

L'exploitation
et la maintenance
des infrastructures



Etude de l'endommagement des enrobés bitumineux soumis à des cycles de gel-dégel

TRAN Duc Thang, SAUZEAT Cédric, DI BENEDETTO Hervé
Uni. Lyon / ENTPE / LTDS

POUTEAU Bertrand
Eurovia



ENTPE
L'école de l'aménagement durable des territoires

LTDS



AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE
ANR


MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

Liberté
Égalité
Fraternité

Restitution publique des résultats
7 novembre 2023, ENTPE, Vaulx-en-Velin

Introduction – Contexte

Matériaux

Conditionnement des éprouvettes

Essais thermomécaniques

Résultats

Conclusion



Contexte de l'étude



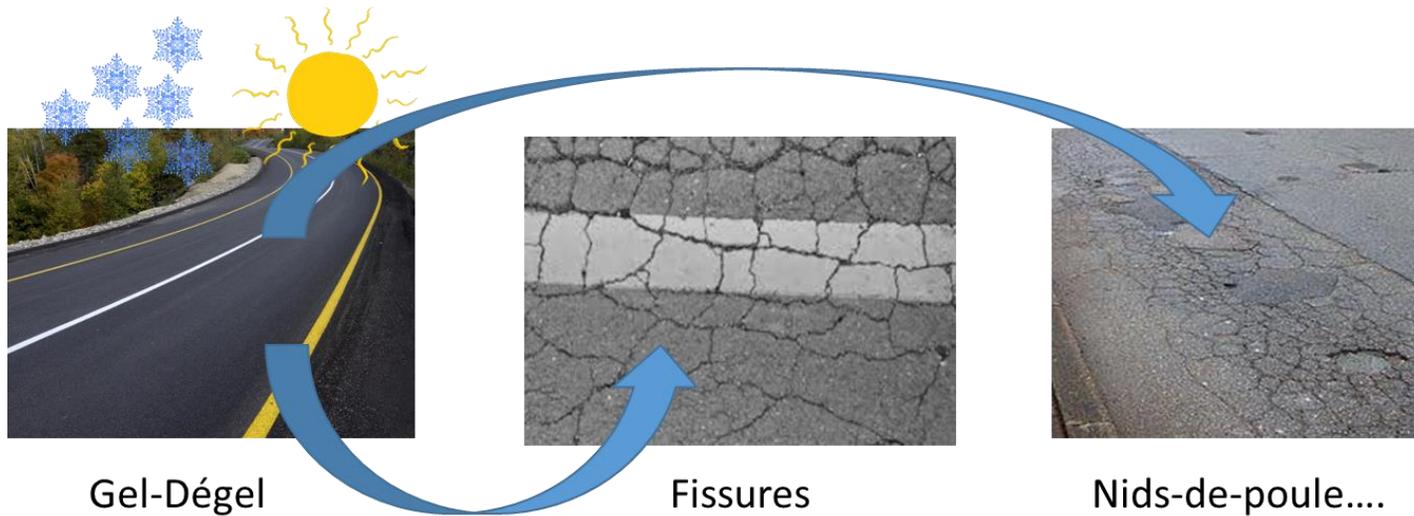
1. Mécanismes de dégradations des chaussées

1.5 Dégradations hivernales

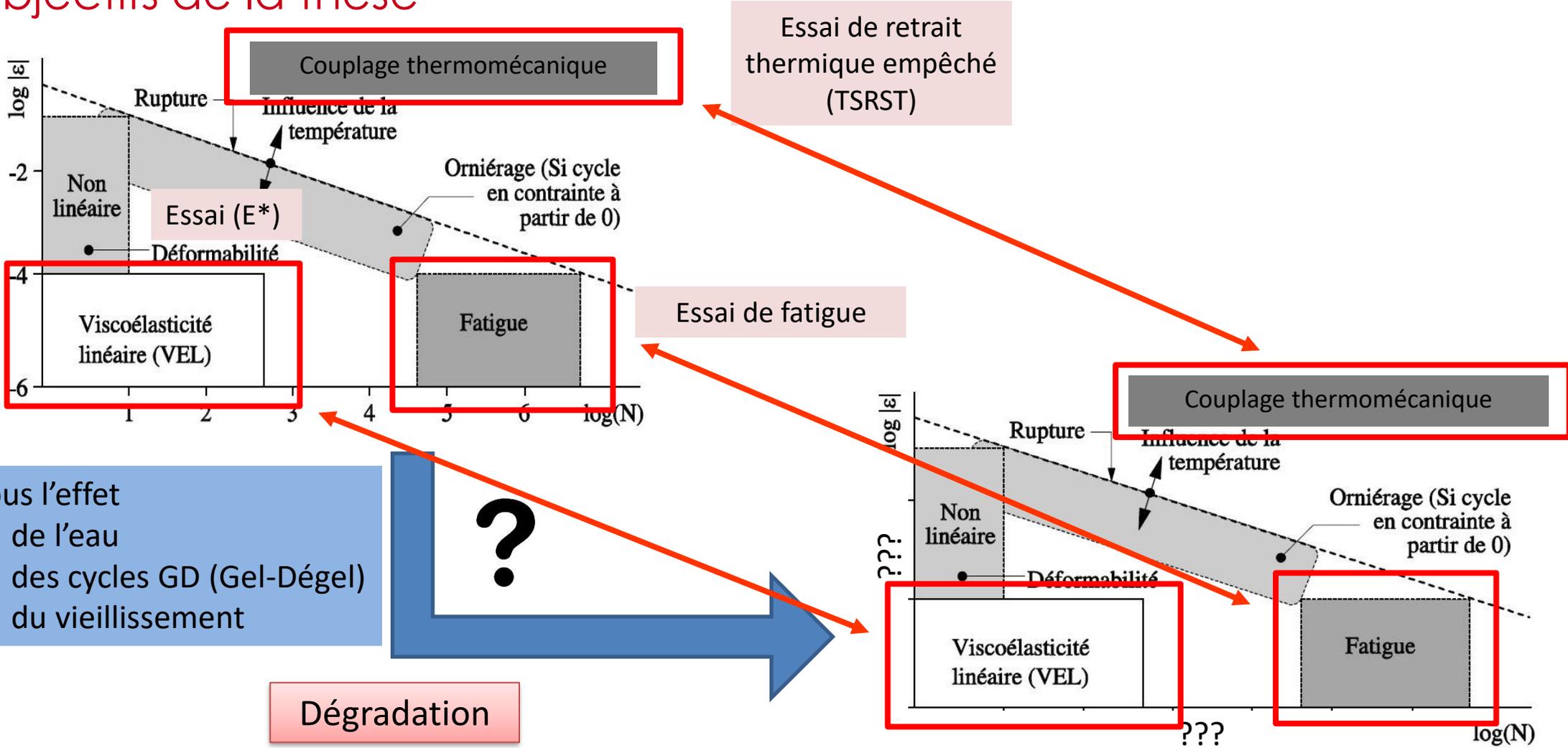
Thèse de Duc Thang TRAN



« Etude de l'impact des cycles gel-dégel sur le comportement des enrobés bitumineux »



Objectifs de la thèse



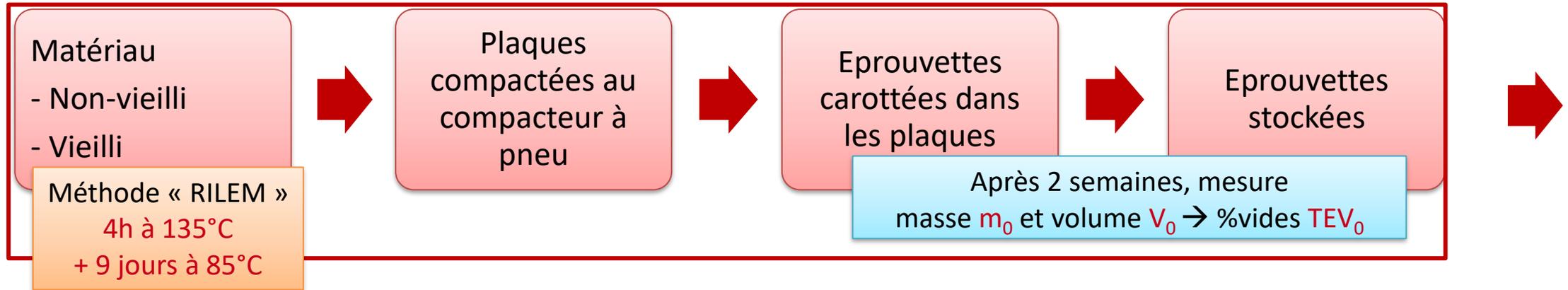
- Sous l'effet
- de l'eau
 - des cycles GD (Gel-Dégel)
 - du vieillissement

Dégradation



Matériau : BBSG 0/10mm (classe 2), bitume 50/70, %vides visé 8%

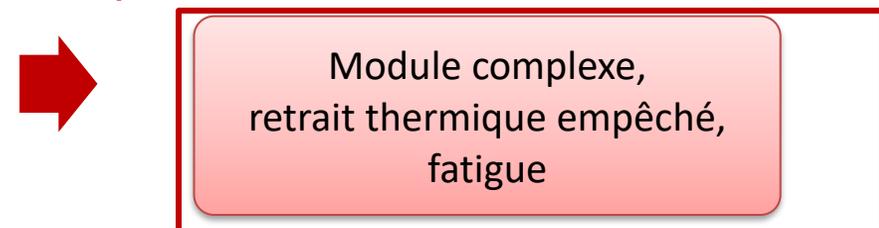
Etape 1 : Fabrication des éprouvettes



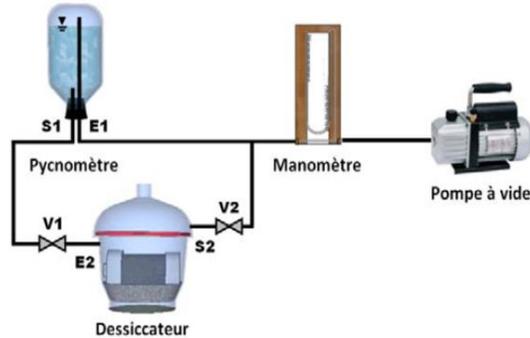
Etape 2 : Conditionnement



Etape 3 : Essais thermomécaniques



Saturation sous vide



Eprouvette dans sac avec 10cl d'eau

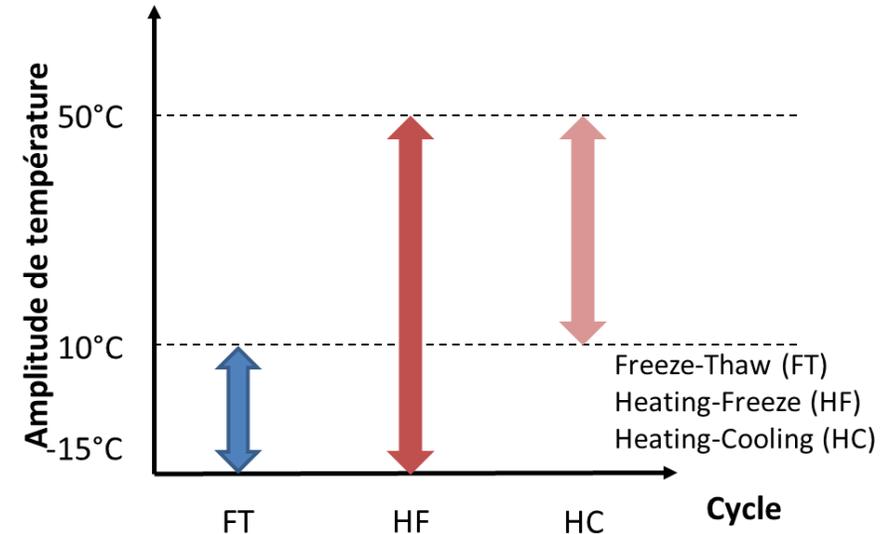
Cycles de gel-dégel (12h)

Nombre : 10 ou 50

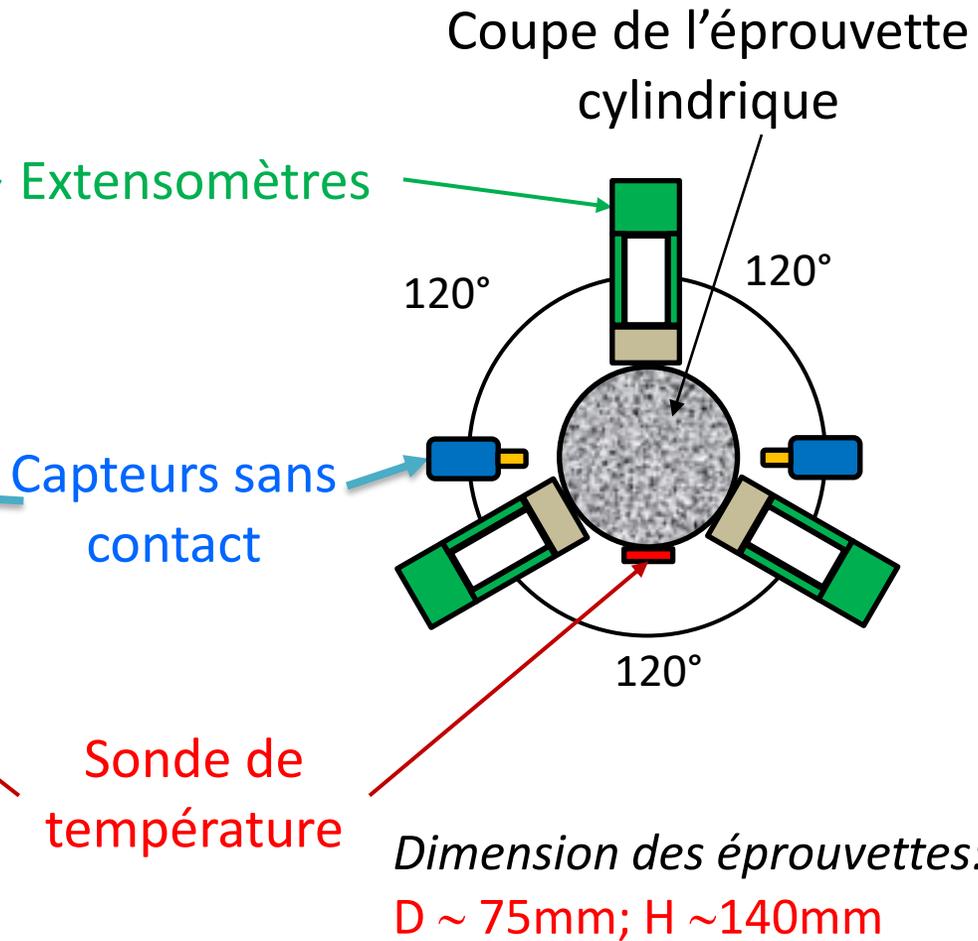
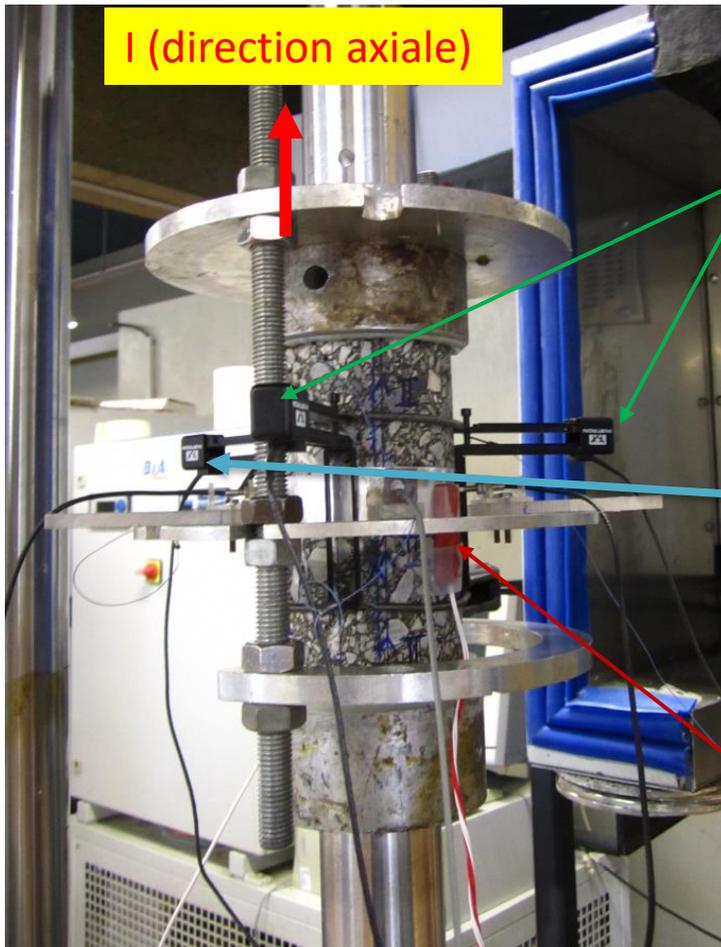
Amplitude : cycles **FT** de -15°C à 10°C

cycles **HF** de -15°C à 50°C

cycles **HC** de 10°C à 50°C



Essai de module complexe : dispositif de l'essai

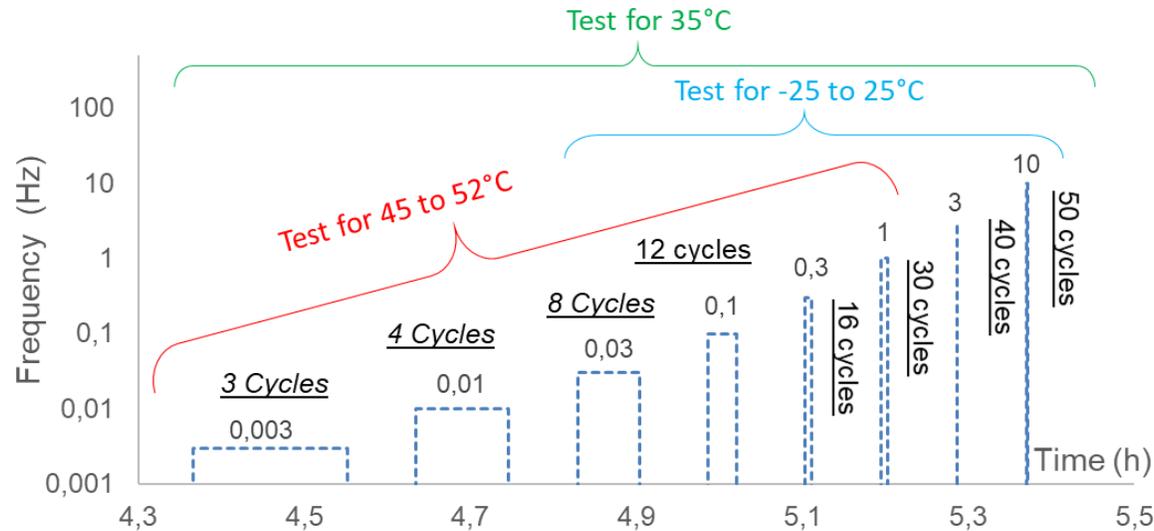
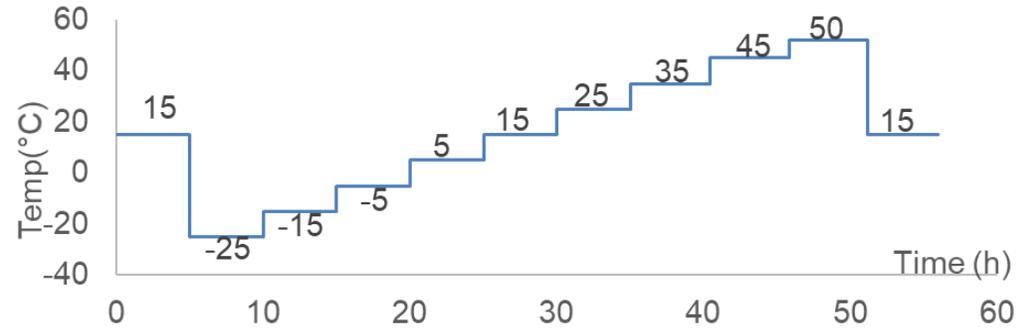


Essai de module complexe : sollicitations

Cycles en déformation:

amplitude $\epsilon_0 \sim 50 \cdot 10^{-6}$

Balayage en température →

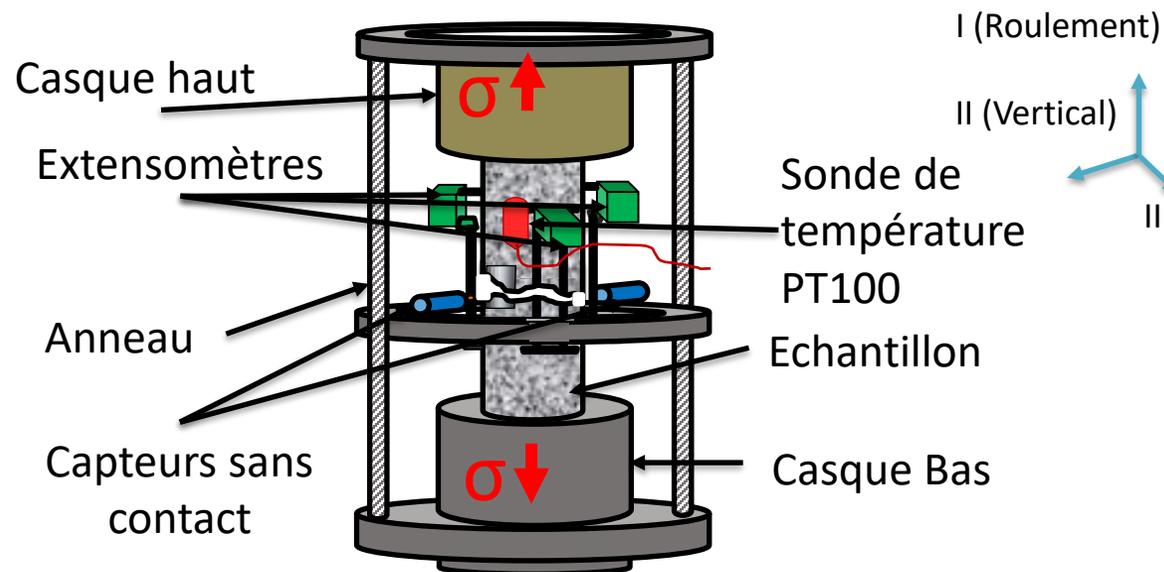


← Balayage en fréquence (adapté selon la T°C)



Essai de retrait thermique empêché (TSRST)

- Même dispositif que l'essai E*, nu*
- Conditions:
 - Epreuve : $D \sim 60\text{mm}$; $H \sim 225\text{mm}$
 - Température de début d'essai: 20°C
 - Taux de variation thermique: -10°C/h



2 campagnes expérimentales

Campagne avec cycles de gel-dégel

Influence de la saturation et des cycles de gel dégel (FT) sur les propriétés thermomécaniques

→ Evolution des éprouvettes (teneur en vide, saturation, déformation volumique) lors des phases de saturation/désaturation et des cycles de FT

Campagne avec cycles chaud-froid (FT – HC)

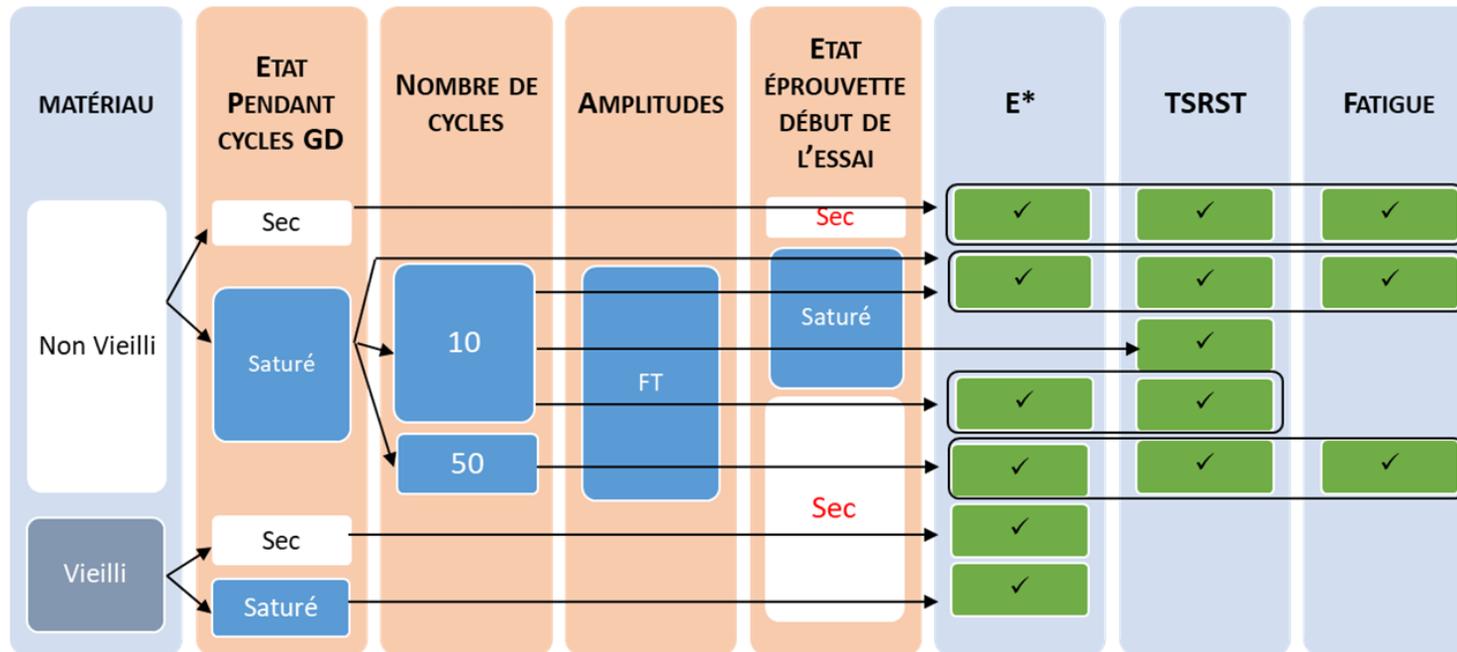
Influence de l'endommagement à hautes températures / cycles gel-dégel

→ Inspirée procédures d'essais de sensibilité à l'eau (AASHTO T283, NF EN 12697-12)

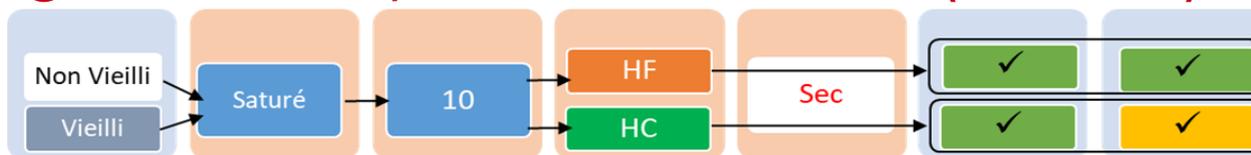


2 campagnes expérimentales

Campagne avec cycles de gel-dégel



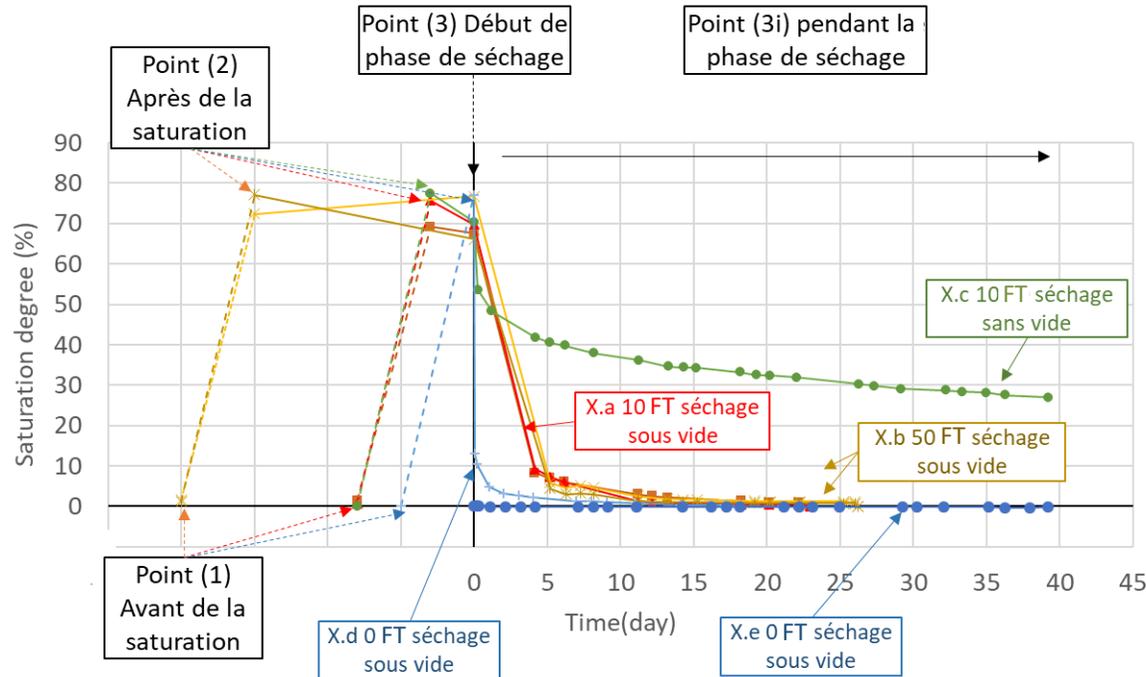
Campagne avec cycles chaud-froid (FT – HC)



Freeze – Thaw (FT): -15°C↔10°C
 Heating - Freeze (HF): -15°C↔ 50°C
 Heating - Cooling (HC): 10°C↔50°C



Suivi de l'évolution lors des phases de conditionnement: saturation



- Degré de saturation sous vide atteint : environ 70%
- Eprouvette complètement sèche après stockage de 6 mois (dans bureau)
- Séchage: sous vide → Après 7 jours, DS < 5%
 - Désaturation plus rapide sans cycles de gel-dégel (0FT)
 - sans vide → Désaturation plus lente que sous vide



Suivi de l'évolution lors des phases de conditionnement

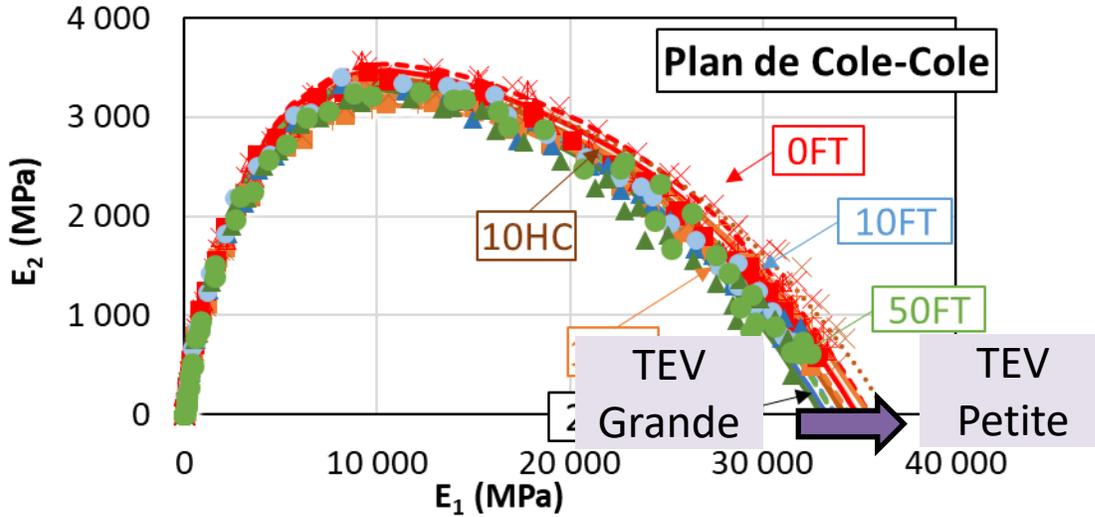
Conclusions:

- Niveau de saturation partielle atteint : environ 70%
- Séchage sous vide efficace: DS < 5% après 1 semaine
- Modification des éprouvettes liée au conditionnement appliqué:
Volume augmente, TEV augmente
 - en grande partie expliquée par l'effet des cycles GD
 - en partie expliquée par effet du vide lors du séchage
- ⇒ Important de corriger TEV₀ mesurée juste après carottage (~2%)
- Hypothèse éprouvette sèche après stockage : vérifiée

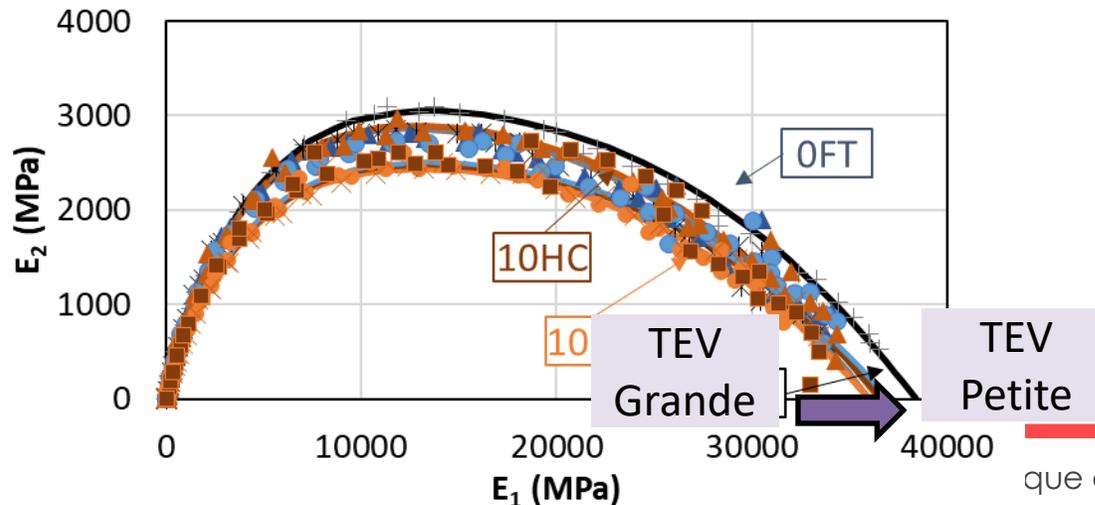


Module complexe E^*

Non-vieilli



Vieilli



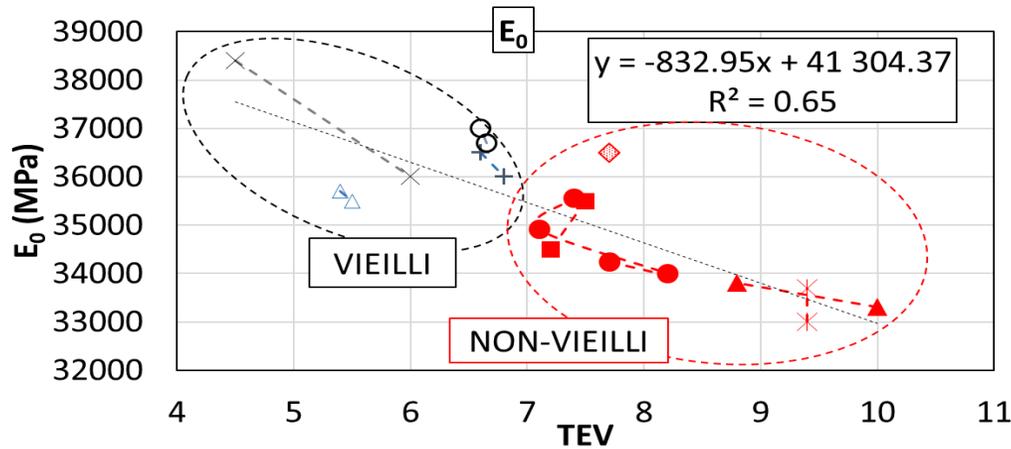
- Effet des cycles FT non significatif sur le matériau non-vieilli
- Effet des cycles HF et HC non significatif sur le matériau vieilli
- Modèle 2S2P1D décrit correctement les résultats expérimentaux
- E_0 diminue quand TEV augmente

que des résultats

7 novembre 2023, ENTPE, Vaulx-en-Velin



Module complexe E*

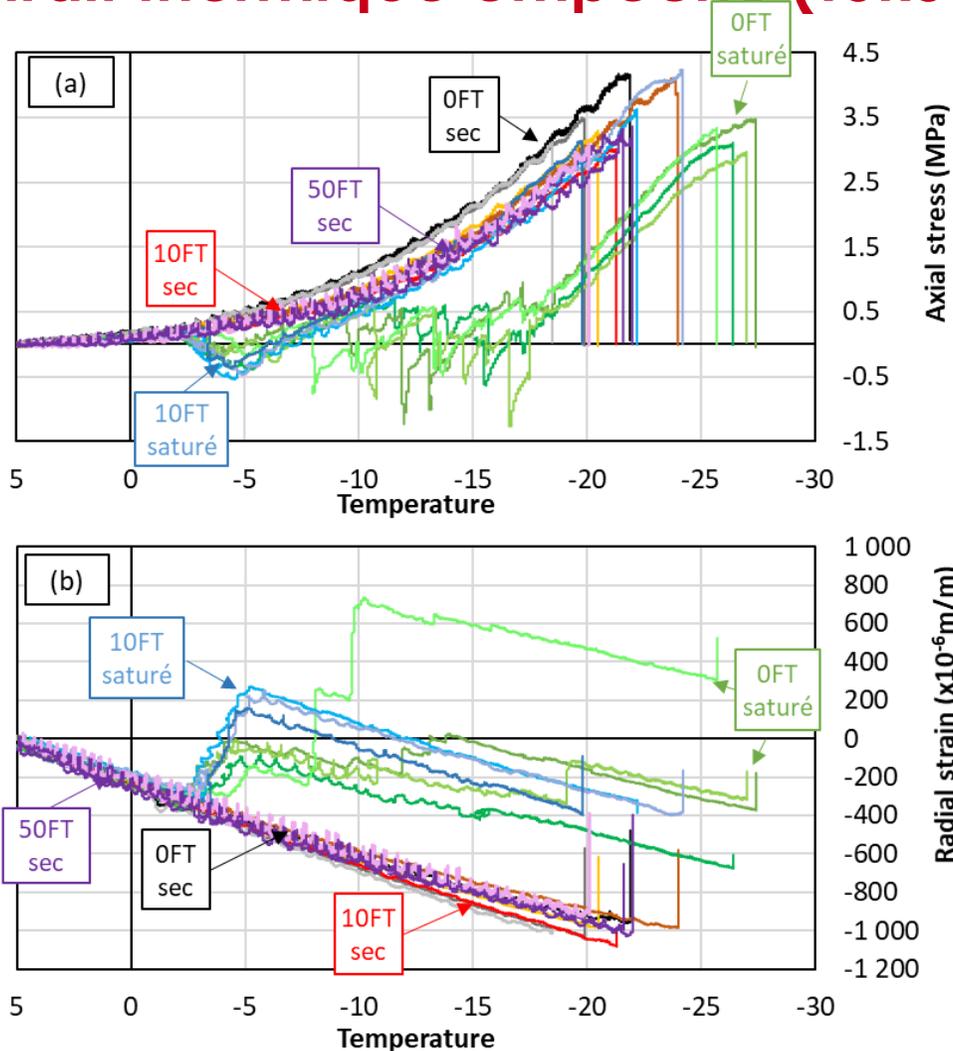


- E₀ diminue environ de **800MPa** pour une augmentation de TEV de 1%

- Effet des cycles FT non significatif sur le matériau non-vieilli
- Effet des cycles HF et HC non significatif sur le matériau vieilli
- Modèle 2S2P1D décrit correctement les résultats expérimentaux
- E₀ diminue quand TEV augmente



Retrait thermique empêché (TSRST)

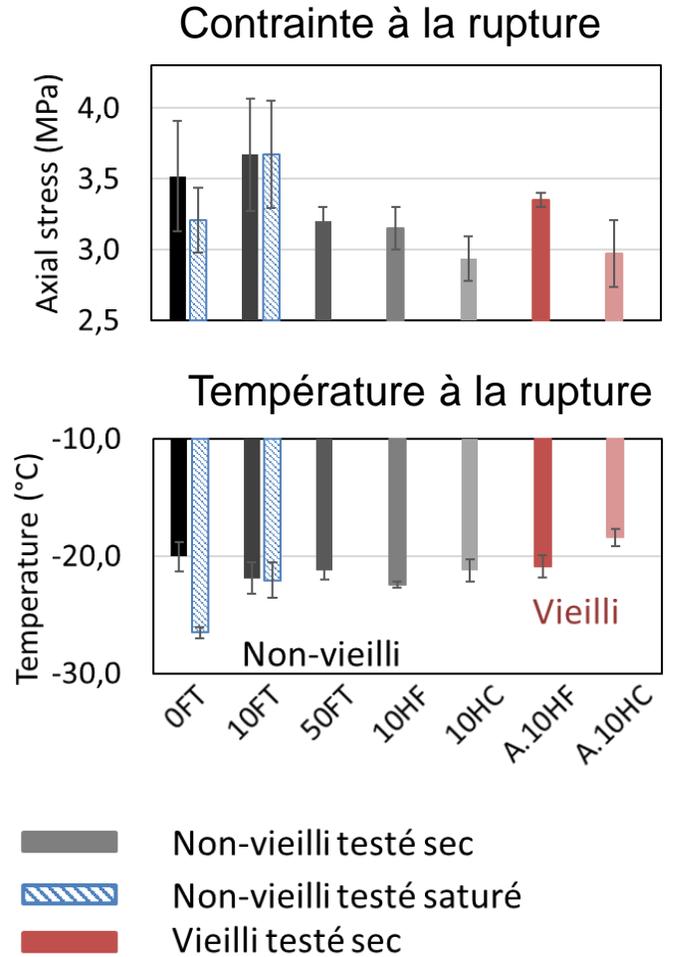
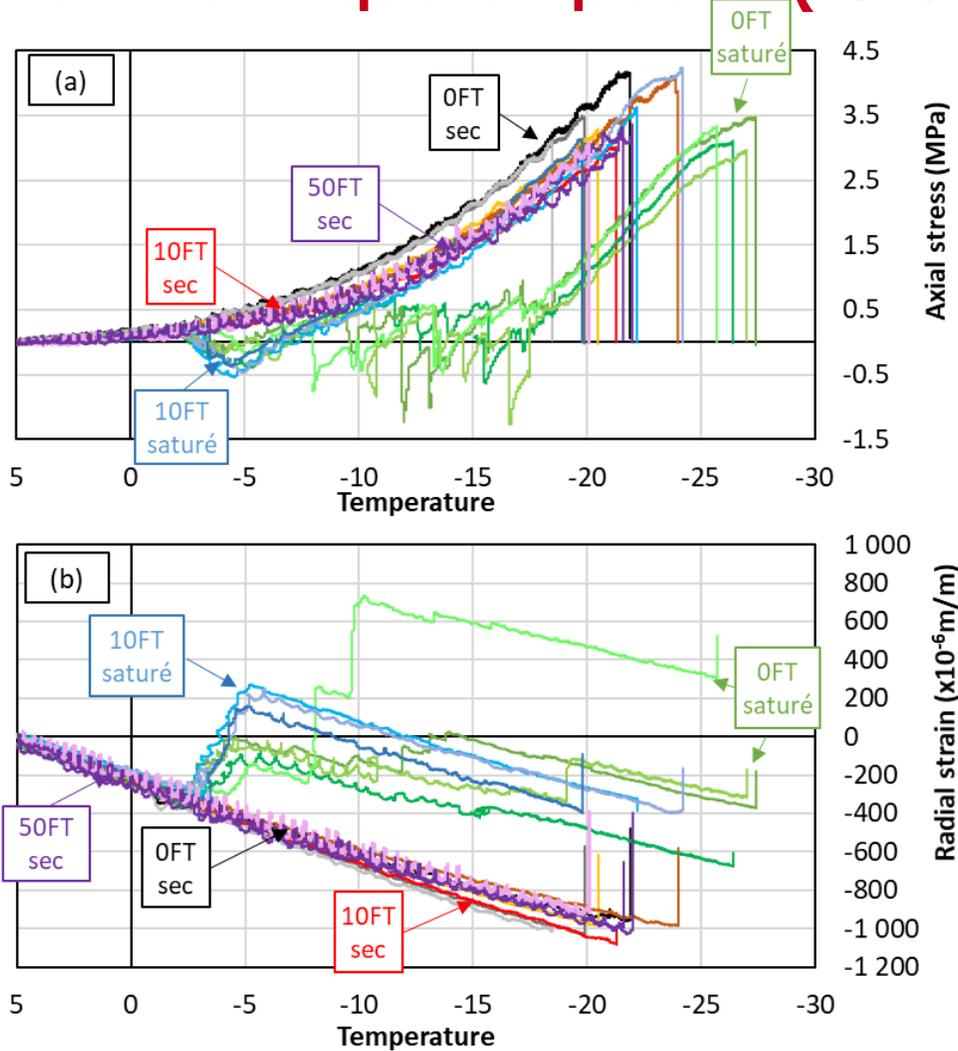


- Evolution similaire pour éprouvettes testées à l'état sec après les cycles de gel-dégel (FT)
- Pour éprouvettes humides, effet marqué du gel, différent
 - Pour les éprouvettes ayant déjà subies des cycles
 - Pour celles n'ayant pas subies de cycles (retard de la contrainte de traction)

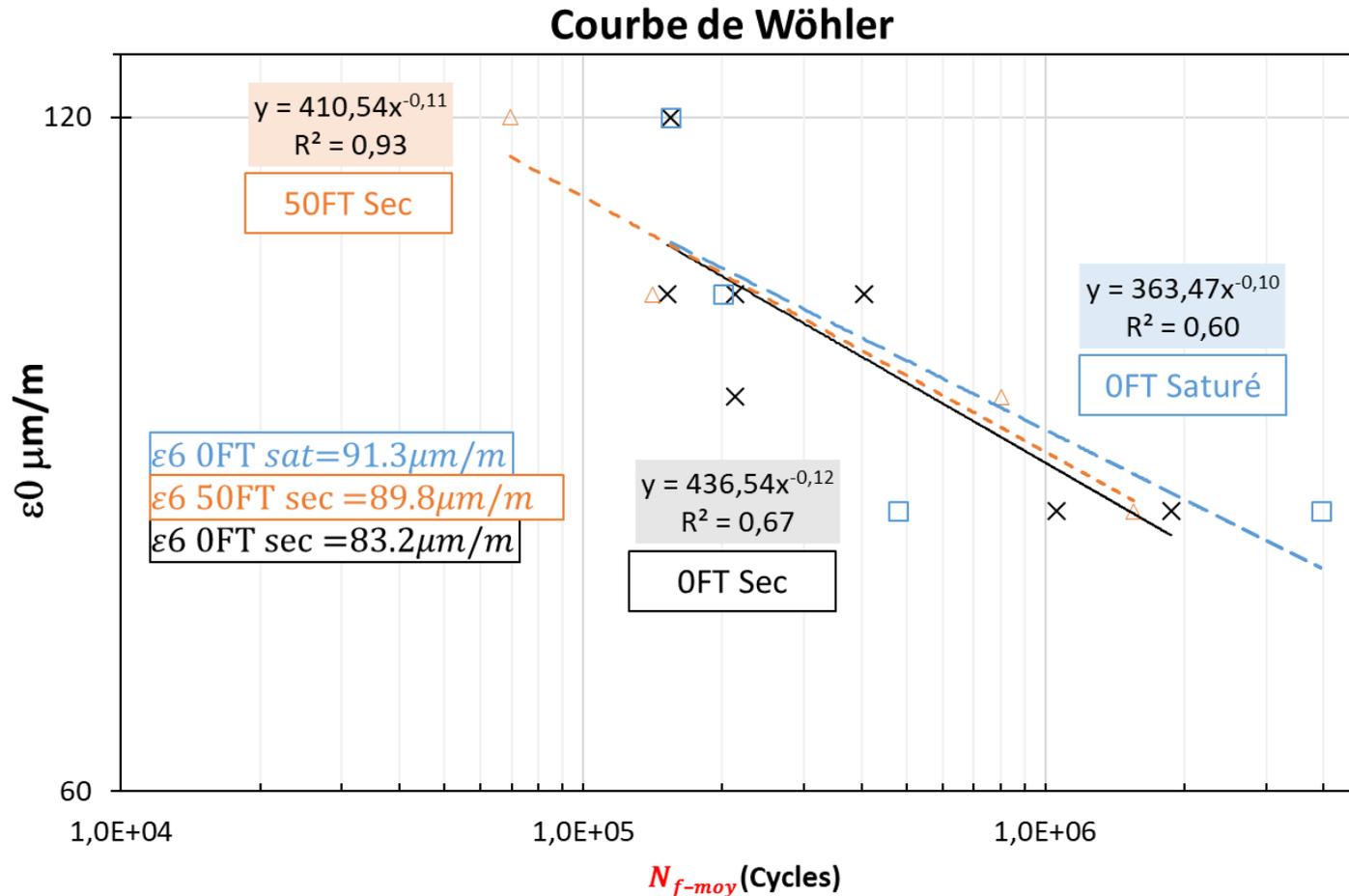


Retrait thermique empêché (TSRST)

➤ Performances



Fatigue



➤ Effets de la saturation et de 50 cycles GD négligeables



► Module complexe E^*

- Testé saturé sans cycle de gel-dégel:
 - Pas d'effet sur φ_{E^*} et $a_{T\varphi}$
 - Effet sur $|E^*|$ et a_{TE} pour températures $T < 0^\circ\text{C}$
 - $a_{TE} \neq a_{T\varphi}$ pour températures $T < 0^\circ\text{C}$
- Testé sec:
 - Pas d'effet significatif des cycles de gel- dégel ($N < 50$)
 - Effets significatifs des cycles HF et HC (non-vieilli)

► Essai de retrait thermique empêché

- Testé saturé : effet sur évolution σ - T , $T_{rupture}$ et $\sigma_{rupture}$
- Testé sec: pas d'effet significatif des cycles de gel-dégel, chaud

► Essai de fatigue

- Testé saturé ou sec :
 - pas d'effet significatif des cycles de gel-dégel ($N < 50$)
 - Pas d'effet de la saturation



► Rapports DVDC:

- TRAN, D. T., DI BENEDETTO, H. & SAUZÉAT, C., 2018. Étude bibliographique sur l'endommagement des enrobés bitumineux à l'eau et au gel. DVDC Rapport LC/17/DVDC/09.
- TRAN D.T., SAUZÉAT C., DI BENEDETTO H., « Endommagement des enrobés bitumineux à l'eau et au gel : Présentation de la campagne expérimentale et premiers résultats », DVDC rapport LC/18/DVDC/45, 2019
- TRAN D.T., SAUZÉAT C., DI BENEDETTO H., « Endommagement des enrobés bitumineux à l'eau et au gel : Présentation de la campagne expérimentale et premiers résultats », DVDC rapport LC/19/DVDC/80, 2019

► Rapport de thèse:

- TRAN D. T. 2020. Endommagement des enrobés bitumineux soumis à des cycles de gel/dégel. Thèse ENTPE. theses.hal.science/tel-03250064

► Articles

- TRAN, D. T., DI BENEDETTO, H. & SAUZÉAT, C., 2019. Endommagement des enrobés bitumineux à l'eau et au gel: Étude bibliographique. Revue générale des routes et de l'aménagement - RGRA , Issue 963.
- TRAN, D. T., DI BENEDETTO, H., SAUZÉAT, C., POUTEAU, B. 2020. Effects of water saturation and freeze-thaw cycles on fatigue behavior of bituminous mixtures. Int. conf. ISBM, Lyon , 2020. doi.org/10.1007/978-3-030-46455-4_85

