

LA GESTION DE PATRIMOINE ROUTIER ET LES TECHNIQUES DE CHAUSSÉES

Dégâts hivernaux : pelades subites
Résultat des recherches menées à l'IFSTTAR

Hammoum F., Piau J-M, Chupin O., Bouron S.

En partenariat avec LHOIST
D. Lesueur

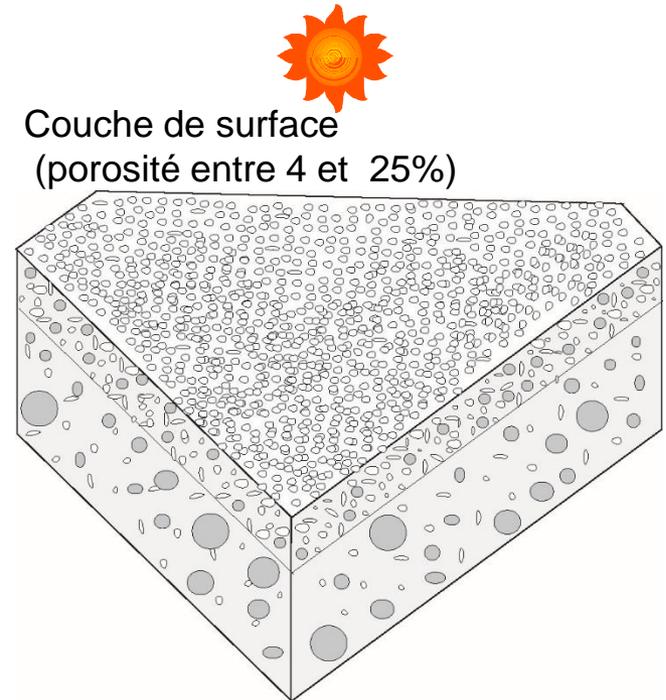
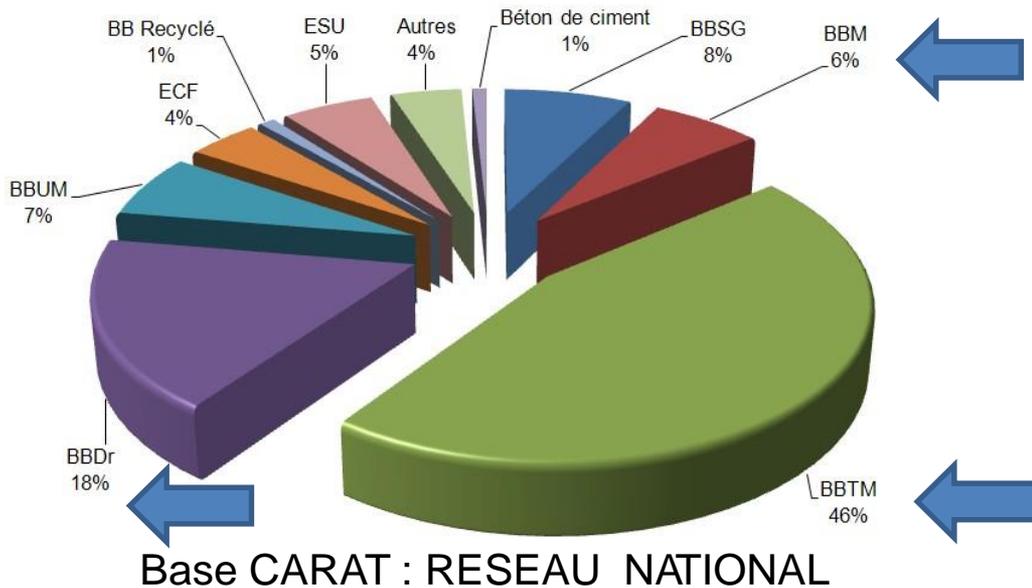


29 novembre 2018 – Marne La Vallée



Pelades hivernales subites

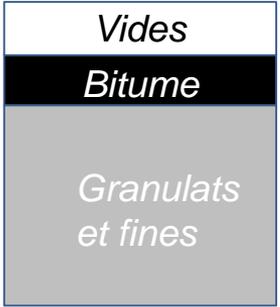
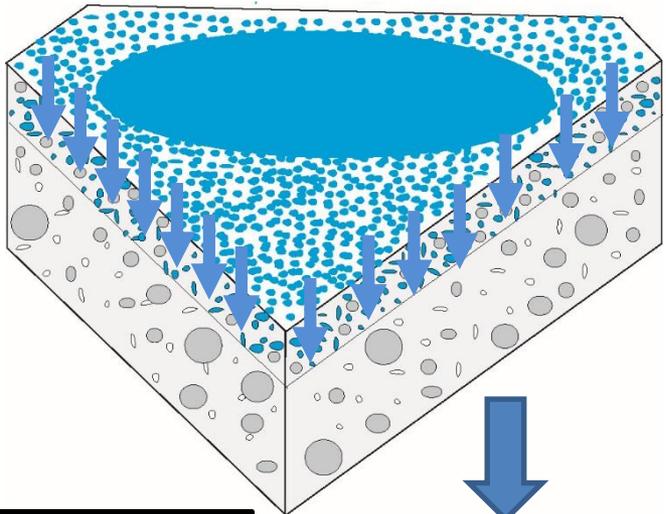
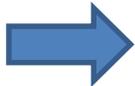
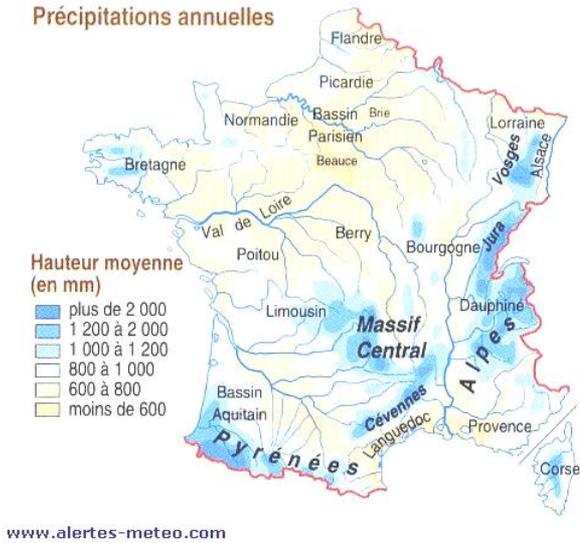
Rôle de l'eau dans l'enrobé bitumineux ?



- Opérations de recherche RST FondPhi (Groupe eau) (2006-2009)
- Opération de recherche RST CCLEAR –Sujet 2 (2011-2014)
- Partenariat LHOIST/IFSTTAR : suivi des sections de chaussées et thèse Van Thang VU, décembre 2017

Pelades hivernales subites

Rôle de l'eau dans l'enrobé bitumineux ?



- 10% des précipitations dans les chaussées
- Teneur en eau très variable durant la saison humide

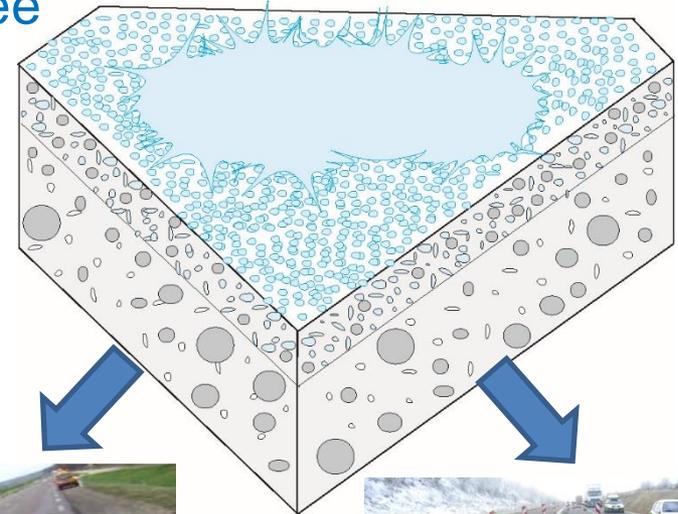
Questions sur la pénétration de l'eau et les conditions de saturation du matériau ?

> Pelades hivernales subites

Rôle de l'eau dans l'enrobé bitumineux ?

○ Circonstances d'apparition

- ✓ grands linéaires (> 100 Km)
- ✓ en quelques heures d'une même journée (ex: 20/12/2009)
- ✓ en bandes de roulement
- ✓ sans signe précurseur spécifique
- ✓ suite à alternances pluie & gel jusqu'à ~ -10° C



○ Etendue géographique

- ✓ pb rencontré dans divers pays (UK, B, GER, NL, etc.)

○ Périodes hivernales (Vosges)

- ✓ 70 cycles F/T par an
 - ✓ 500 et 1200 F/T sur 12 à 15 ans
- [BLPC, 279, 2012]



Observations identiques sur GB recouvrant anciennes dalles béton, avec eau affluant vers trous de carottage



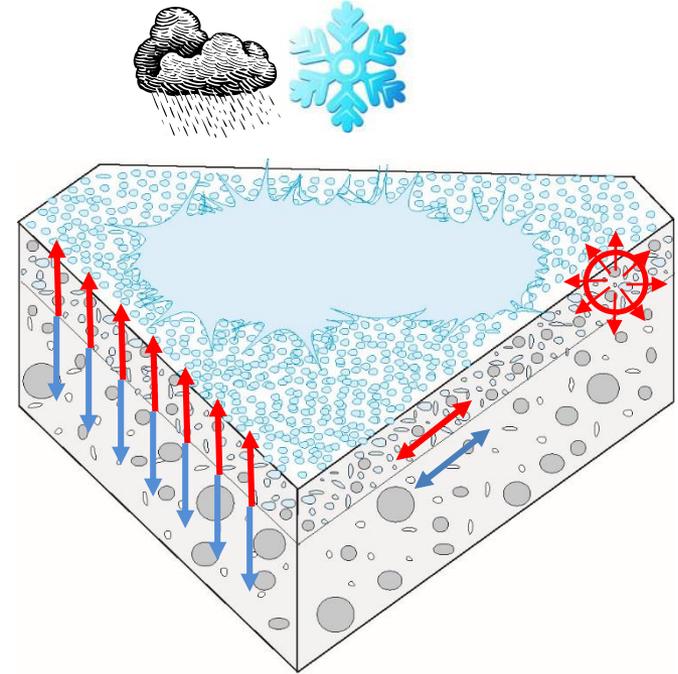
Chapelets de nids de poule sur un BBTM relativement récent

> Pelades hivernales subites

Teneur en eau + alternances autour du 0°C



Recherche d'un mécanisme
de rupture « franc »



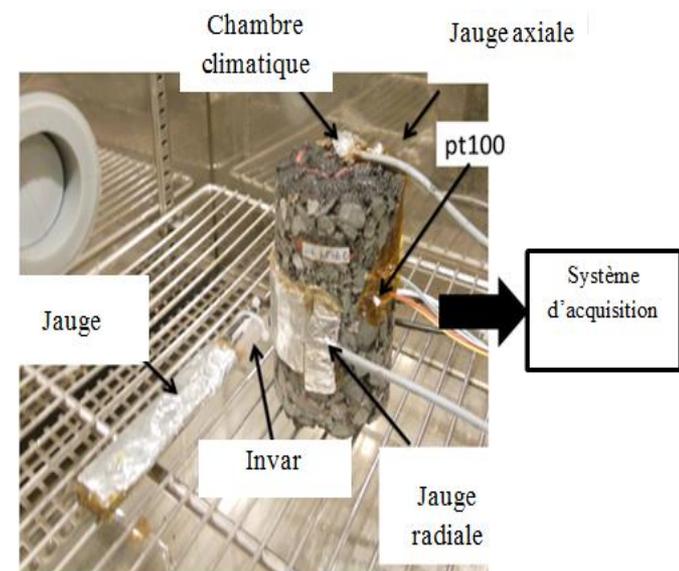
○ Explication proposée:

- 1) gonflement au gel des EB (partiellement) saturés
- 2) gonflements différentiels de couches
- 3) génération d'efforts d'arrachement aux interfaces

 **Essais en laboratoire sur des éprouvettes puis sur des bi-couches**

 **Essais à l'échelle 1 (+ trafic)**

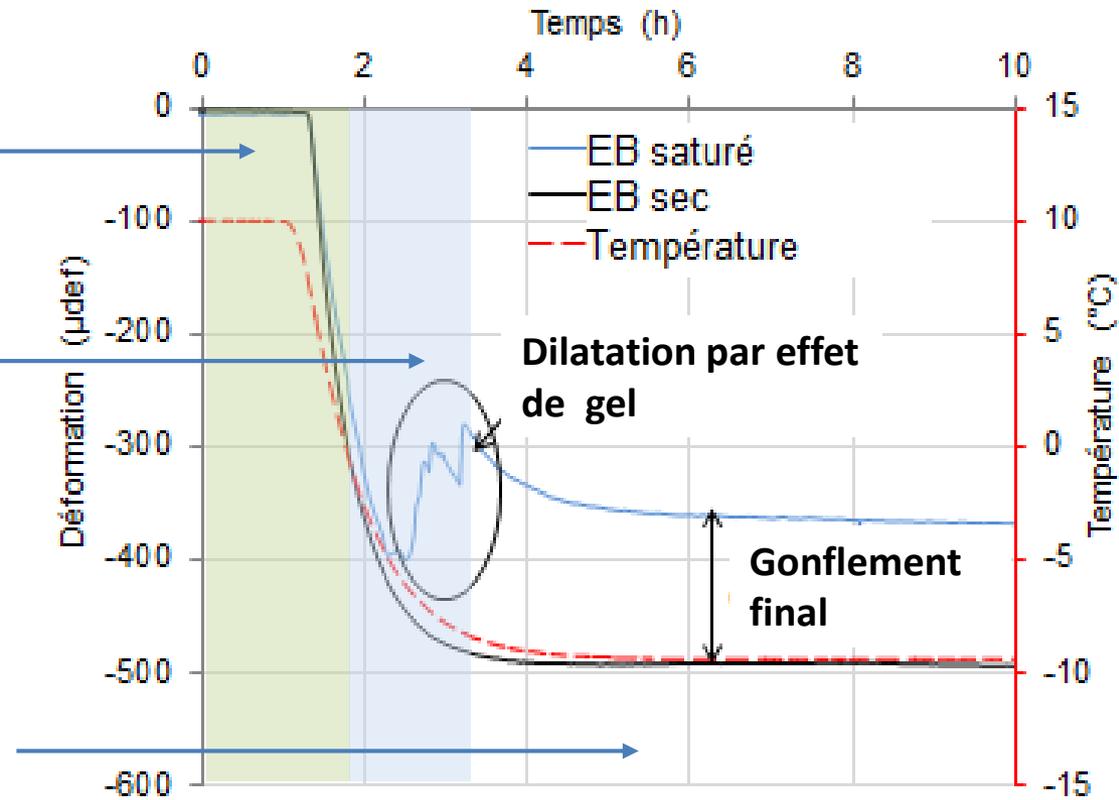
ESSAI DE GEL SUR ÉPROUVETTE EB SATURÉE : DÉFORMATION LIBRE



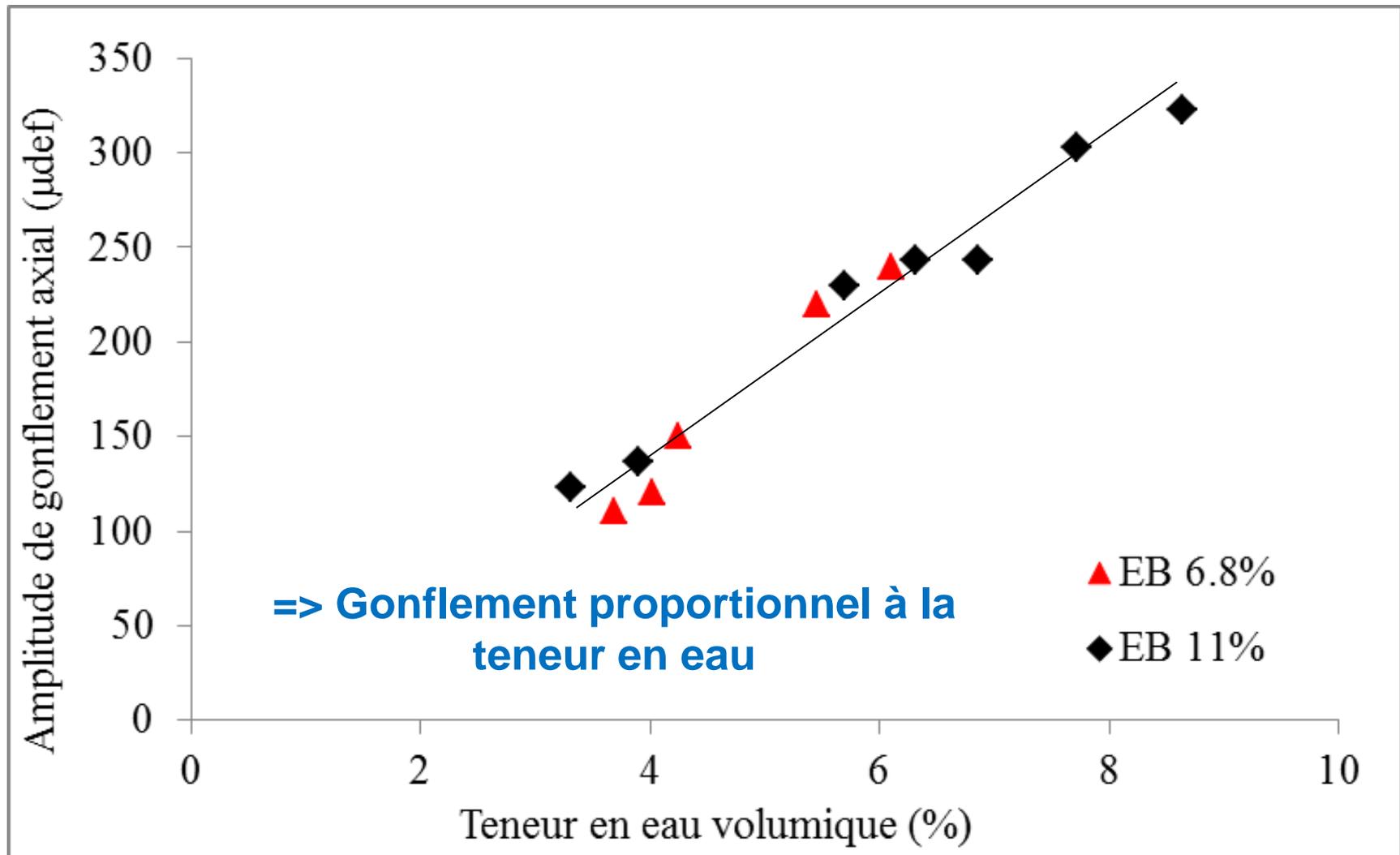
- EB : porosité $\approx 7,7\%$, $S_w \approx 65\%$
- Baisse de température de 10 à -10°C

- Evolutions similaires EB sec et EB saturé pour $\theta > 0^\circ\text{C}$
- Changement de phase de l'eau pour θ entre 0°C et $\approx -7^\circ\text{C}$
→ gonflement

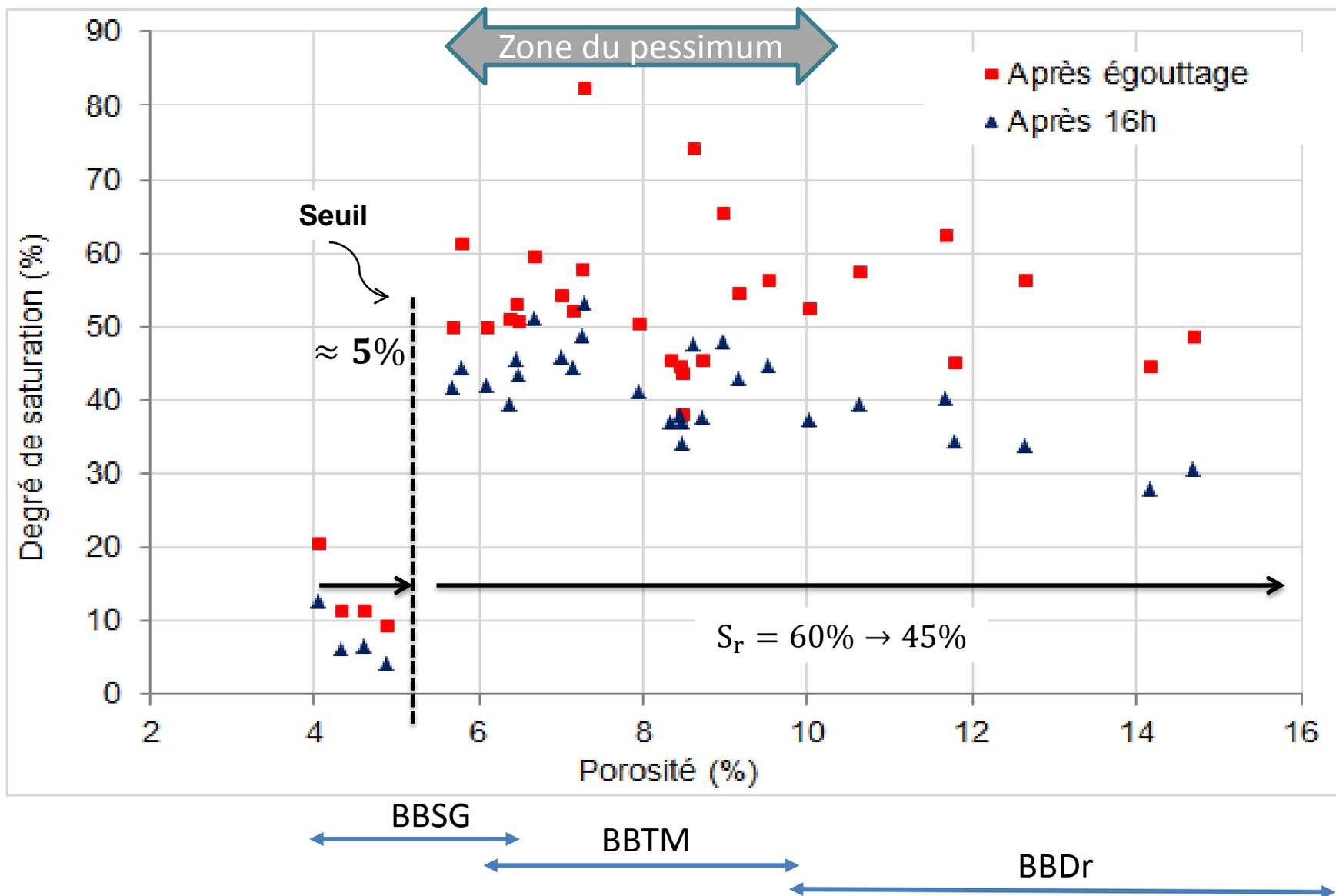
- Déformation de gonflement finale, isotrope: $\varepsilon_g \approx 130\mu\text{def}$



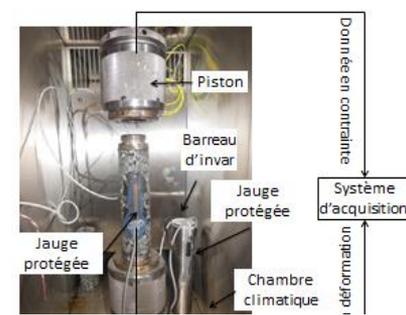
Relation : teneur en eau – Gonflement final



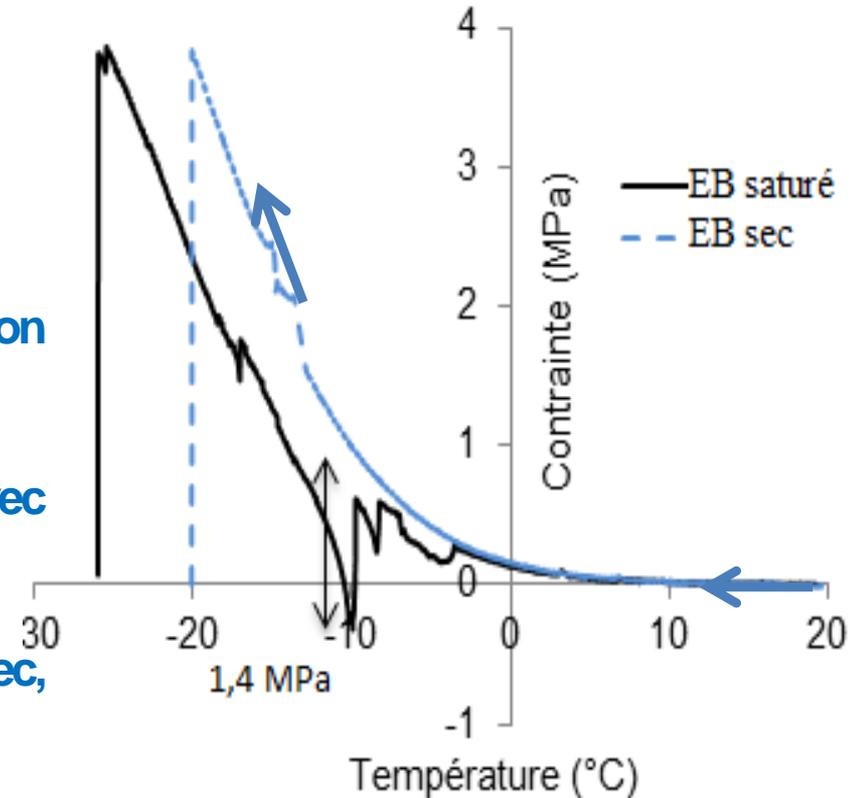
Relation entre porosité (gamma densimétrique) et taux de saturation (avant et après drainage gravitaire pendant 16h)



ESSAI DE RETRAIT EMPÊCHÉ SUR ÉPROUVETTE EB SATURÉE



- Evolutions similaires EB sec et EB saturé pour $\theta > -3^{\circ}\text{C}$
- Effets du changement de phase de l'eau entre -3°C et -10°C
- Gonflement \rightarrow diminution contrainte de traction jusqu'à état de compression à -10°C
- Puis, évolutions parallèles EB sec et saturé avec différence $\Delta\sigma = 1.4 \text{ MPa} \approx 10000 \text{ MPa} \times 140 \mu\text{def}$
- Rupture: $\sigma_r = 4 \text{ MPa}$ similaire à l'EB sec, mais $\theta_r = -26^{\circ}\text{C}$ au lieu de -20°C



$\theta_{rupture}(saturé) < \theta_{rupture}(sec)$

Avantage ??

Hétérogénéité des champs de contraintes induits dans les structures de chaussée par effet de gel

QUEL EST L'APPORT DE LA CHAUX HYDRATÉE SUR LES ENROBES BITUMINEUX ?

Evaluons l'apport de la chaux sur les performances mécaniques des enrobés bitumineux soumis aux cycles de gel et de dégel

Matériau : EB ($\approx 7\%$ porosité)

Indicateur: Module complexe (15°C , 10Hz)

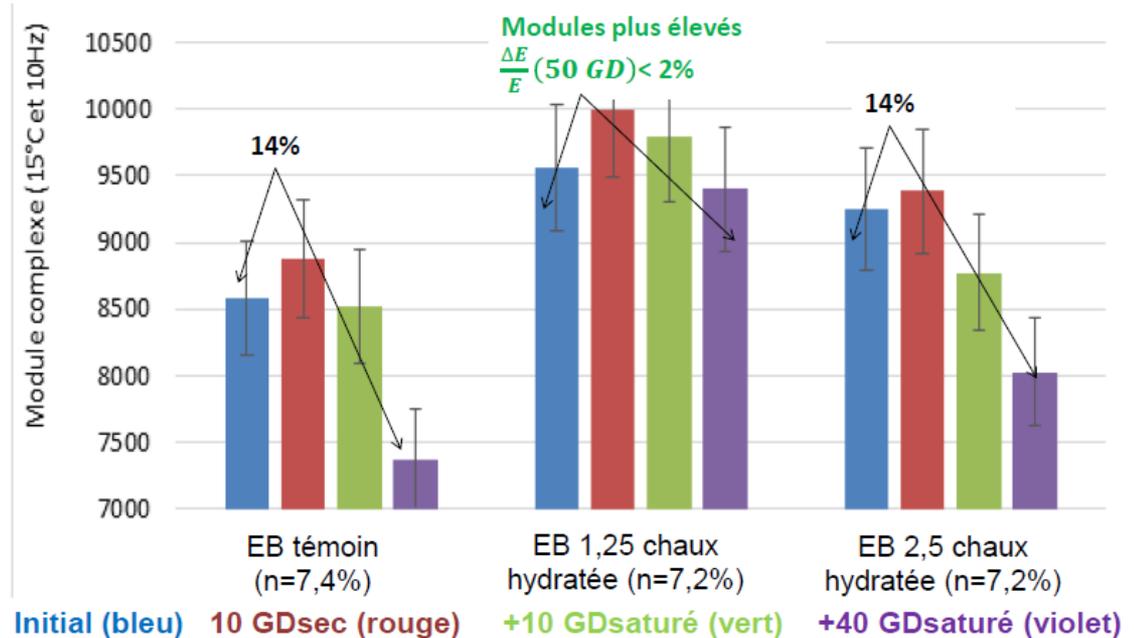
3 Niveaux de conditionnement :

a) **Etat Initial : P0**

b) **P1= P0 + 10 cycles F/T à sec**

c) **P2= P1 + 10 cycles F/T saturé**

d) **P3= P2+ 40 cycles F/T saturé**



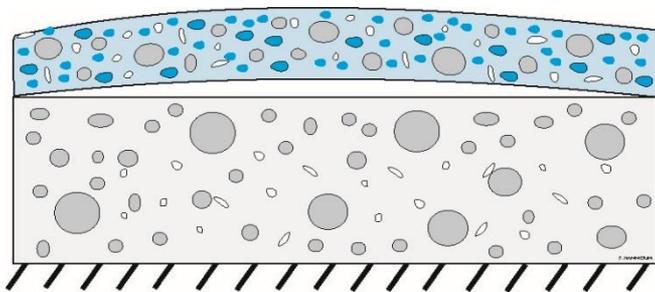
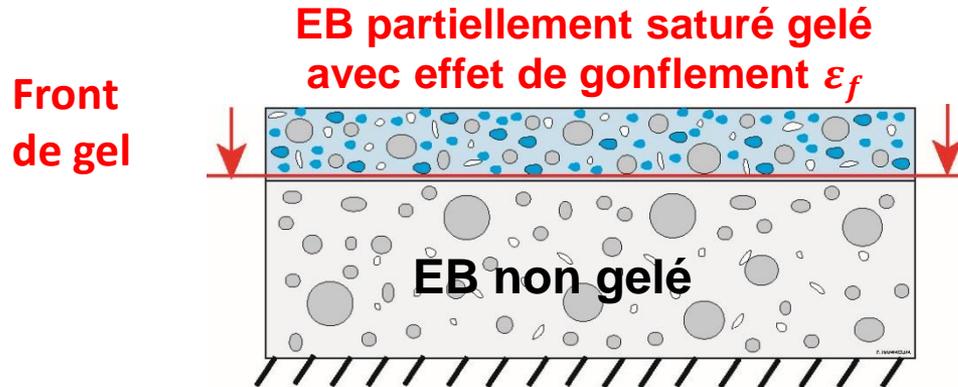
Après 40 cycles de gel et de dégel, l'endommagement subi par l'enrobé témoin traduit une fragilité du matériau classique vis-à-vis des cycles de gel et de dégel par voie humide.

Avec les matériaux traités avec de la chaux hydratée, l'analyse des résultats montre que la teneur optimale (1,25% HL) est bénéfique pour la durabilité des enrobés bitumineux

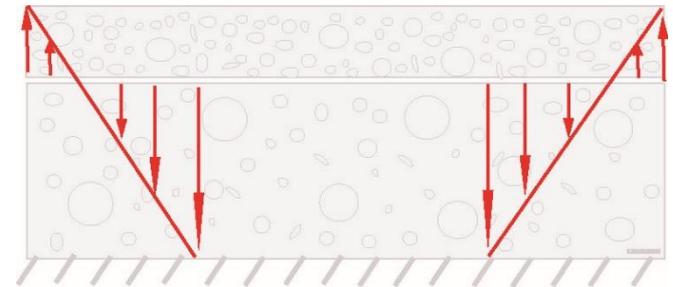
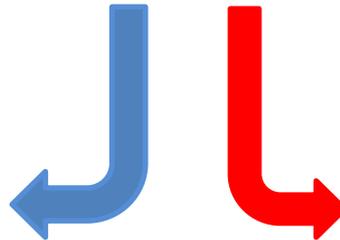


CONSEQUENCES D'UN FRONT DE GEL ?

- Gel sur EB saturé → effet de “dilatation isotrope” ($> 100 \mu\text{def}$) se produisant brutalement au niveau du front liquide/glace (phénomène convectif et non diffusif) en présence de matériaux froids, donc rigides, peu ductiles (EB, interfaces)
- Possibilités de dilatations différentielles horizontales de part et d'autre du front de gel, particulièrement dommageables pour les interfaces



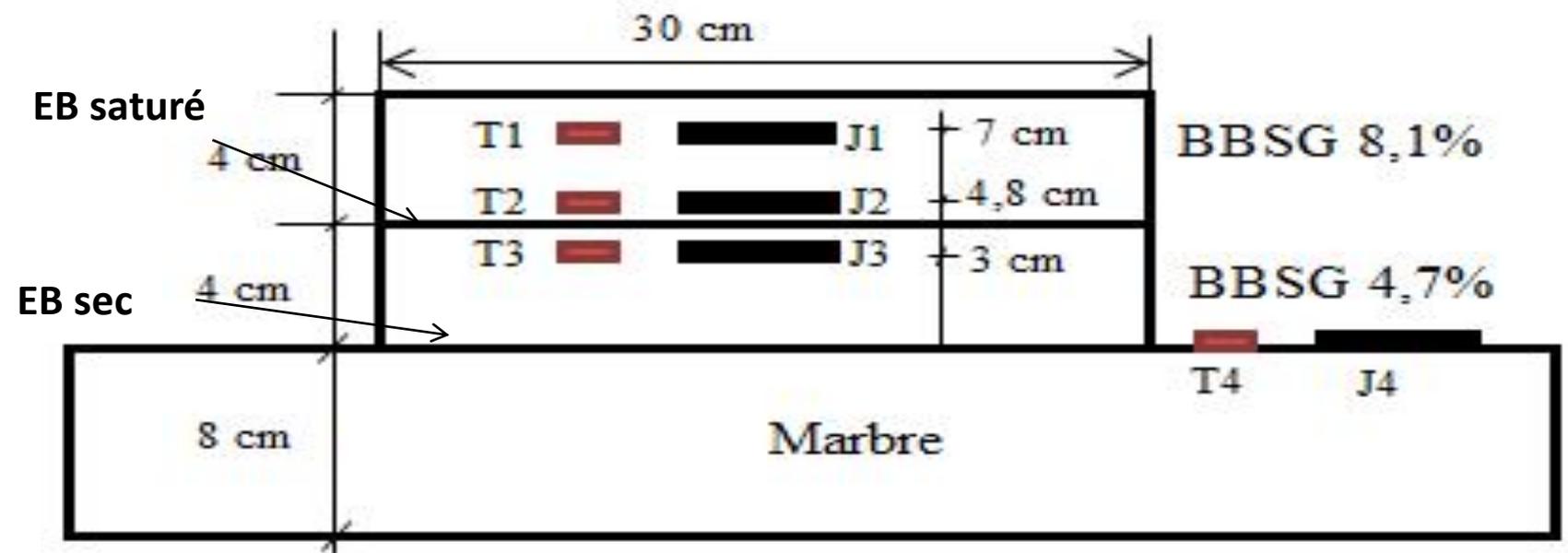
**Effet de courbure,
si interface non collée**



**Génération d'importantes forces
d'arrachement, sur l'interface
EB gelé/non gelé, si interface collée¹**



CONSÉQUENCES D'UN FRONT DE GEL ? ESSAI SUR BICOUCHE

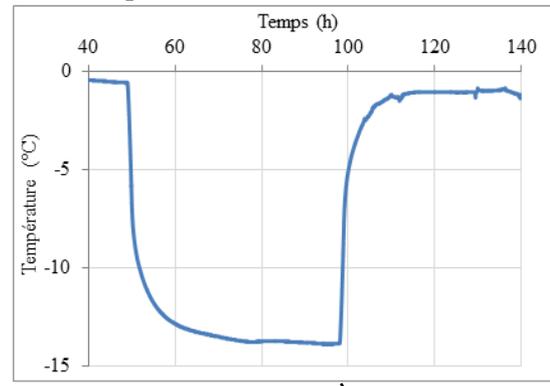


Effet de gel sur plaque bicouche collée   sa base



CONSÉQUENCES D'UN FRONT DE GEL ? ESSAI SUR BICOUCHE

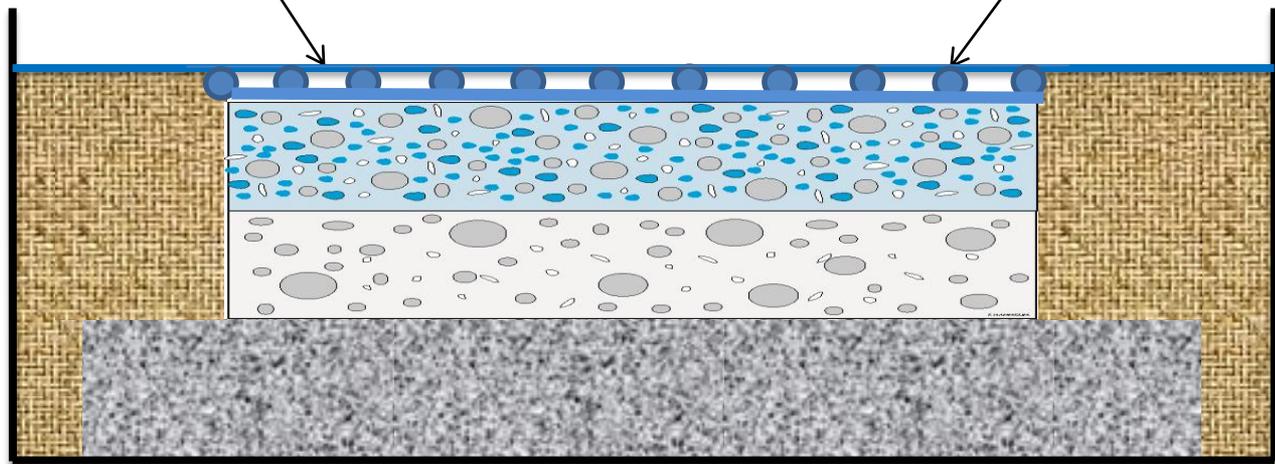
Température de surface



✘ 3 cycles



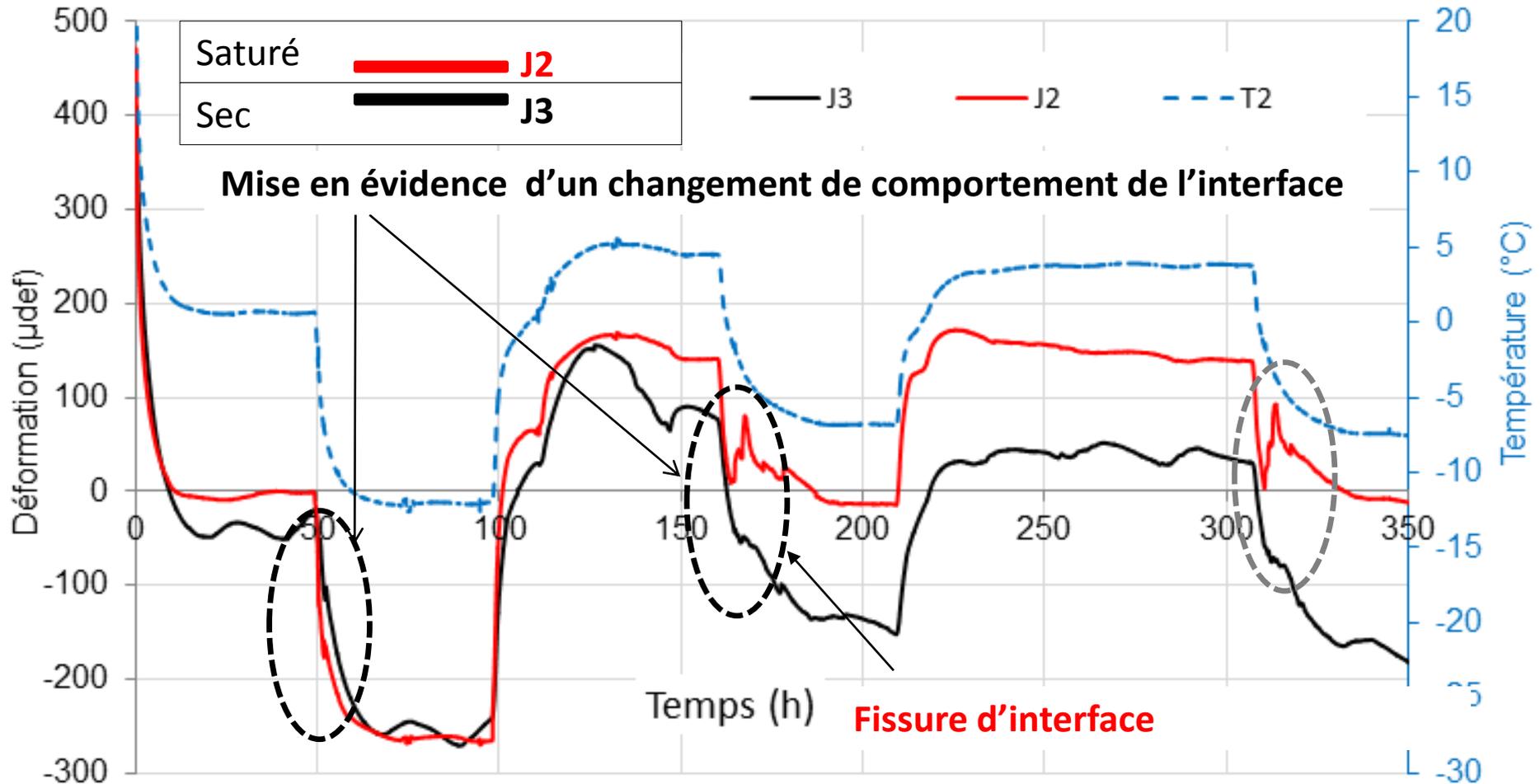
Circuit réfrigérant en surface



Bac isolant

CONSÉQUENCES D'UN FRONT DE GEL ? ESSAI SUR BICOUCHE

→ Mise en évidence d'une rupture d'interface au premier cycle de gel (justifiée par modélisation)



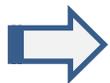


RECOMMANDATIONS PRATIQUES

Quelques pistes pour réduire l'impact du gel sur les chaussées :

- ✓ Limitier la porosité des EB hors de la zone de « *pessimum* »
- ✓ Eviter la multiplication des couches et des interfaces en réhabilitation
- ✓ Etre vigilant vis-à-vis de l'uni des couches support de renforcement
(éviter les poches d'eau)
- ✓ Question du salage?
- ✓ Poursuivre les investigations avec la chaux hydratée
- ✓ Tester les techniques d'interface en lien avec les conditions hivernales
(protocole de laboratoire avec un essai bicouche)

Suite des travaux à l'Ifsttar



Essais à l'échelle 1 (gel/dégel + trafic)



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- VU V.T., CHUPIN O., PIAU J.-M., HAMMOUM F., BOURON S. (2018) Experimental study and modeling of the behavior of partially saturated asphalt concrete under freezing condition. *Construction and Building Materials*, 163: pp. 169–178
- VU V.T. (2017). Comportement au gel/dégel des enrobés bitumineux partiellement saturés et impact sur l'endommagement des chaussées. Thèse de l'école doctorale SPIGA, 18 décembre (thèse dirigée par F. Hammoum et financée par LHOIST).

Merci de votre attention

Ferhat HAMMOUM
IFSTTAR
Nantes
ferhat.hammoum@ifsttar.fr