



DGITM - AIPCR

Séminaire sur l'Adaptation des infrastructures et des réseaux de transport au changement climatique



Adaptation des Infrastructures aux évolutions des conditions climatiques

Ferhat HAMMOUM
Département MAST/IFSTTAR



le 13 novembre 2015



Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

Sommaire

- Introduction
- Contexte / période chaude
- Adaptation des chaussées / période chaude
- Contexte / période hivernale
- Adaptation des chaussées / période hivernale
- Récapitulatif



Introduction

Impact du climat sur les infrastructures routières : Problème Européen et Mondial !

Conditions climatiques

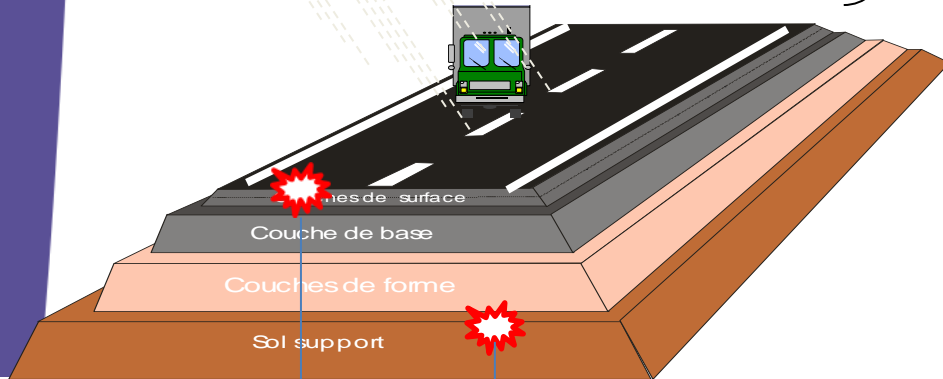
(Océanique, Méditerranéen, Continental)



- **Température et ses variations**
- **Présence de l'eau**

Besoins de connaissances pour renforcer notre doctrine

Combinaison des sollicitations (trafic + climat) + vieillissement



Nids de poule et fissuration thermique

Retrait-gonflement dans les sols argileux



Contexte / Période chaude

Sur la période 2003-2014

Des pics de chaleur plus fréquents dans certaines régions

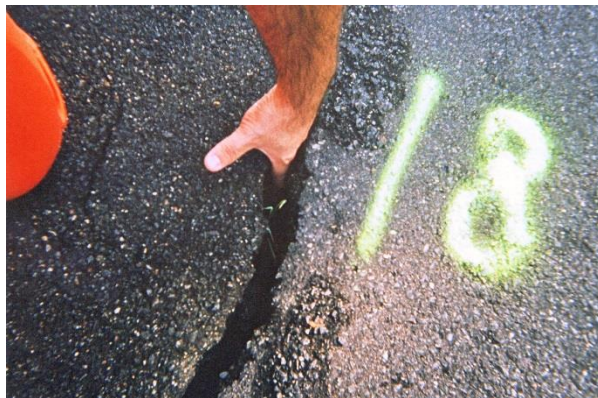
Bon comportement du réseau vis-à-vis de l'orniérage (Norme actuelle à 60°C)

A plus long terme (2100), les événements s'inscrivent dans le contexte du réchauffement climatique

Cas de l'été 2003

L'été 2003 était exceptionnel (sécheresse et record de température dans l'air)

Les constructions et les infrastructures avec des sols argileux sont les plus touchées (retrait-gonflement dans le sol, fissurations longitudinales etc.)



RD122, Blois



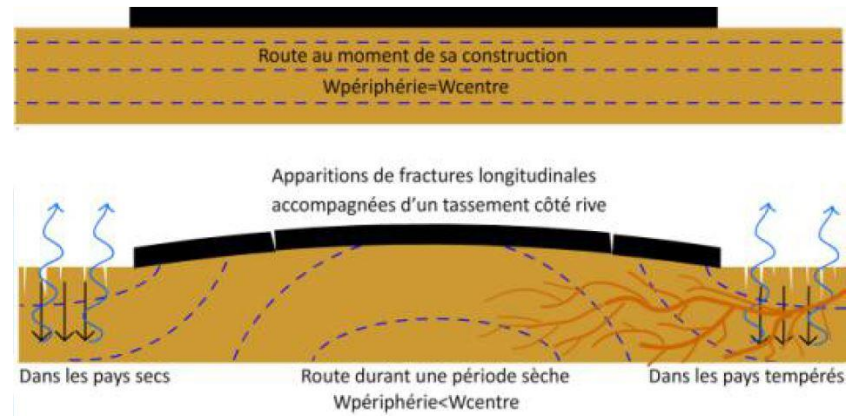
Mormoiron, Vaucluse



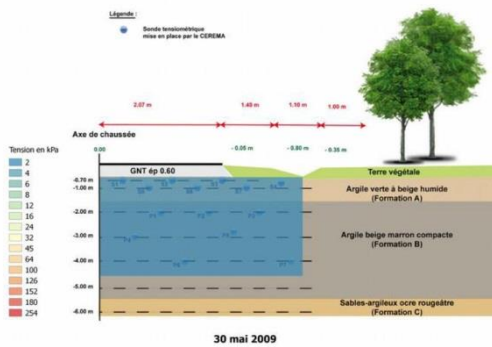
RD104, Loire et Cher

Adaptation des chaussées / période chaude

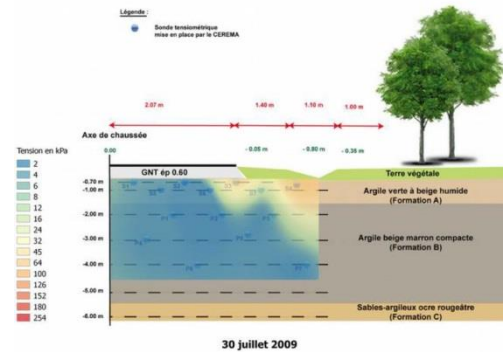
Déficit hydrique et sols argileux = retrait volumique du support de la chaussée.



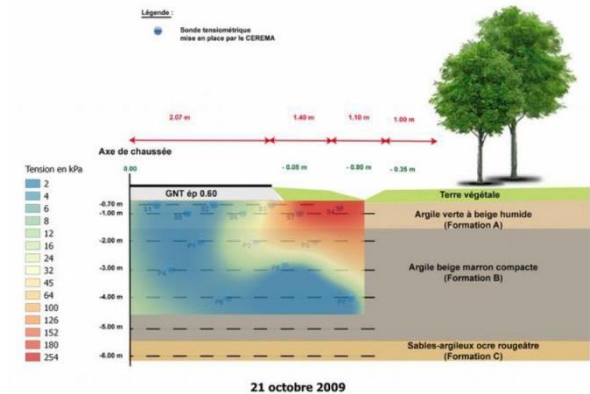
Entraîne en surface une fissuration longitudinale et un tassement en rive.



Mai 2009



Juillet 2009

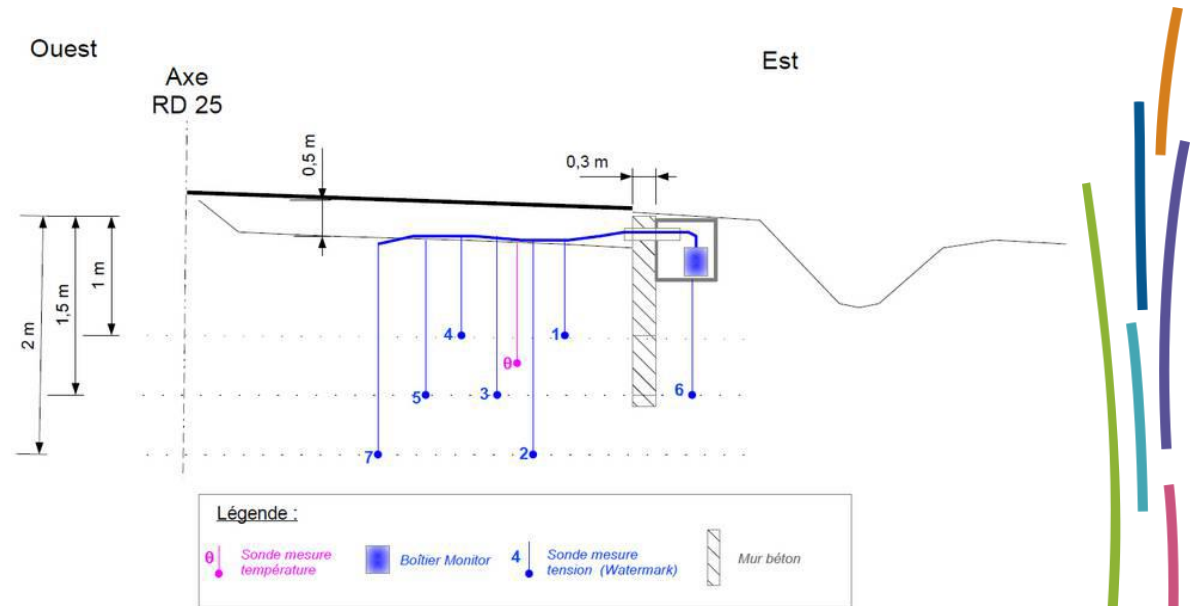


Octobre 2009

Adaptation des chaussées / période chaude

CEREMA en collaboration avec le CG gestionnaire en Sologne
Tronçon de chaussée sur une formation argileuse des sables et argiles de Sologne)

Solution possible : Limiter l'assèchement latéral par des écrans étanches (CG36)



Mai 2009

Juillet 2009

Octobre 2009

Adaptation des chaussées / période chaude

CEREMA en collaboration avec le CG gestionnaire en Sologne
Tronçon de chaussée sur une formation argileuse des sables et argiles de Sologne)

Solution possible : Limiter l'assèchement latéral par des écrans étanches (CG36)

Réalisation en octobre 2011 et Finition par bi-couche



Creusement de la tranchée



Remplissage de la tranchée par du béton



Chaussée après les travaux



D. Mathon, LR Blois



Sommaire

- Introduction
- Contexte / période chaude
- Adaptation des chaussées / période chaude
- Contexte / période hivernale
- Adaptation des chaussées / période hivernale
- Récapitulatif / conclusions



Contexte / Période hivernale

Sur la période 2003-2014

Des hivers humides avec des alternances de gel et de dégel
mais pas de froid exceptionnel constaté ces 20 dernières années

Cas de l'hiver 2009-2010

L'hiver 2009/2010 est exceptionnel

(Comparable à l'hiver 1962-1963 sur la base de l'Indice NAO dynamique des masses d'air de l'hémisphère Nord)

- ✓ Les régions (Est, Nord, Nord-Ouest) sont les plus touchées (nids de poule, fissuration thermique, etc.)
- ✓ Dans ces régions, Nbre de cycles gel-dégel > **50** et Nbre jours Pluviométrie sup à 1mm > **75**



Adaptation des chaussées / période hivernale

- Les structures de chaussées sont soumises à de multiples sollicitations liées au trafic et au climat
- Récemment en France et dans d'autres pays, apparition soudaine et sans signe précurseur de désordres sur les couches de roulement durant l'hiver (pelades, arrachements, nids de poule)
- Observation sur plusieurs dizaines voire centaines de km

 **Suggestion d'un mécanisme de dégradation spécifique**

Facteurs communs identifiés

1. Séries de pluies en alternance avec des périodes de gel et dégel
2. Teneur en eau importante dans la porosité des enrobés
3. Température très négative peu de temps avant les dégradations (-10°C)
4. Apparition des désordres en peu de passages de véhicules

Etudes pour comprendre le phénomène
Solutions pour limiter le phénomène



Adaptation des chaussées / période hivernale

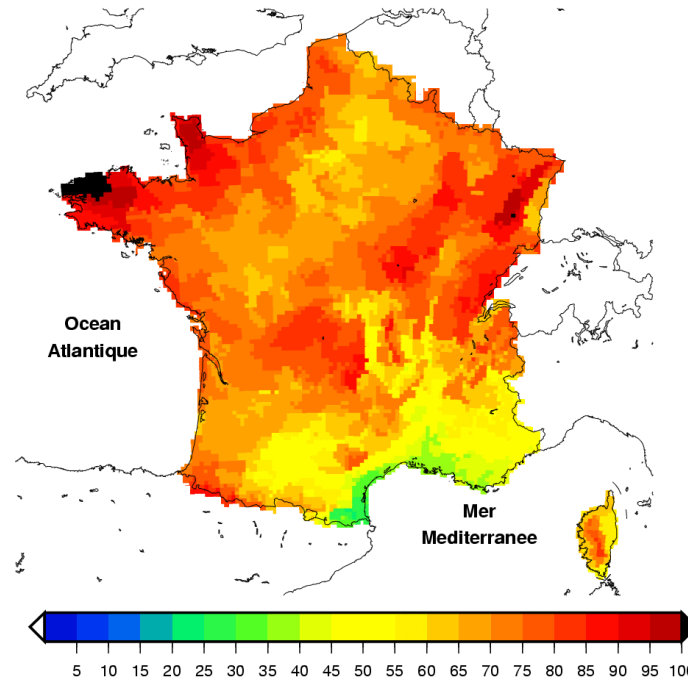
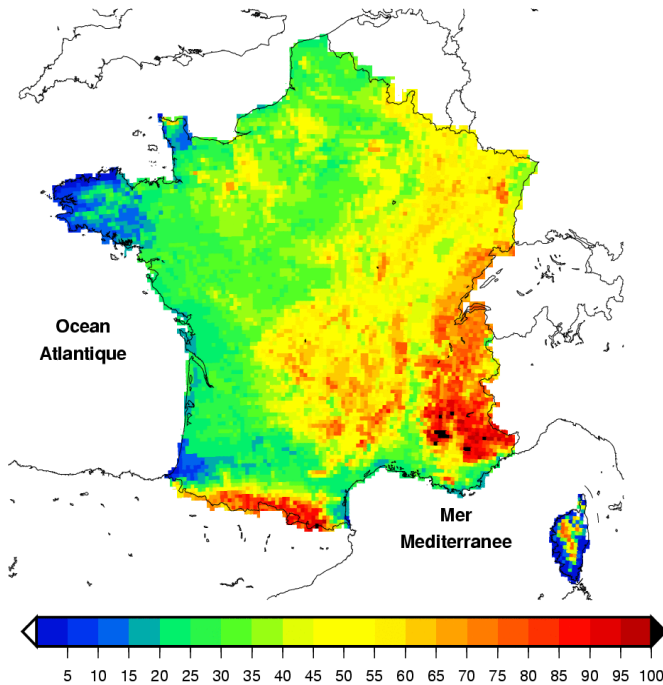
Etudes pour comprendre le phénomène

Données météorologiques : cartes établies sur la période 2003-2013

Exemple Hiver 2009-2010 (1er novembre à 6h au 1 avril à 6h)

Nb cycles de passage sous 0 a -6cm

Nb jours avec precipitations >1mm



Combinaison nombre de cycle gel-dégel à 6cm et nombre de jours de précipitation



Adaptation des chaussées / période hivernale

Etudes pour comprendre le phénomène (sensibilité à l'eau)



NOUS SAVONS ...

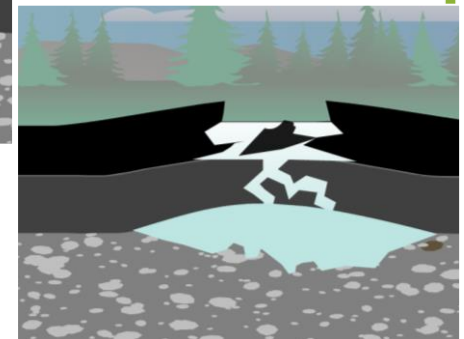
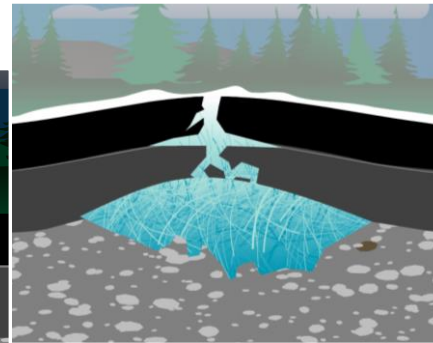
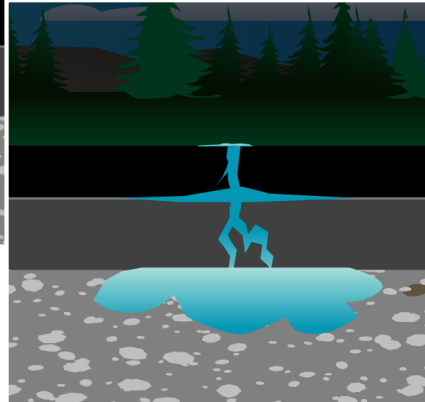
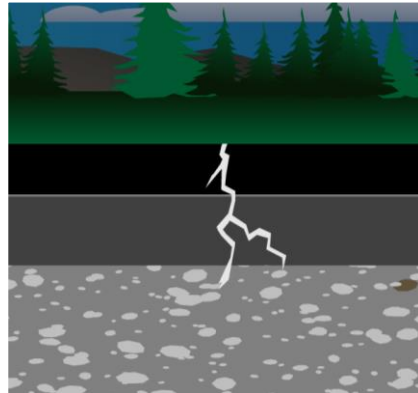
- Sensibilité liée à la nature des granulats
- Propreté des granulats
- Efficacité des dopes variable
- Qualité de réalisation

- Essais de tenue à l'eau (plusieurs variantes) :
les spécifications actuels ne sont pas suffisantes
- Non prise en compte de la combinaison (gel/dégel, sels de déverglaçage et trafic)



Adaptation des chaussées / période hivernale

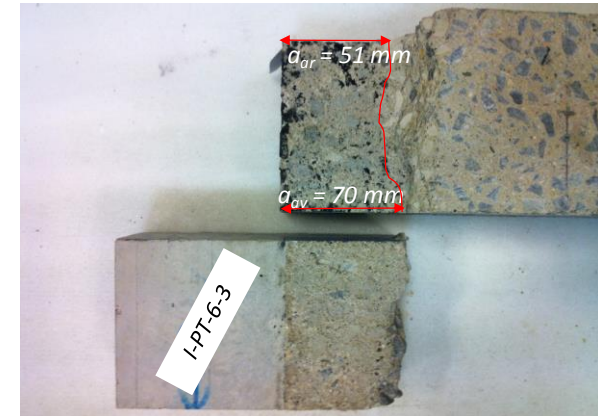
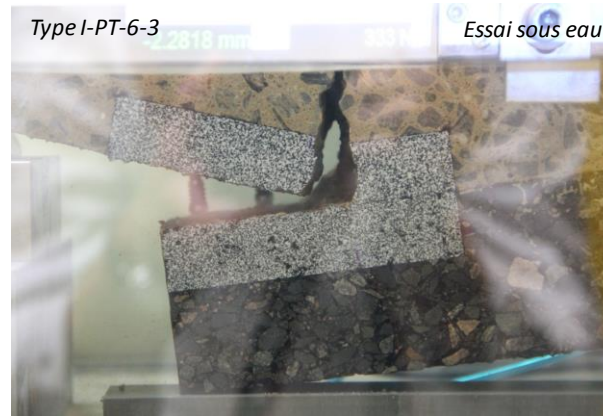
Etudes pour comprendre le phénomène (sensibilité à l'eau)



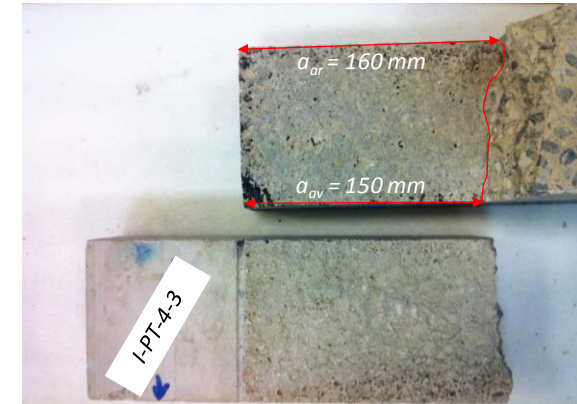
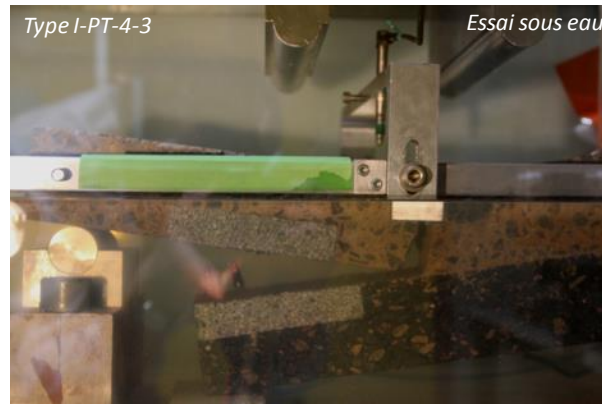
Adaptation des chaussées / période hivernale

Etudes pour comprendre le phénomène (présence de l'eau à l'interface)

Essai dans l'air



Essai dans l'eau

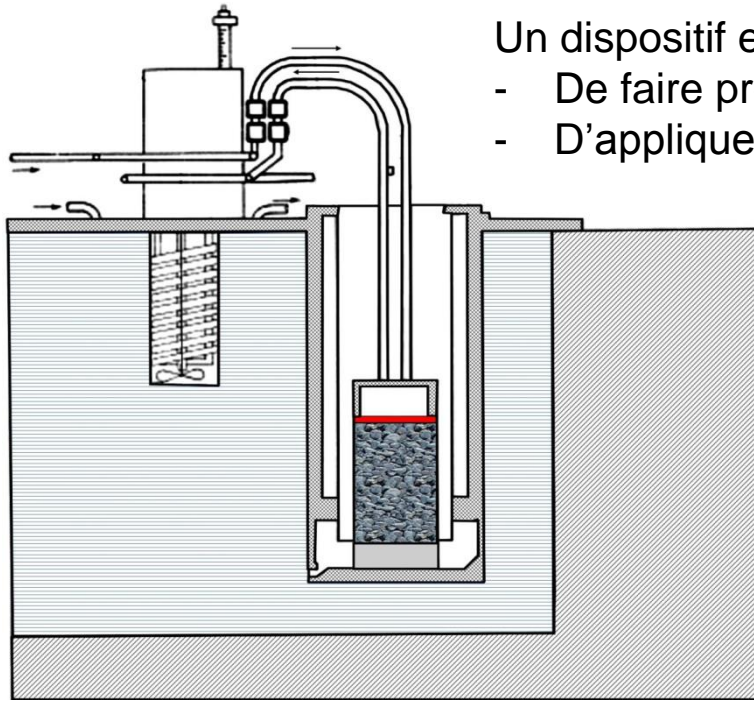


Présence d'eau peut fragiliser l'interface béton-enrobé dans le ciment
Influence du **temps d'immersion** sur la propagation de **décollement à l'interface**



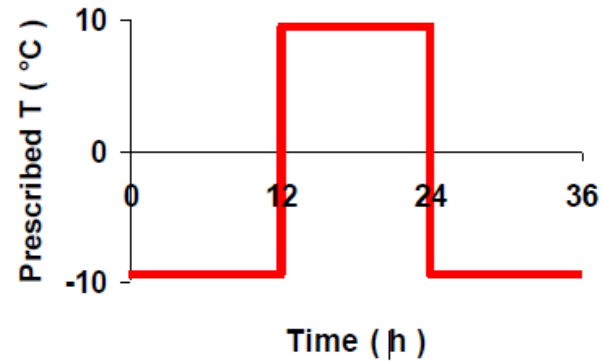
Adaptation des chaussées / période hivernale

Etudes pour comprendre le phénomène (cycles gel/dégel)



Un dispositif en laboratoire qui permet :

- De faire propager un front de gel verticalement
- D'appliquer des cycles gel/dégel au sommet des éprouvettes

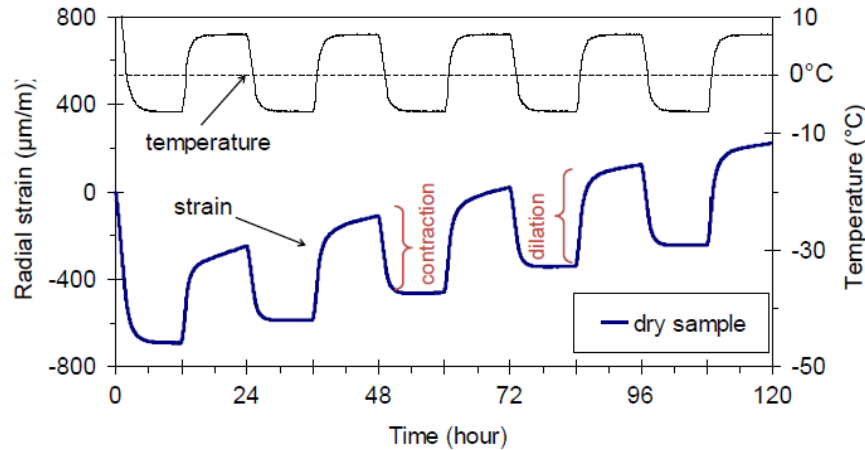


Application de cycles de 24 heures variant entre +10°C et -10°C



Adaptation des chaussées / période hivernale

Etudes pour comprendre le phénomène



Cas saturé – réponse plus complexe

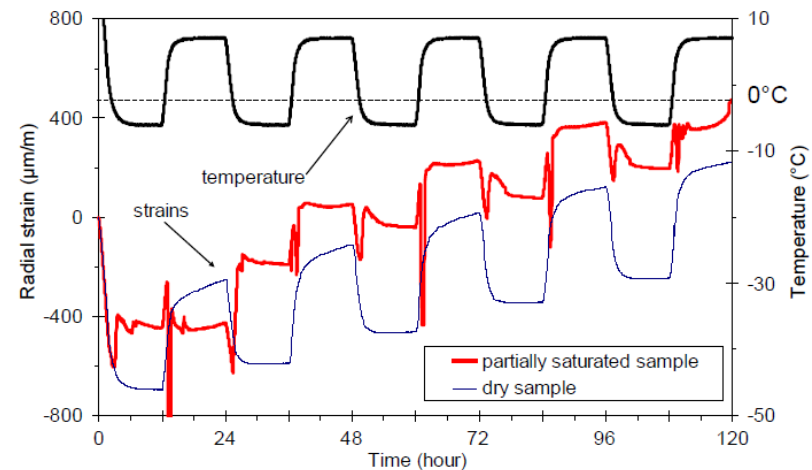
- Des pics de déformation (vers le haut ou le bas) à chaque fois que la température passe par zéro au niveau de la jauge
- Passage de l'eau en glace : dilatation des pores et pics vers le haut (~200µdef)
- Passage de la la glace en eau : la perte de volume crée une dépression d'où les pics vers le bas (~400µdef)

Cas éprouvette sèche

- Durant un cycle, déformation quasi-proportionnelle avec la température

$$\alpha = \Delta\epsilon_r / \Delta T \sim 30 \mu\text{def} / ^\circ\text{C}$$

- En condition de déplacement libre, un gonflement apparaît après chaque cycle



Adaptation des chaussées / période hivernale

Solutions pour limiter le phénomène

Sur les matériaux :

- Qualité des mélanges bitumineux
- Limiter la porosité des matériaux (enrobé moins ouvert)
- Moindre sensibilité à l'eau salée / emploi d'additif
- Limiter le gonflement au gel
- Vérifier la résistance à la fissuration thermique

Sur la Chaussée :

- Drainage : Evacuation de l'eau de la plate-forme et de la surface de la chaussée
- Couvrir le Terre Plein Central et les accotements
- Qualité du fraisage et de réemploi des agrégats d'enrobés
- Qualité des couches d'accrochage mis en œuvre



FIN



HAMMOUM Ferhat
IFSTTAR - Nantes
ferhat.hammoum@ifsttar.fr
Tél. (33) 2 40 85 46 67



Récapitulatif

▪ Contexte / période chaude

- Evolution vers un réchauffement climatique avec des pics de chaleur

▪ Adaptation des chaussées / période chaude

- Limiter les effets de la sécheresse sur les sols supports des chaussées

- Vérifier la performance des matériaux avec les normes actuelles

▪ Contexte / période hivernale

- Augmentation de la fréquence des hivers humides avec des cycles gel-dégel

▪ Adaptation des chaussées / période hivernale

- Proposer une norme sur la tenue à l'eau en lien avec les problèmes actuels

- Prendre en compte les cycles gel/dégel pour les couches de roulement

- Guider les gestionnaires routiers avec des exigences locales (*carte de sévérité climatique*)

