Exploitation
Réhabilitation
Maintenance

Projet National DVDC

PN - ANR MOVE
DVDC
DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

Comportement des structures de chaussées sous les cycles de gel-dégel

www.dvdc.fr

Pierre Hornych
Université Gustave Eiffel (ex IFSTTAR)

23 janvier 2020, FNTP

Journée d'information sur les techniques d'auscultation
et la durée de vie des chaussées

IREX
Institut pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE
ANR

► Dégats hivernaux (pelades) apparus au cours de plusieurs hivers

- 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 (~ -10°C)
  - pb rencontré dans divers pays

Rapport ministériel, 2011

- Observations identiques sur GB recouvrant d'anciennes dalles béton, avec eau au carottage

(Mauduit et al, 2013)

► Recherche d'un mécanisme de rupture « franc »

- Explications proposées:

  Effet lié à l'accumulation d'eau dans les couches d'enrobés présentant une forte porosité, et/ou aux interfaces

  - Gonflement au gel des EB (partiellement) saturés
  - Gonflements différentiels de couches
  - Génération d'efforts d'arrachement aux interfaces

► Lancement d'une étude du comportement des enrobés lors de cycles de gel/dégel :

- Thèse de Van Thangh Vu 2015 – 2018 - Collaboration IFSTTAR-Lhoist
  Encadrement : F.Hammoum, J.M.Piau, O.Chupin
  - Etude en laboratoire du comportement au gel des EB partiellement saturés
  - Développement d'une loi de comportement et implémentation EF pour analyse structurelle (couplage thermique-mécanique)

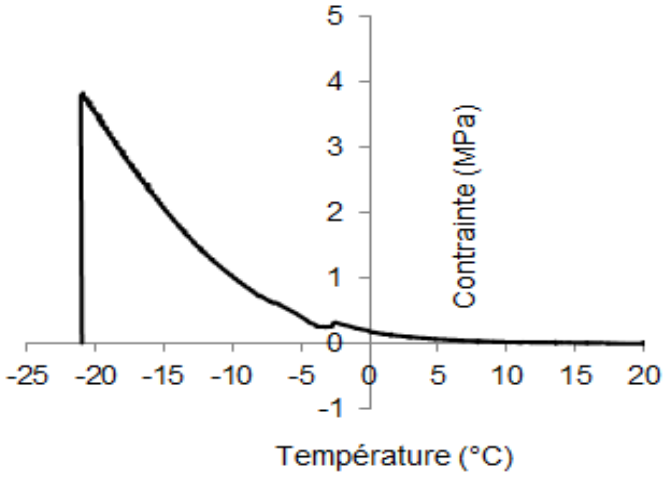
► Sols supports:

Effets de gonflement au gel (cryosuccion) évités par le dimensionnement des chaussées (guide Setra-LCPC 1994)

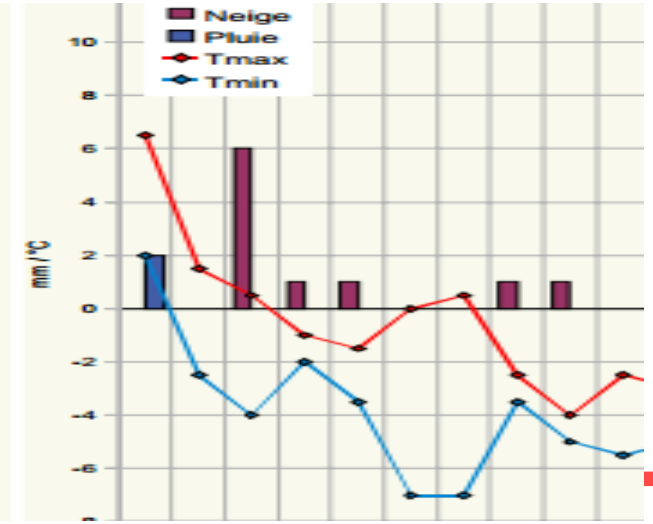
► Enrobé bitumineux: (EB)

- Fissuration thermique à température très basse (<-20°) (W. Arand, 1990) EN 12697-46
- Endommagement des EB partiellement saturés sous cycles de gel / dégel (Lamothe (2015), Ozgan (2013), Xu (2015), Pan (2017))

Pas d'explication sur l'apparition massive sur une même courte période des désordres



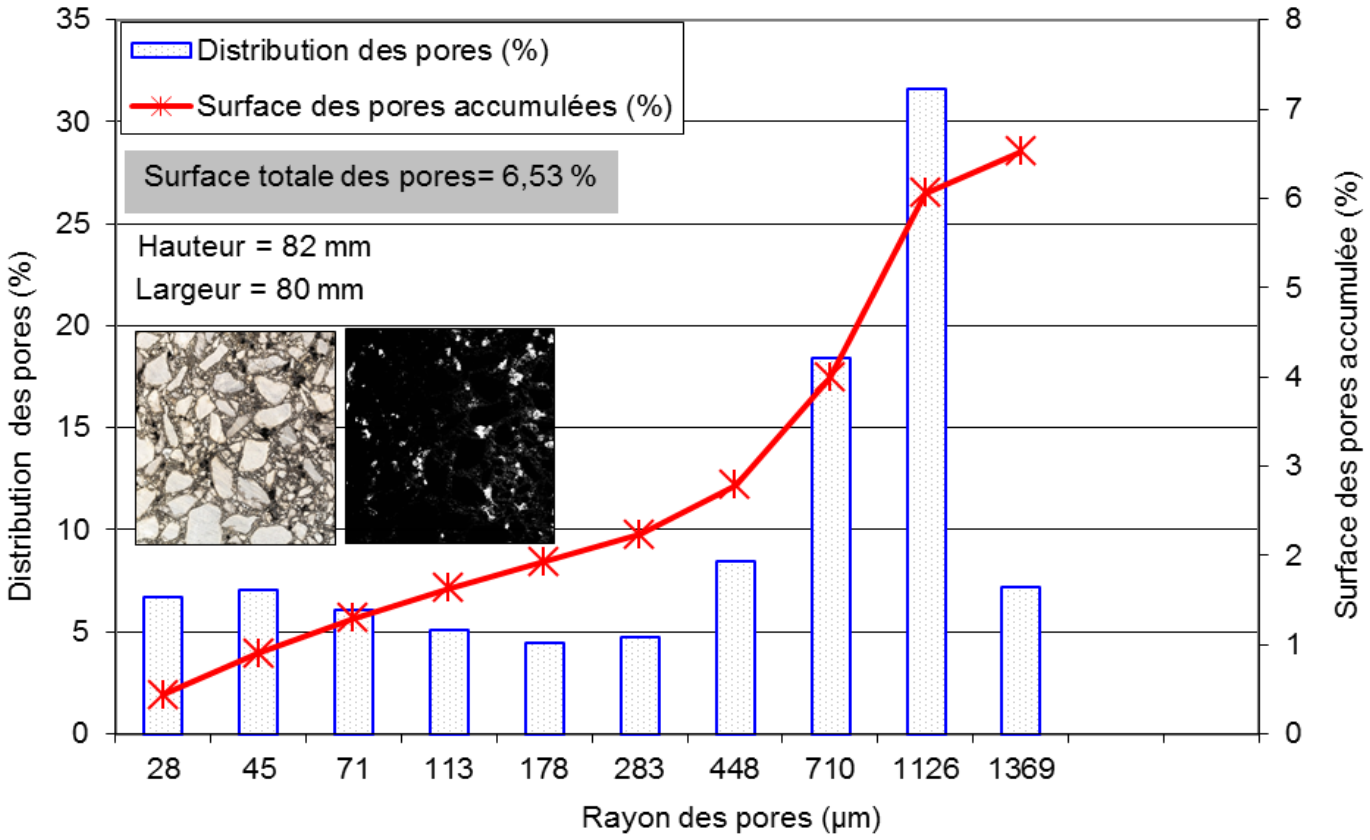
Essai TSRST (BBSG 35/50)



Température *in situ* (Mauduit et al, 2013)

► Matériau

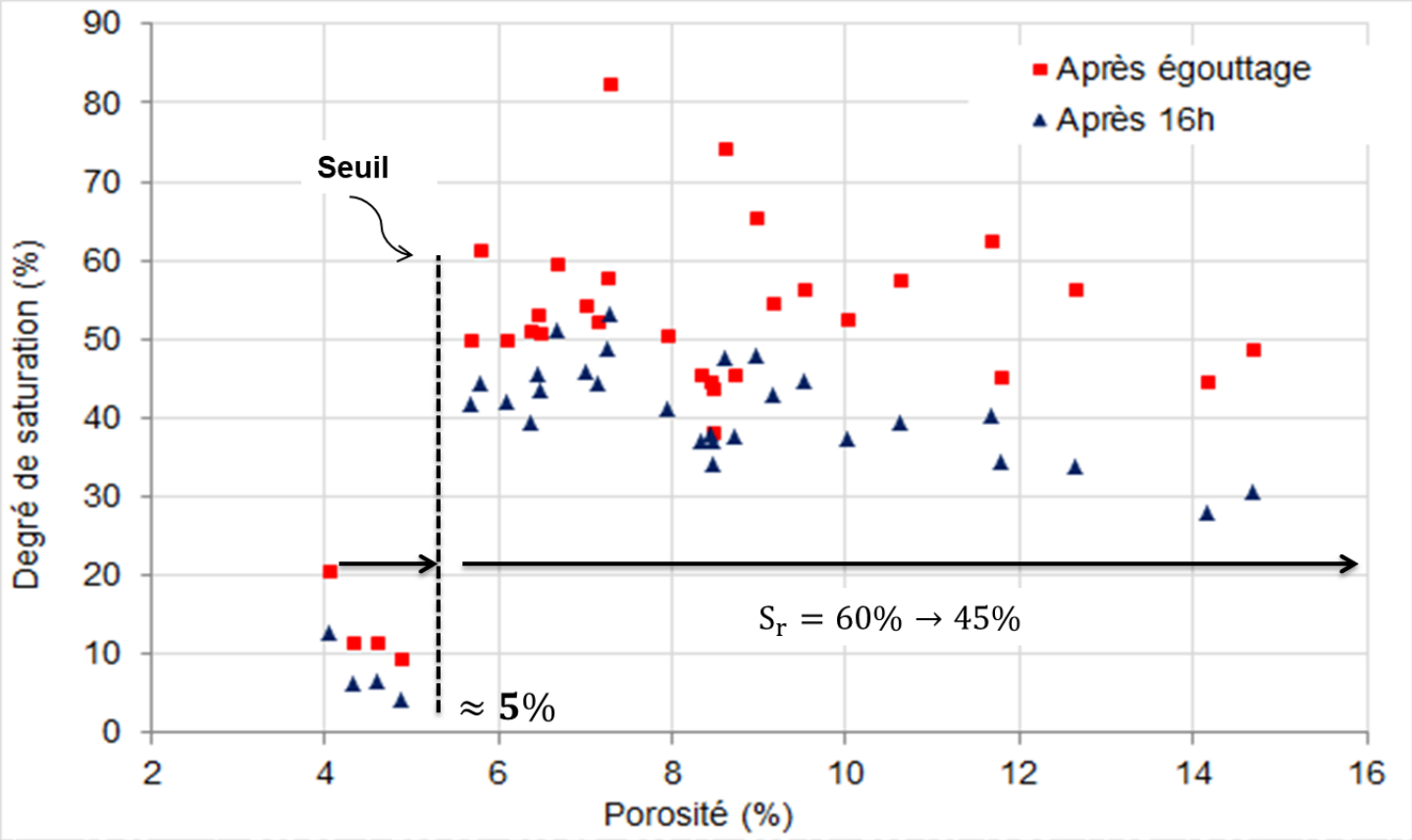
- Enrobé : BBSG 35/50
- Plage de porosité : 4-15% par variation d'énergie du compacteur de plaque
- Eprouvettes : cylindriques par carottage et prismatiques par sciage



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

▶ Protocole de saturation des éprouvettes

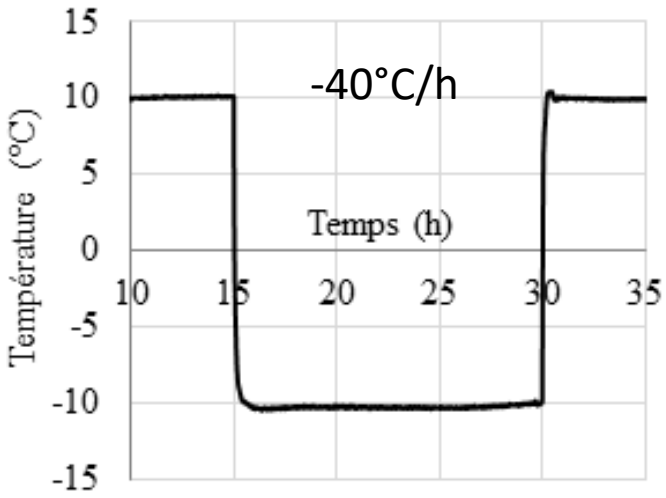
- Dépression pendant une heure à - 84kPa
- Ajout progressif d'eau avec maintien de la dépression
- Sortie des éprouvettes au bout de 3h
- Egouttage avant essai



Essai CTFS : caractérisation du gonflement au gel en déformation libre

► Protocole expérimental

- 6 Eprouvettes : Φ80 x 120 mm
- Plusieurs cycles de gel/dégel entre +10°C et -10°C
- Mesures extensométriques
- Corrigées par barreau d'invar
- Essais successifs sur une même éprouvette à l'état sec, puis saturé



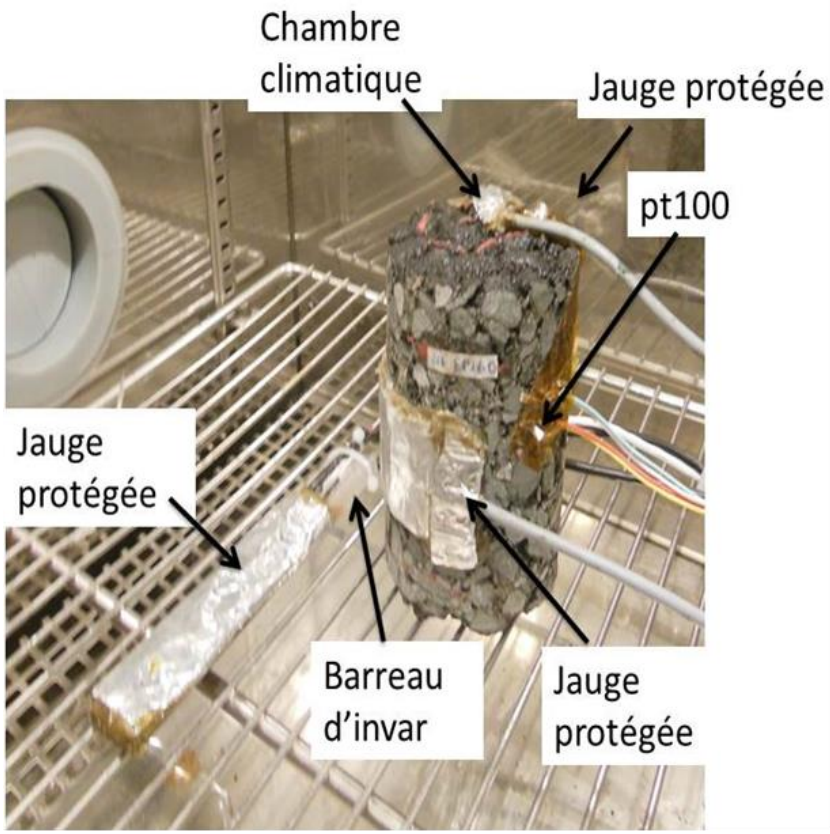


Schéma d'installation

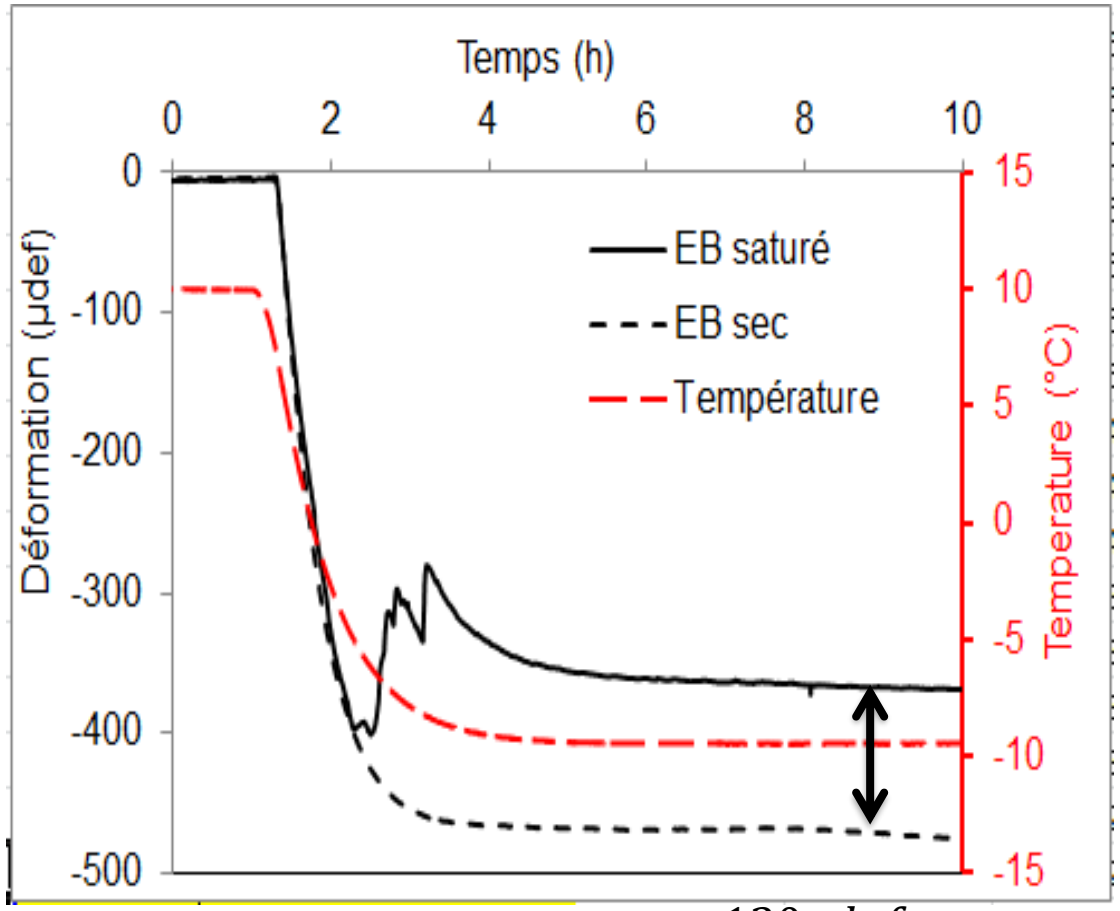
► Essai CTFS : cas de l'EB partiellement saturé

- $\theta > \theta_f$ ($\approx -5°C$): Evolution similaire à EB sec
- $\theta \leq \theta_f$ ($\approx -5°C$): Changement de phase de l'eau

-> Déformation de gonflement

- Déformation de gonflement finale: $\varepsilon_{f0} \approx 130\mu def$
- Comportement isotrope:

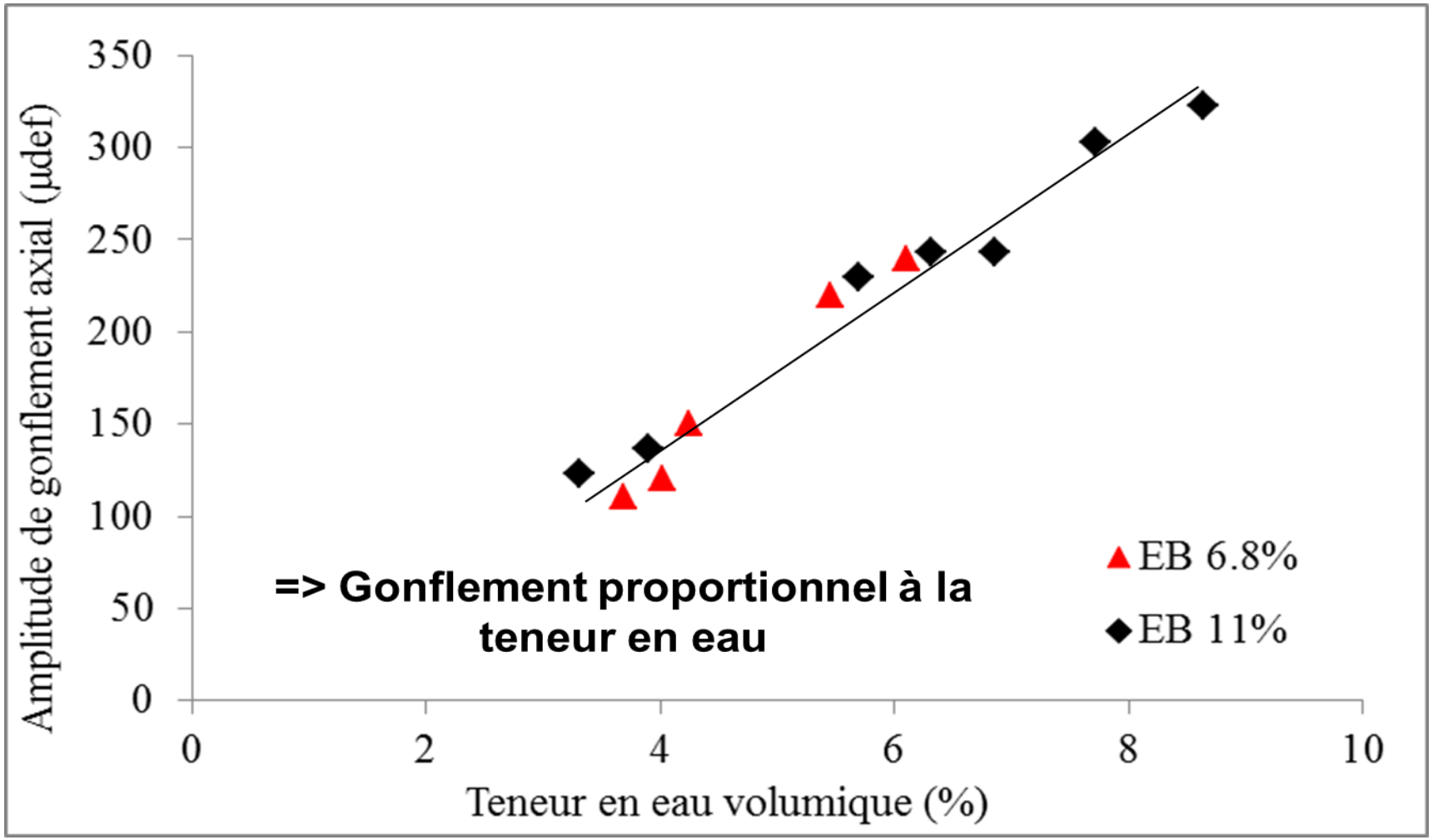
$$\varepsilon_{f0}^{v} = \varepsilon_{f0}^{h}$$



$\varepsilon_{f0} \approx 130\mu def$

Effet franc de gonflement

Relation : teneur en eau – Gonflement final



► Essai de retrait empêché (TSRST)

Protocole expérimental

- Norme: NF EN 12697-46
- Longueur gardée inchangée par asservissement sur des jauges de déformation (corrigée)
- Refroidissement -10°C/h
- Conditions hydriques:
  - 3 Eprouvettes sèches
  - 6 Eprouvettes saturées

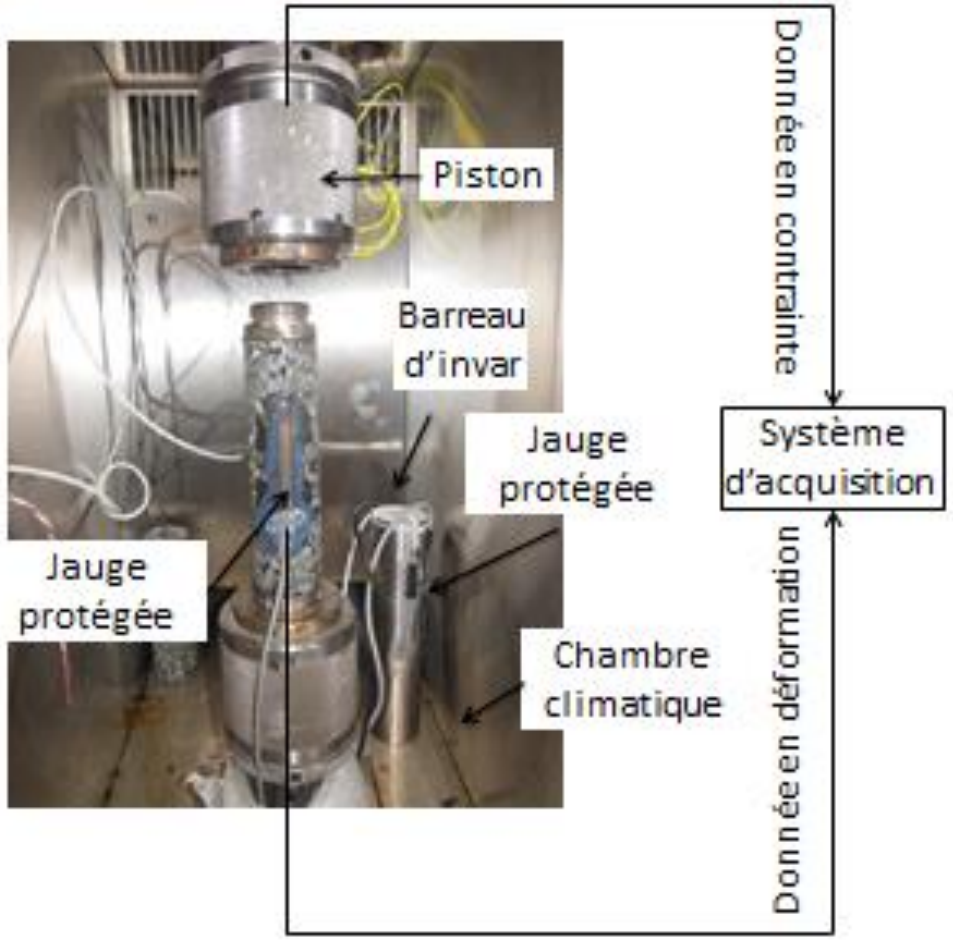


Schéma d'installation

► Evolution des contraintes jusqu'à rupture de l'EB saturé

- $\theta > -3°C$: similaire à EB sec
- $\theta\ de\ -3°C$ à $-10°C$: effet de gonflement

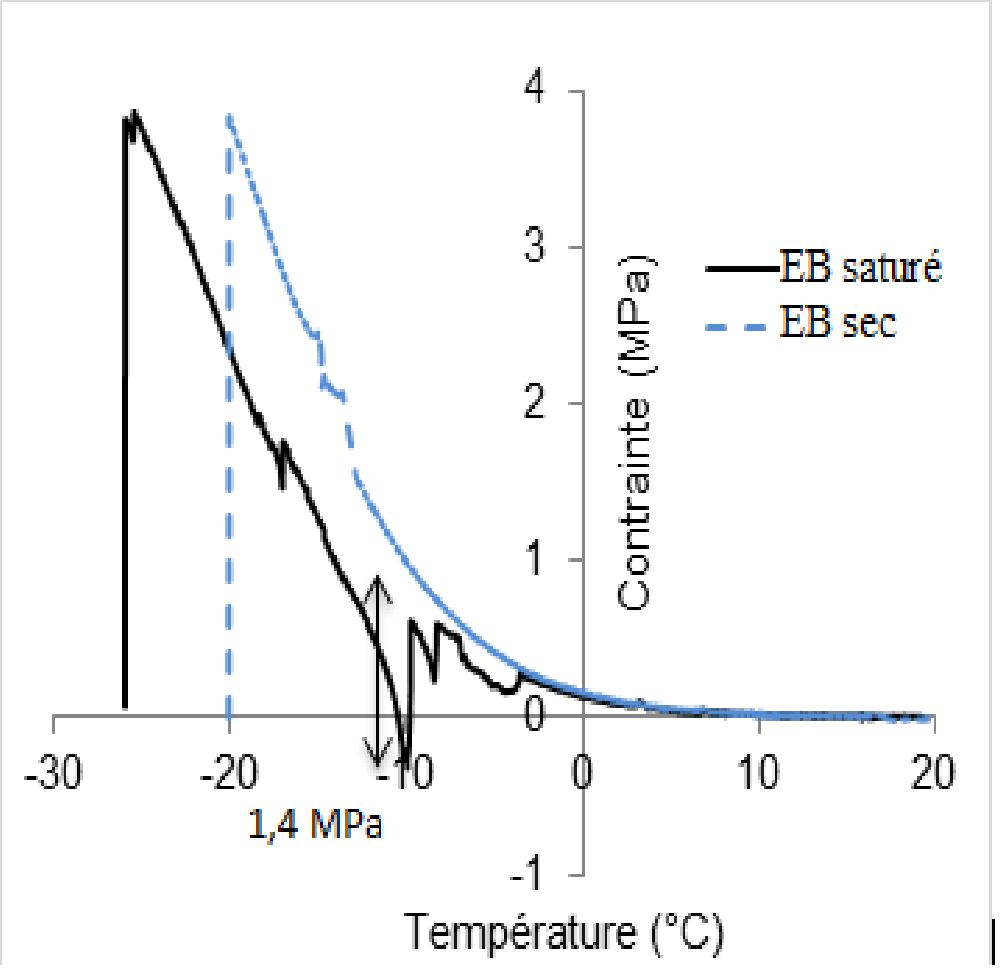
→ **Diminution de contrainte :**

$\Delta\sigma = 1{,}4\ MPa \leftrightarrow\ \ \varepsilon_{f0} = 150\ \mu def$

$Nota$: $\Delta\sigma \approx E_{apparent}\ \times \varepsilon_{f0}$

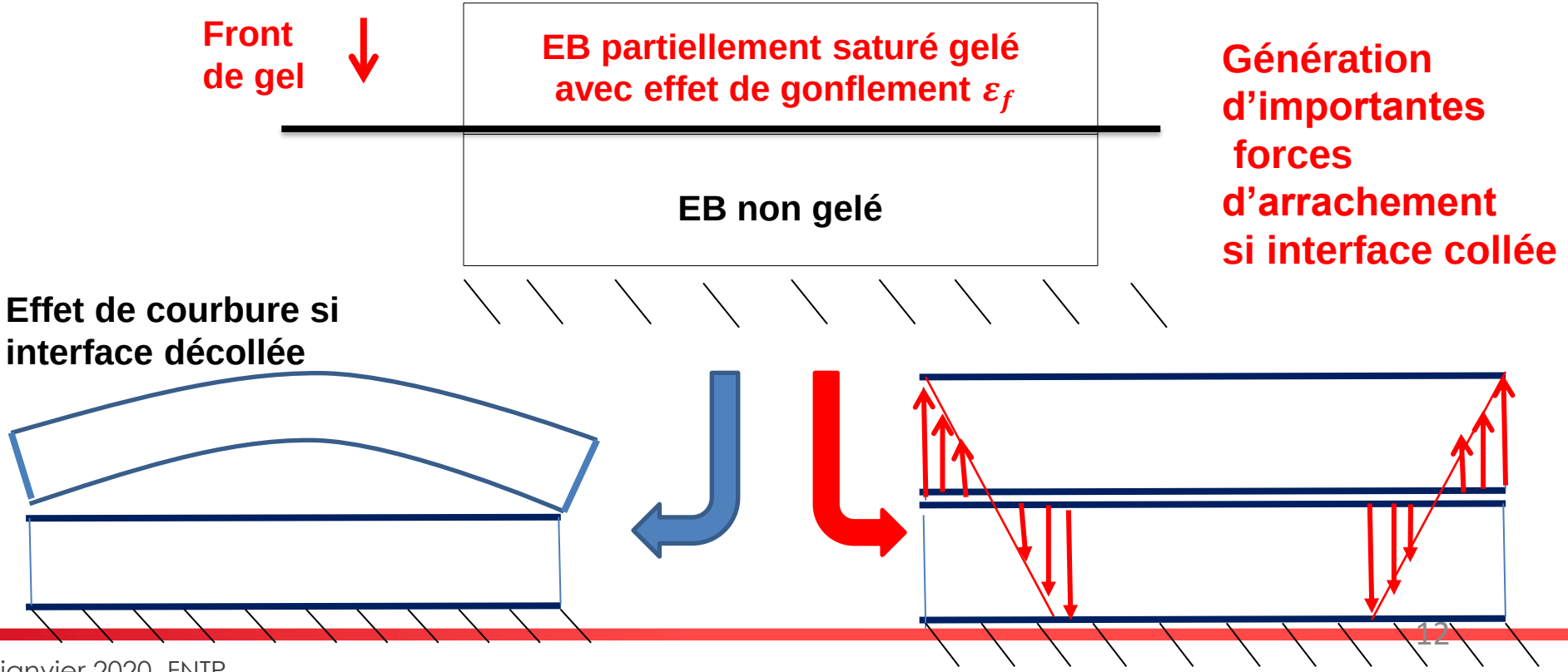
avec $E_{apparent}$ *= 9300MPa*

- Après le gonflement : évolution parallèle à EB sec
- Rupture:
  - $\sigma_{sec} \approx \sigma_{sat} \approx$ 4MPa
  - $\theta_{sat} < \theta_{sec}$ **Favorable?**

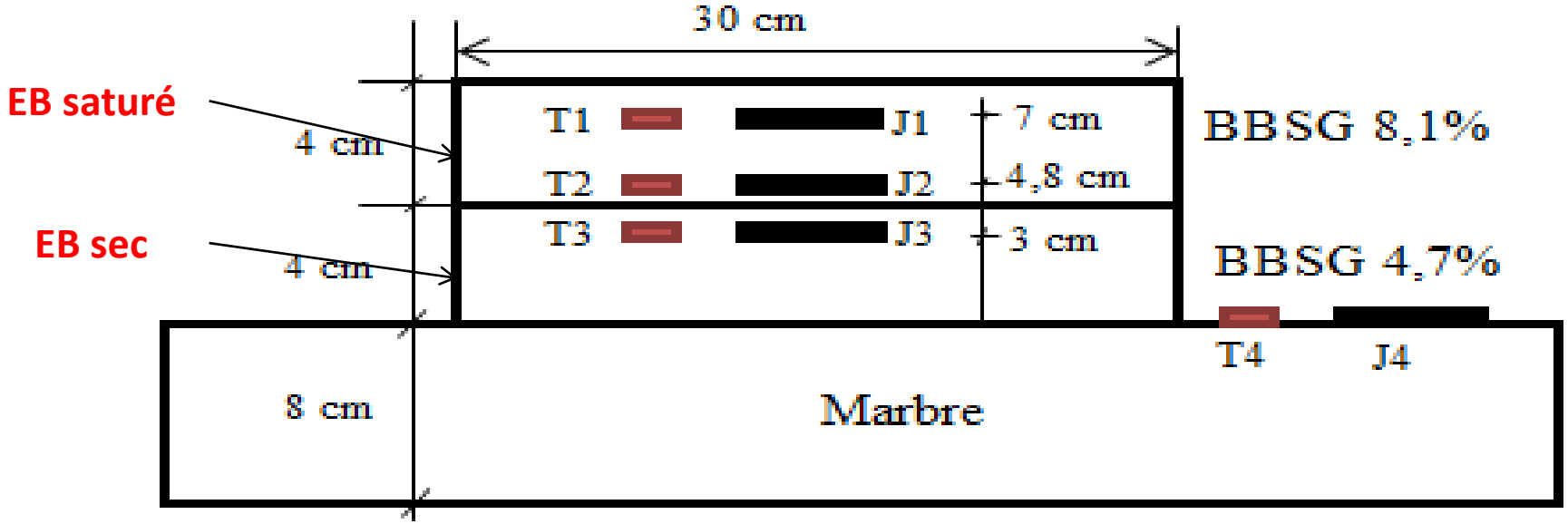


Conséquence d'un front de gel dans une chaussée

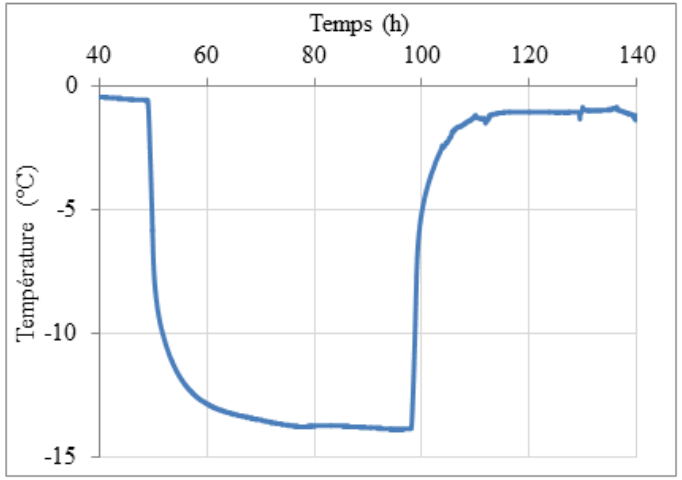
- Gel sur EB saturé → effet de "dilatation isotrope" (> 100 µdef) se produisant brutalement au niveau du front liquide/glace en présence de matériaux froids, donc rigides et peu ductiles (EB, interfaces)
- Dilatations différentielles horizontales entre couches situées de part et d'autre du front de gel, pouvant endommager les interfaces



Essai de gel sur plaque bicouche collée à sa base



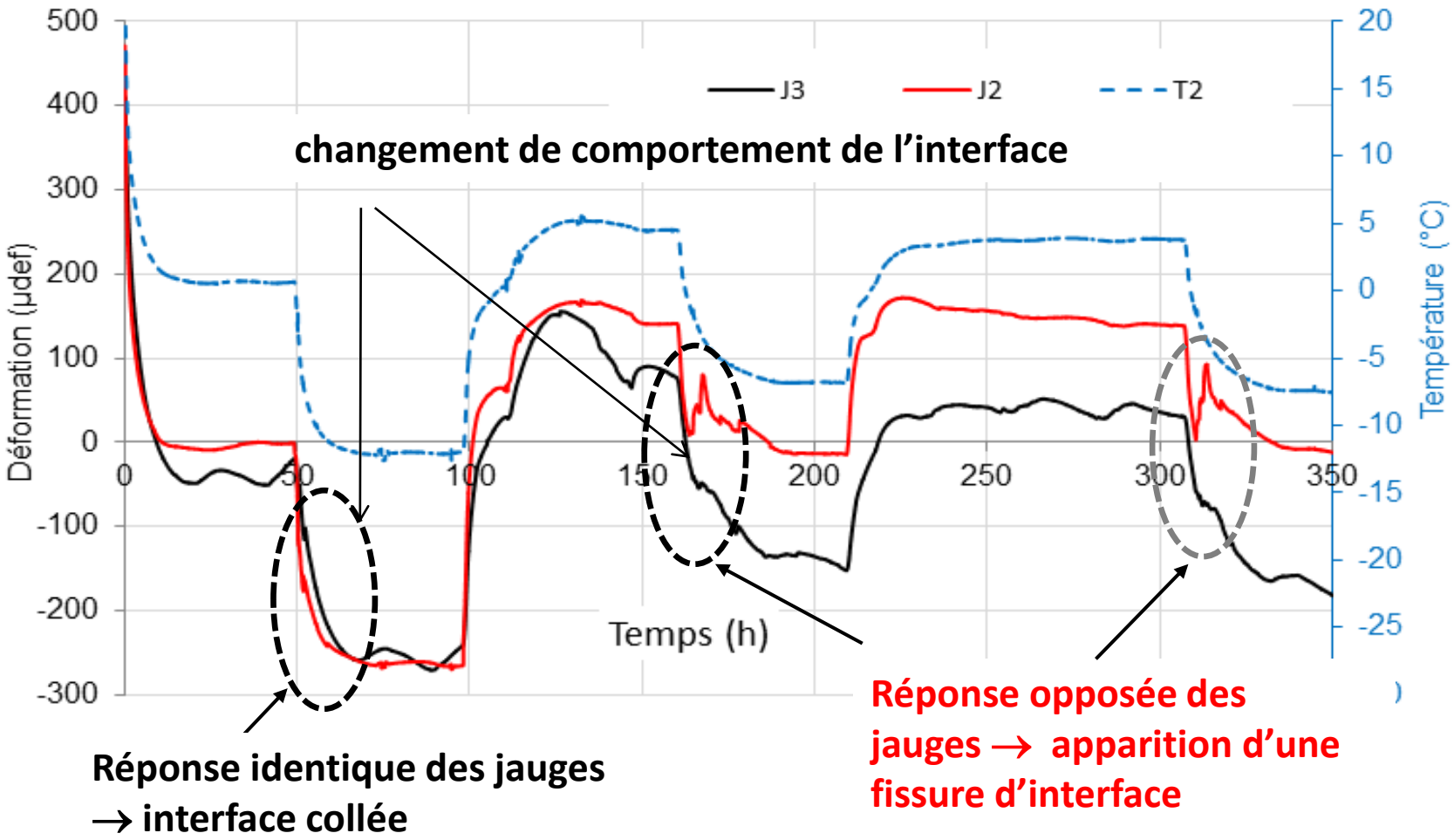
Conditions de l'essai



CONSÉQUENCE D'UN FRONT DE GEL DANS UNE CHAUSSÉE

Essai sur bicouche: mise en évidence d'une rupture d'interface suite au premier cycle de gel

Déformation enrobé Saturé **J2**
Déformation enrobé Sec **J3**



CONCLUSION

- Quelques pistes pour réduire l'impact du gel sur les chaussées bitumineuses
  - Limiter la porosité des EB (< 5 %) pour limiter les risques de gonflement
  - 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)
  - Tester les techniques d'interface en lien avec les conditions hivernales - essai bicouche
  - Effet du salage ?

  chocs thermiques, abaissement de la température de gel

► Collaboration en cours avec l'Université Laval (Québec) et le ministère des transports du Québec

- Essai en vraie grandeur sous traffic accéléré sur une structure bi-couche, afin de confirmer le phénomène de décollement de l'interface sous l'effet du gel
- Saturation en eau de la couche supérieure, puis application du gel par la surface – simulation d'un traffic PL
- Structure instrumentée (jauges de déformations à plusieurs niveaux, sondes de température)
- Démarrage de l'essai en mars 2020

Merci de votre attention

Pierre Hornych
Université Gustave Eiffel
Campus de Nantes
Pierre.hornych@ifsttar.fr