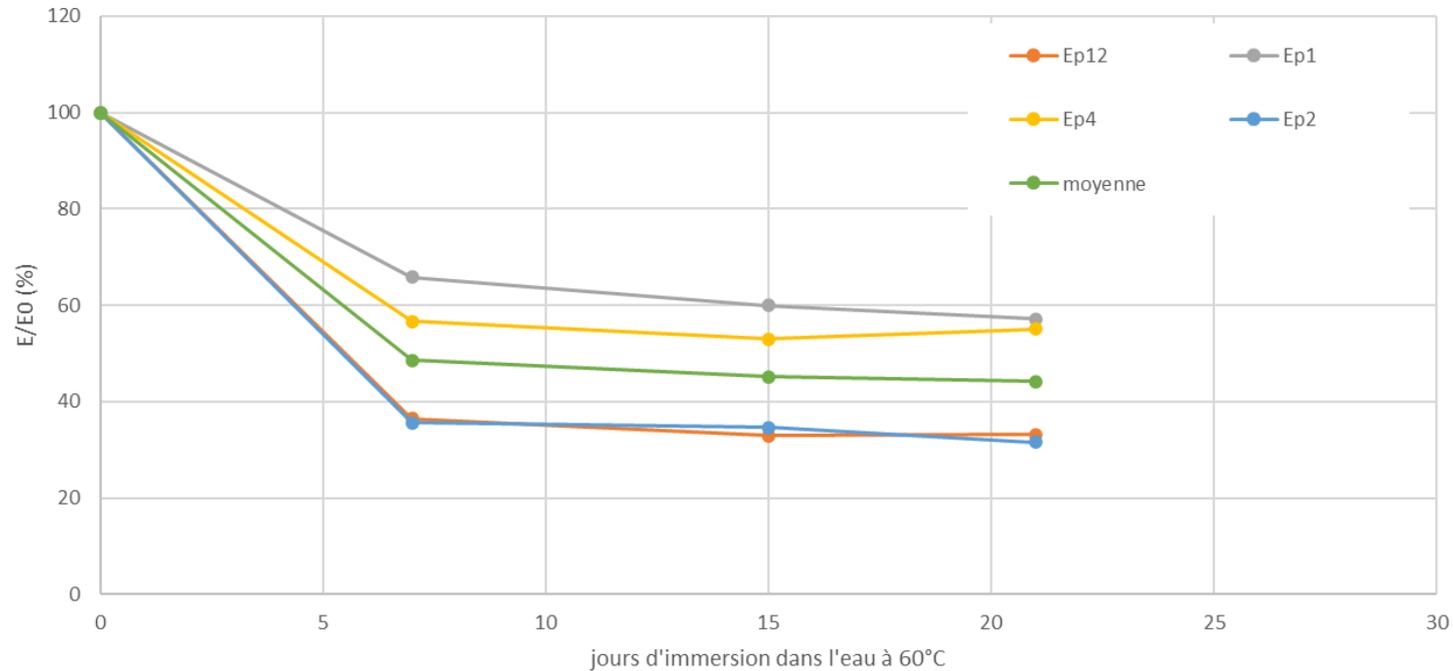


# Eprouvettes de chantier ?

→ Mode opératoire :

- Mesurer le module de 3 éprouvettes à la réception au laboratoire
- Faire sécher les éprouvettes à température contrôlée pendant 20 j environ (jusqu'à stabilisation du E : "normaliser" la valeur à t0)
- Réaliser l'essai de tenue à l'eau (saturation, immersion à 60°C, Xj)
- Mesurer la tenue à l'eau résiduelle

# Expertise chantier : Exemple 1



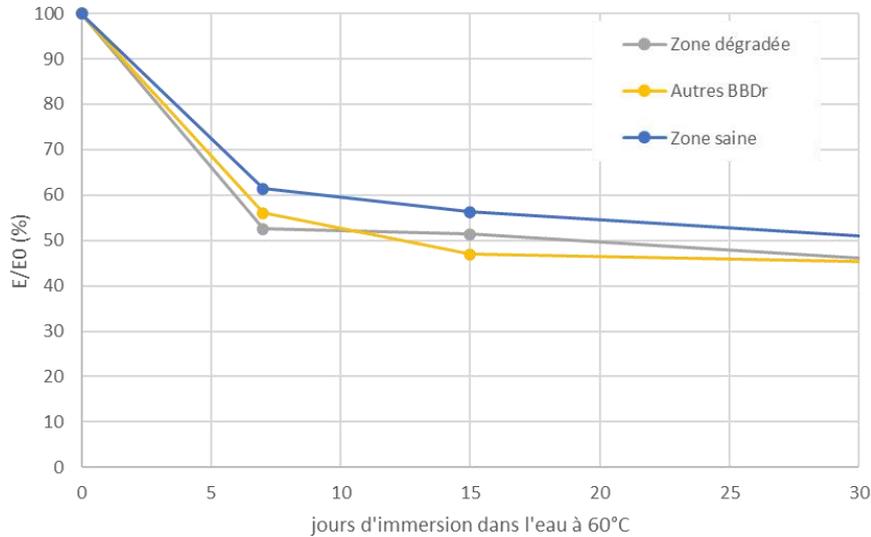
ITSR résiduel : 50%

Chaussée aéroportuaire détériorer au jeune âge par la mousson.

=> Sous compactage

# Expertise chantier : Exemple 2

## Exemple de dégradations observées



ITSR résiduel : 84%

Enrobé drainant après 8ans de service – chaussée très circulée

=> enrobé en fin de vie en terme d'adhésion

04

# EVALUATION D'ADDITIFS D'ADHÉSION

# Qualification des additifs d'adhésion

→ Echelle 2 : Boiling test

- Impact de la nature pétrographique sur l'efficacité des additifs d'adhésion

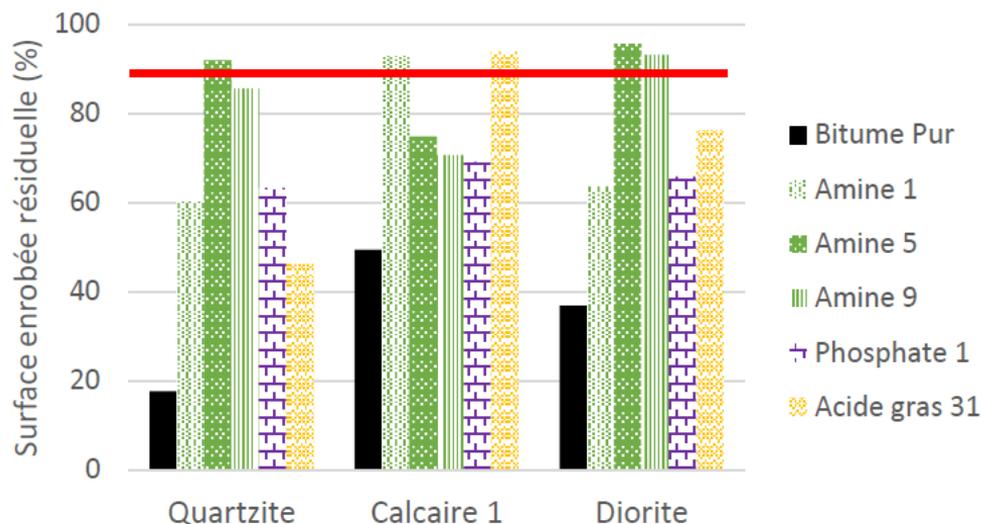
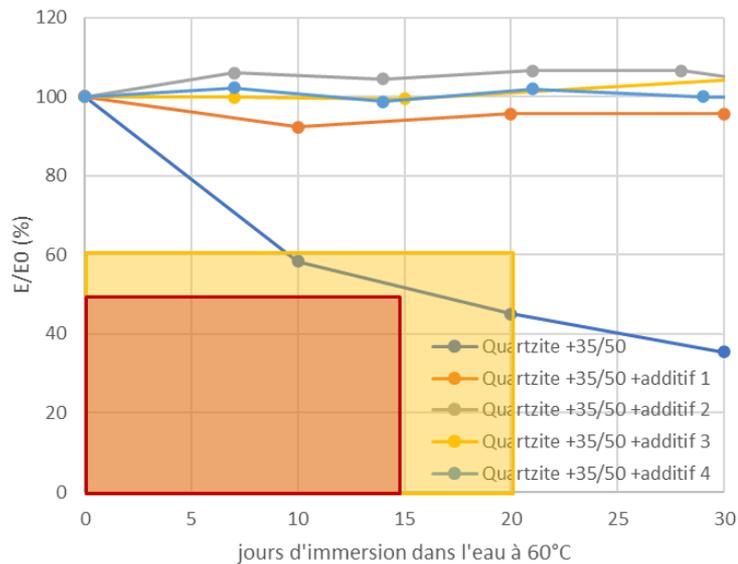
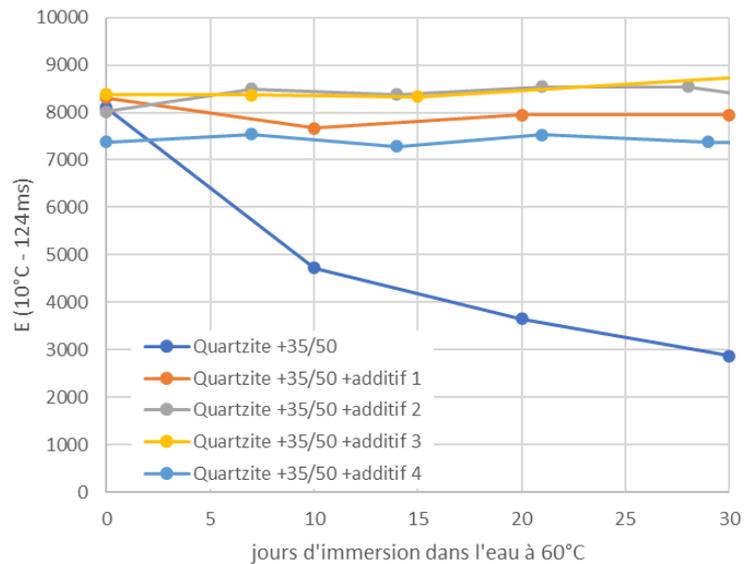


Figure V-13 : Résultats du Boiling Test pour bitume pur et additivé – Echantillons préparés à 150°C avec 3 ppc de bitume.

# Qualification des additifs d'adhésion



EB 10 roul 35 - Quartzite	ITSR (%) - 12697-12 / A
Pas d'additif	97,6
Additif 1	93,4
Additif 2	91,4
Additif 3	101,5
Additif 4	98,4

06

# CONCLUSION ET PESPPECTIVES

# Conclusion et perspectives

- La qualification de la tenue à l'eau d'un enrobe est un point clef pour assurer la durabilité d'une chaussée :
  - Formulation initiale en laboratoire :
    - Qualification du couple granulat/bitume en fonction de la temperature, teneur en liant, % vides ....
    - Sélectionner le % et la nature de l'additif d'adhésion
    - ⇒ Un essai dans le domaine linéaire de déformation est proposé dans cette étude
  - Qualification de la tenue à l'eau résiduelle d'une couche d'enrobe sur chantier :
    - Evaluer le risque de recouvrir une couche en fin de vie d'adhésion (nids de poule)
    - Gestion du Patrimoine

