

Séminaire de restitution CCLEAR

Impact des conditions climatiques sur les infrastructures routières

EFFETS DE LA TEMPERATURE SUR LE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES

03 février 2015

Pierre Hornych
LAMES / IFSTTAR
pierre.hornych@ifsttar.fr

Objectifs

- Etude de l'influence de la température sur le comportement en fatigue des matériaux bitumineux
- Application au calcul de la température équivalente, en utilisant des mesures réelles sur chaussées
- Conséquences pour le dimensionnement des chaussées bitumineuses



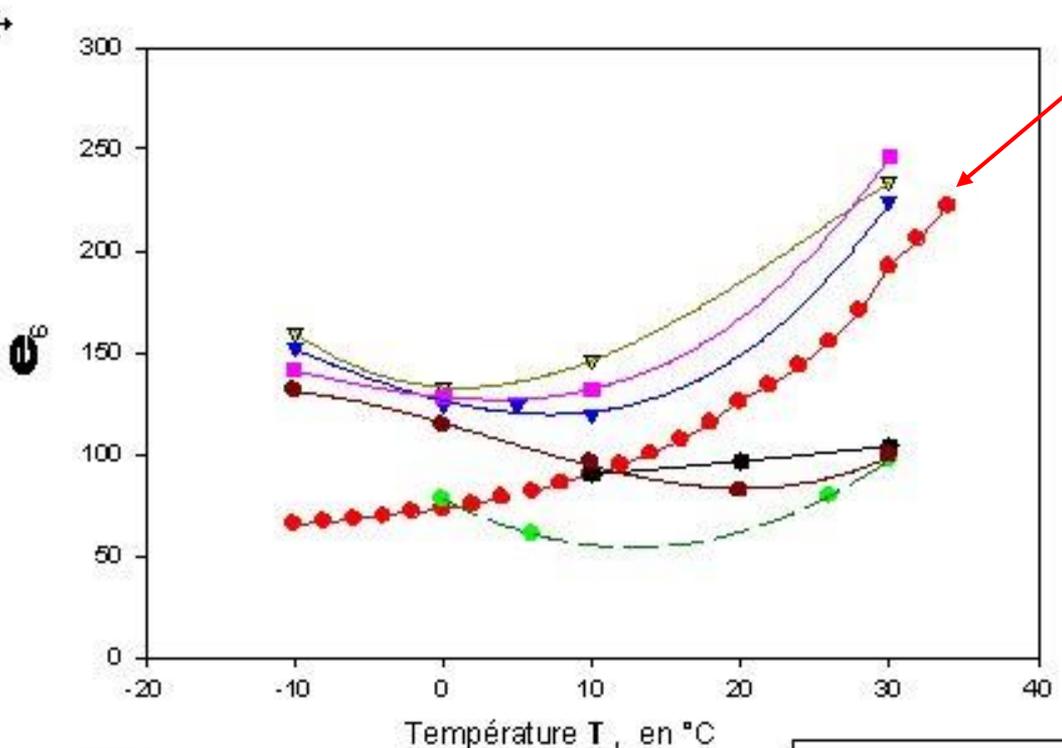
Etude de l'influence de la température sur le comportement en fatigue des enrobés

Variation de ε_6 avec la température

Synthèse bibliographique + essais IFSTTAR

Méthode de dimensionnement

$$\varepsilon_6(\theta) \cdot E(\theta)^{0,5} = \text{Constante}$$



Calcul de la température équivalente

θ_{eq} = température constante conduisant aux même dommage en fatigue que les variations de température réelles dans la chaussée

Dommage élémentaire pour une température θ_i : $d(\theta_i) = \frac{1}{N(\theta_i)}$

Calcul de la température équivalente θ_{eq} en utilisant la loi de Miner :

$$d(\theta_{eq}) = \frac{1}{N(\theta_{eq})} = \frac{1}{\sum_i n_i(\theta_i)} \left[\sum_i n_i(\theta_i) \left(\frac{\varepsilon_6(\theta_i)}{\varepsilon(\theta_i)} \right)^{1/b} \times 10^{-6} \right]$$

θ_{eq} dépend :

De la **structure de chaussée**, des **températures** dans la chaussée

Des valeurs de **module E** et de **résistance en fatigue (ε_6)** des matériaux, et de leur variation avec la température

Démarche pour les calculs de température équivalente

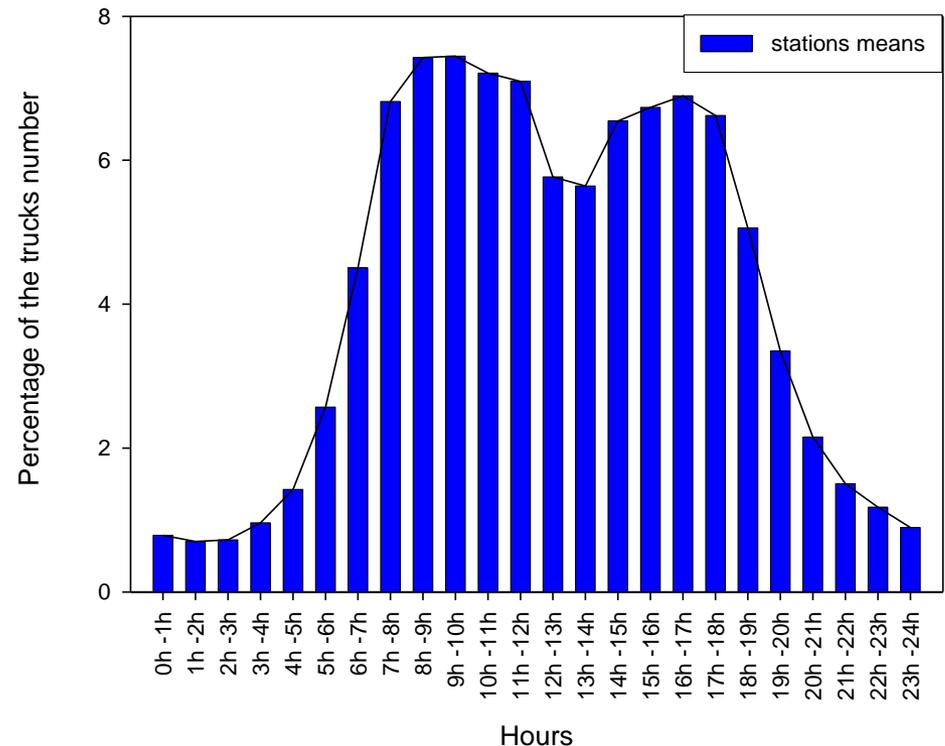
- Utilisation de mesures en continu de températures sur 3 sites :

Charente – chaussée à faible trafic

Vosges – chaussée bitumineuse

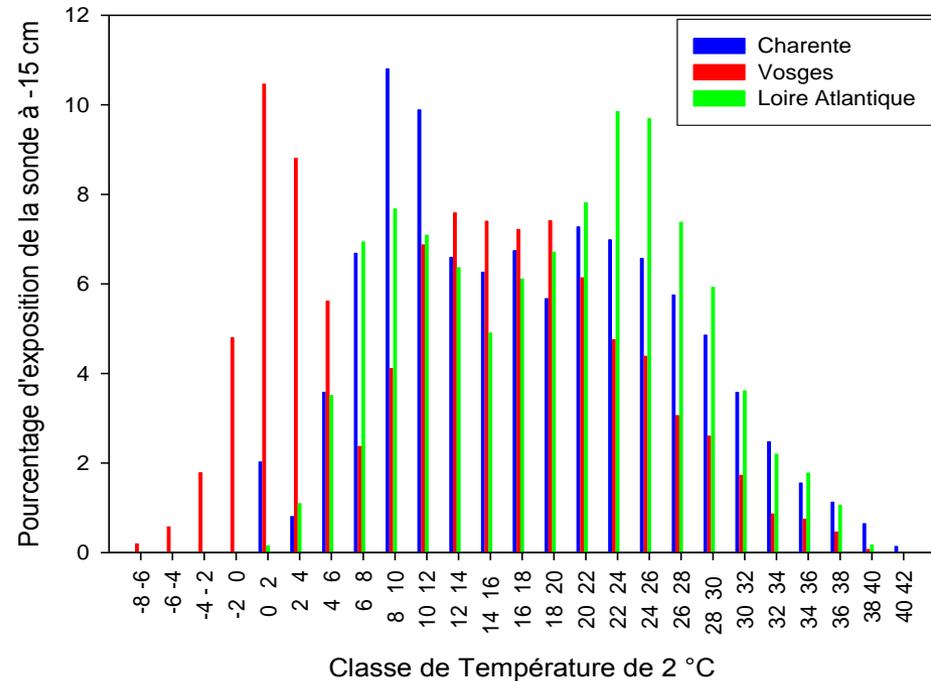
Loire Atlantique – chaussée bitumineuse

- Définition d'une répartition horaire type du trafic, à partir de données provenant de stations de pesage en marche



Démarche pour les calculs de température équivalente

- Calcul des histogrammes de répartition du trafic par intervalle de température, pour les 3 sites, sur 1an

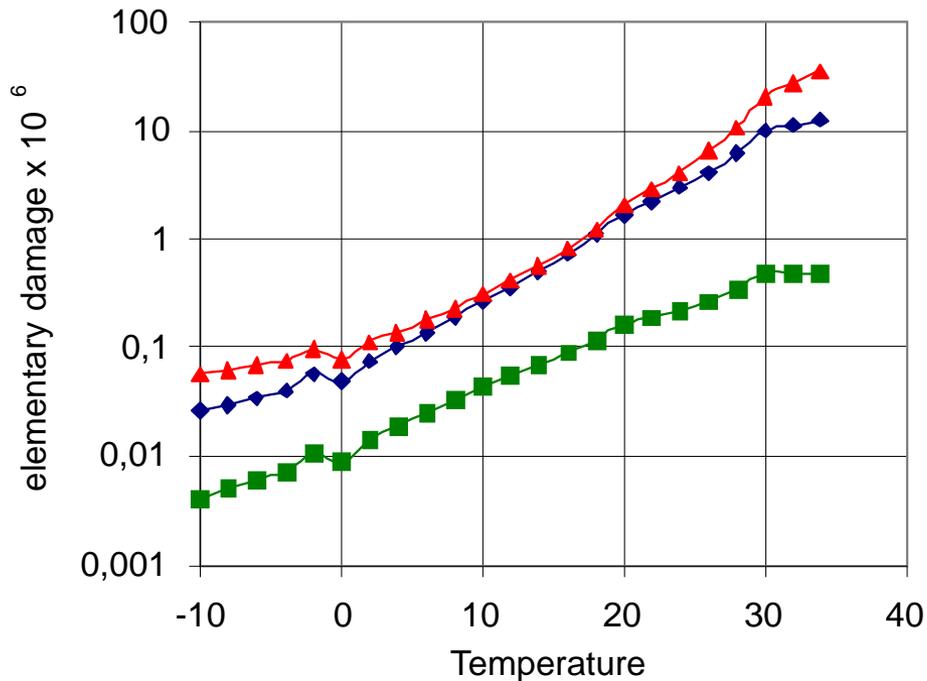


Calcul incrémental du cumul de dommages avec ALIZE, sur un an :

- calcul des déformations dans la structure, par pas de 1h, avec les variations réelles de température.
- calcul du dommage, par pas de 1h avec des valeurs de ε_6 fonction de la température.
- calcul du dommage cumulé – détermination de θ_{eq} .

Exemples d'évolution du dommage avec la température

- Structure de chaussée de référence : 8 cm BB, 16 cm GB, sol PF3



lois d'évolution de ϵ_6

◆ $\epsilon_6(\theta) \cdot E(\theta)^{0,5} = \text{constante}$

■ BBSG 0/14 bitume 20/30
(Moutier, 1991)

▲ GB 0/14 bitume 60/70
(dela Roche, 1997)

Augmentation du dommage élémentaire avec la température
Est-ce réaliste ?

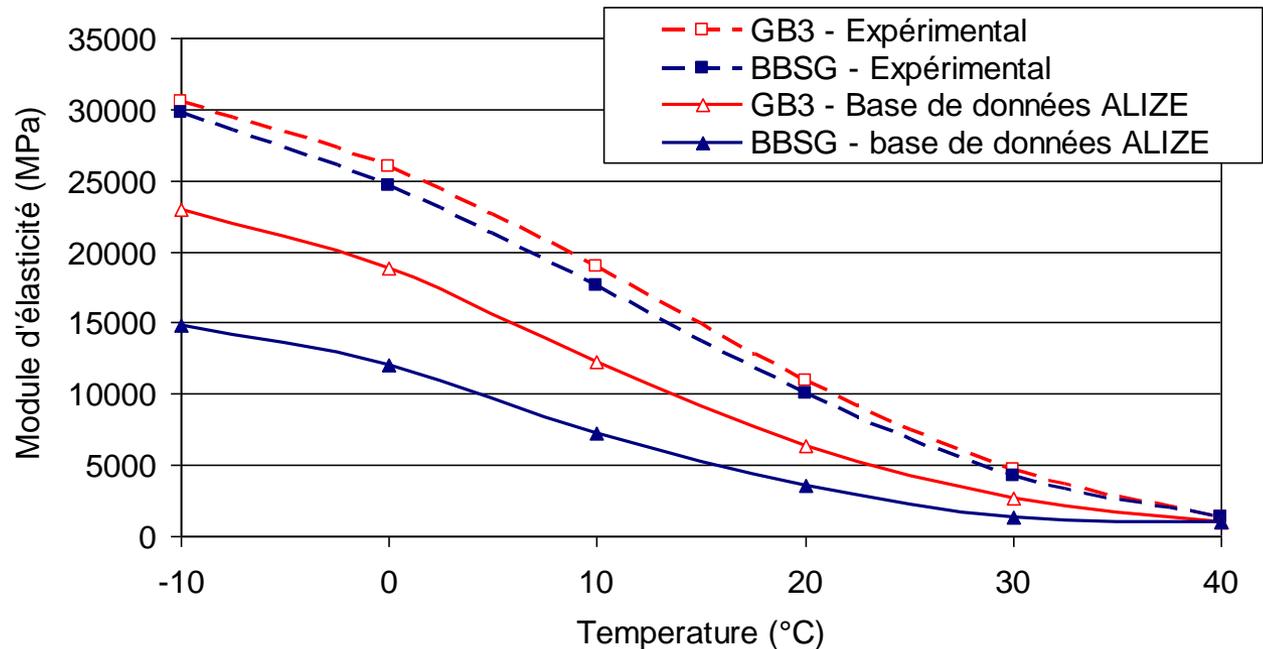
Valeurs de température équivalente pour différentes lois d'évolution de ε_6 avec la température

Loi de ε_6	Site		
	Charente	Vosges	Loire-Atlantique
$\varepsilon_6(\theta) \cdot E(\theta)^{0,5} = \text{Constante}$	19,7°C	17,7°C	19,9°C
GB 0/14 b 50/70	18,3°C	20,1°C	18,7°C
GB 0/14 b 60/70	26,1°C	21,4°C	24,2°C
BBSG 0/14 b 20/30	18,4°C	18,6°C	19,3°C
BBSG 0/14 b 60/70	19,3°C	17,8°C	19,5°C
BBSG 0/14 b 80/100	19,7°C	17,4°C	19,8°C

Valeurs de θ_{eq} supérieures à 15 °C, et écarts allant jusqu'à 9°C suivant le site et la loi de fatigue du matériau bitumineux

Influence de la loi de variation du module avec la température sur la température équivalente

Lois d'évolution du module d'élasticité des enrobés avec la température à 10 Hz



	Site		
Loi E(θ)	Charente	Vosges	Loire-Atlantique
Base de données ALIZE	20,5 °C	17,7 °C	21,1 °C
Expérience	23,3 °C	20,5 °C	25,2 °C

Influence de la température équivalente sur la durée de vie des chaussées

-Structure de chaussée de référence (catalogue 1998) :
8 cm BB, 16 cm GB, sol PF3 – trafic TC3₂₀

	θ_{eq}	15°C	18°C	21°C	24°C
	ε_t calculé (μ_{def})	85	100	119	138
ε_6 (μ_{def})	$\varepsilon_6(\theta).E(\theta)^{0,5}=\text{Const.}$	104,4	115,8	129,7	146,4
	GB 0/14 b 60/70	93,1	95,1	97,2	99,4
	BBSG 0/14 b 20/30	100,5	108,2	116,7	125,8
Durée de vie (années)	$\varepsilon_6(\theta).E(\theta)^{0,5}=\text{Const.}$	20,2	15,3	11,5	9,0
	GB 0/14 b 60/70	11,9	5,9	2,7	1,5
	BBSG 0/14 b 20/30	17,4	11,2	6,8	4,7

Diminution de la durée de vie en fatigue lorsque θ_{eq} augmente

Conclusions

- Les paramètres de fatigue des enrobés bitumineux dépendent fortement de la température
- L'hypothèse du guide de dimensionnement $\varepsilon_6(\theta)$. $E(\theta)^{0,5} = \text{Constante}$ ne semble pas très réaliste
- Valeurs de θ_{eq} obtenues pour les 3 chaussées : 17°C à 26 °C
- Les valeurs de θ_{eq} dépendent fortement des paramètres des matériaux $E(\theta)$ et $\varepsilon_6(\theta)$
- **La méthode de calcul indique une diminution de la durée de vie en fatigue des chaussées lorsque θ_{eq} augmente**

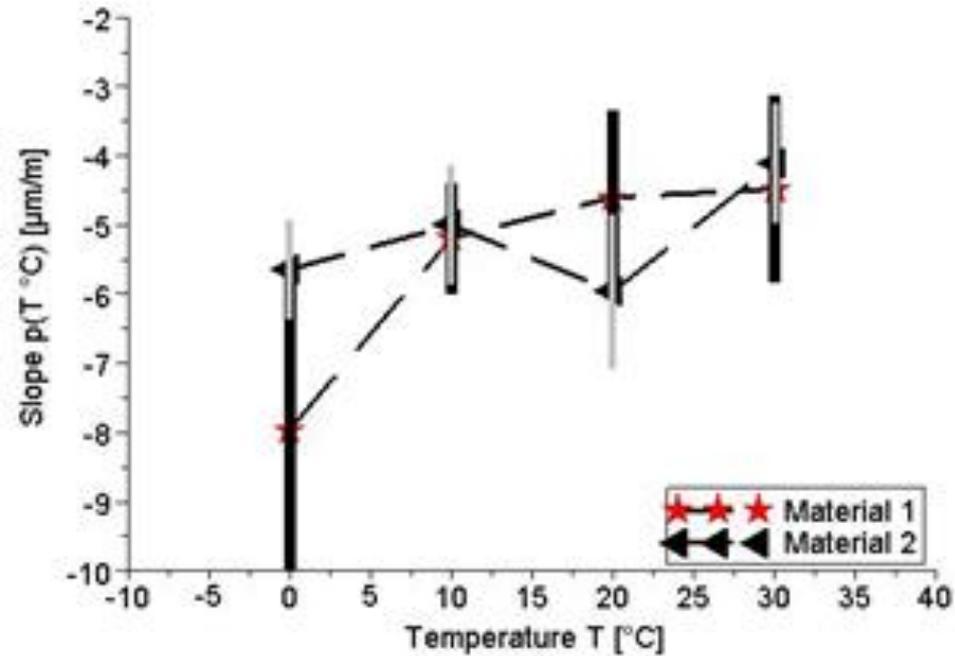
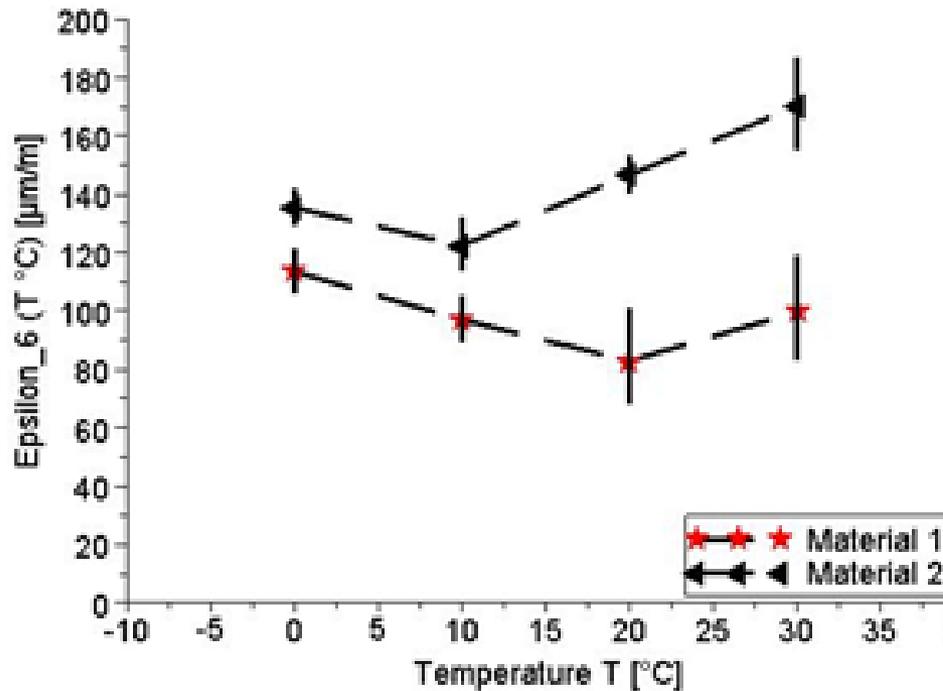
Mais l'étude est basée sur des essais de fatigue avec chargement continu à 25 Hz – Validité avec des temps de repos ?

Résultat à confirmer par des observations sur chaussées



Etude complémentaire réalisée à l'IFSTTAR

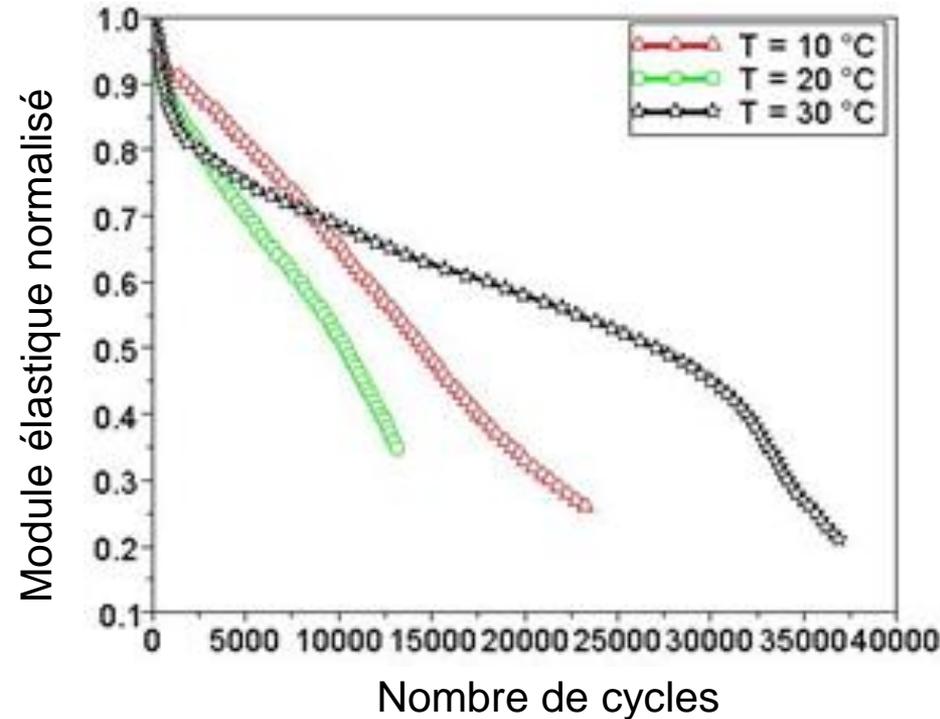
- Essais de fatigue à 4 températures : 0, 10, 20 et 30 °C, à 25 Hz sur une GB3 et un EME
80 essais de fatigue par matériau !



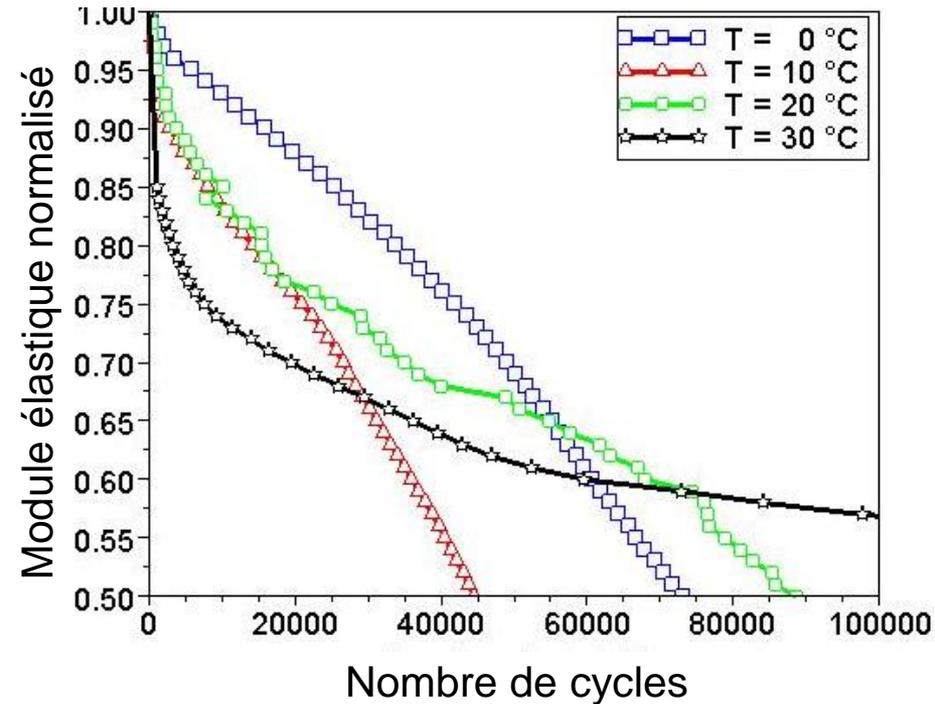
Confirmation de l'évolution non monotone de ϵ_6 avec la température

Influence de la température sur l'évolution des courbes de fatigue

Matériau 1 : GB3



Matériau 2 : EME



La forme des courbes de perte de rigidité est différente suivant la température :
Basse température : pratiquement pas de perte de rigidité initiale en phase I
Haute température : forte perte de rigidité initiale (dissipation thermique, thixotropie ?)

Interprétation des essais / comparaison des durées de vie à améliorer ?

Travaux complémentaires

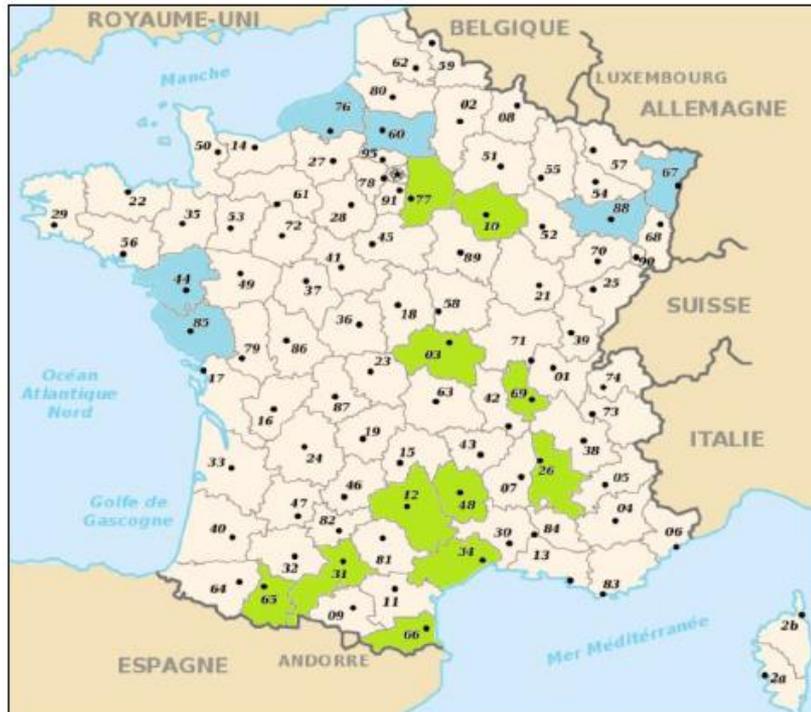
- Travail de fin d'étude de l'ENTPE, réalisé par Hicham CHOUKOUR au printemps 2014

Prise en compte du climat dans le calcul structurel des chaussées en régionalisant la valeur de la température équivalente

Extension du travail de C. Mauduit et P. Hornych sur la valeur de la température équivalente à 17 départements ;
Mêmes principes (calculs, lois de fatigue,...) ;
Influence de différents paramètres ;



Extension à 17 départements



Données de (Mauduit, décembre 2008)

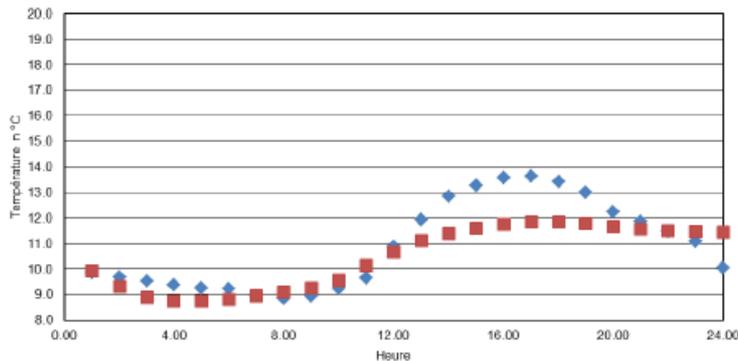
Données de (intranet des DIR ; infoclimat)

- Départements du rapport « Mauduit » :
Trafic et températures : données 2005
- Autres départements :
Trafic : données DIR ;
Températures : base InfoClimat + modèle de Barber

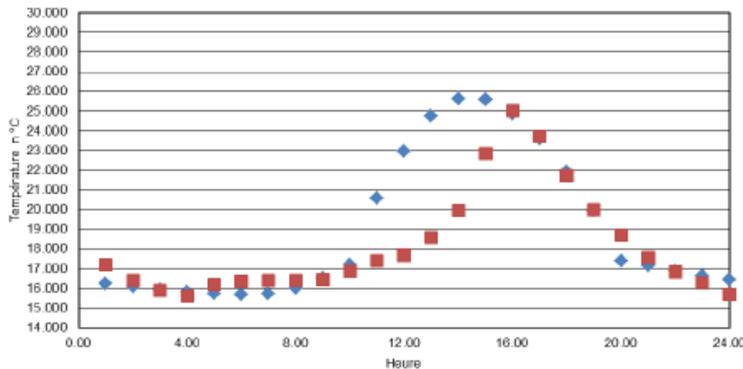
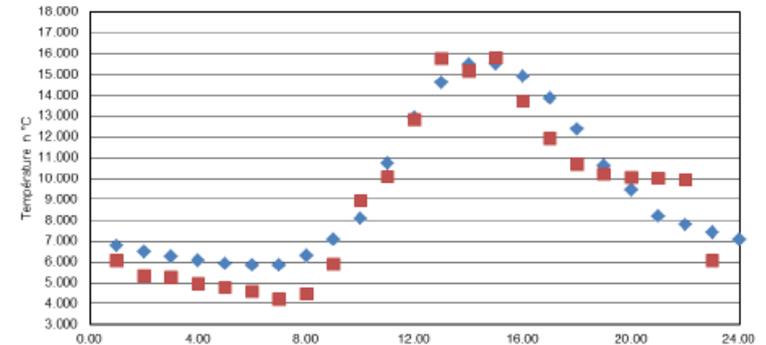
Validation du modèle de Barber

- Départements du rapport « Maudit » :
Températures : données 2005

Comparaison du Modèle de Barber et des relevés sur le site Le Temple Bretagne



Comparaison du Modèle de Barber et des relevés sur le site de Vosges



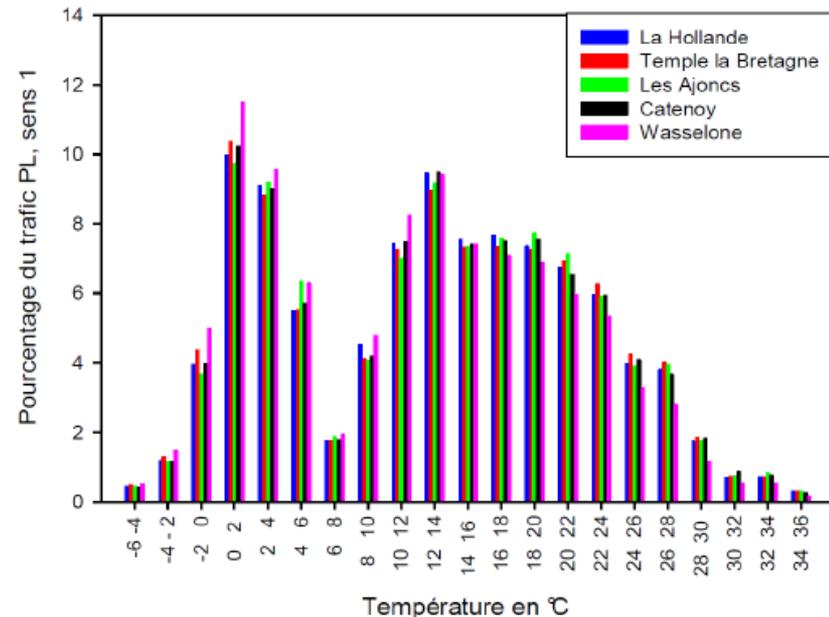
Légende :

températures mesurées
températures calculées d'après
Barber E.S. (1957): *Calculation of
maximum pavement temperatures
from weather reports*, HRB, Bul 168

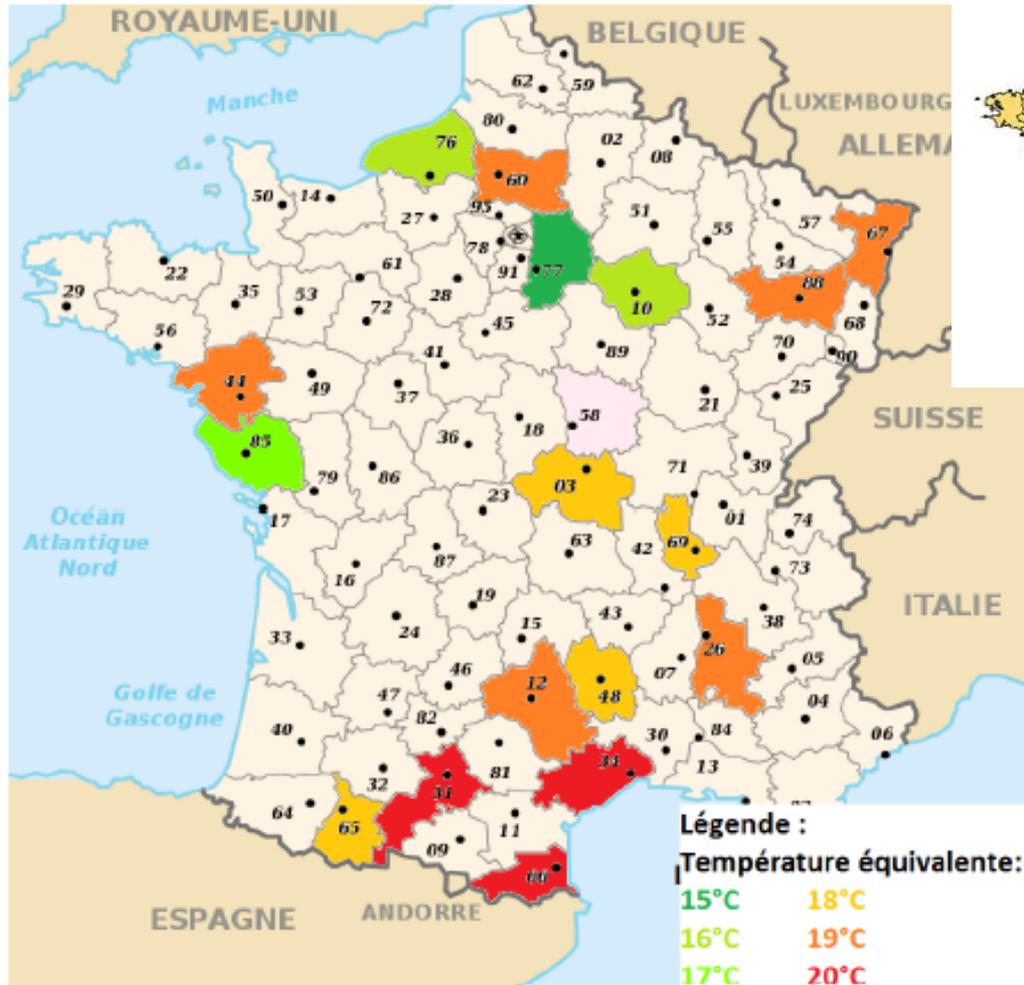
Extension à 17 départements

- Calcul de la température équivalente pour :

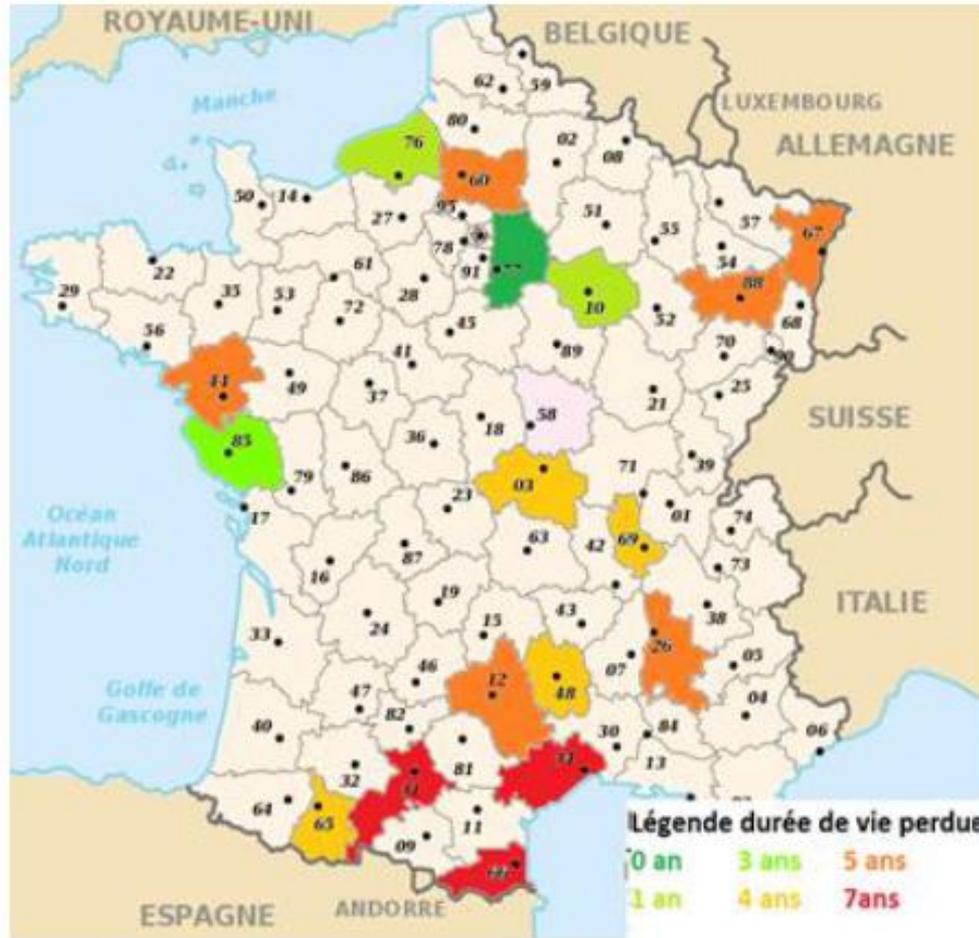
- la structure
8 BBSG / 16 GB3 / PF3
- Les distributions de trafic par tranches de température (année 2005) ;
- les variations de modules programmée dans Alizé ;
- les lois de fatigue suivantes :
 - loi1 guide SETRA $\varepsilon_6(\theta) = 0,0018 \theta^3 + 0,039 \theta^2 + 1,0220 \theta + 73,53$
 - loi2 thèse Domec $\varepsilon_6(\theta) = 0,145 \theta^2 - 3,6979 \theta + 77,67$
 - loi3 Moutier 20/30 $\varepsilon_6(\theta) = 0,0024 \theta^3 + 0,200 \theta^2 - 0,4583 \theta + 133$



Extension à 17 départements



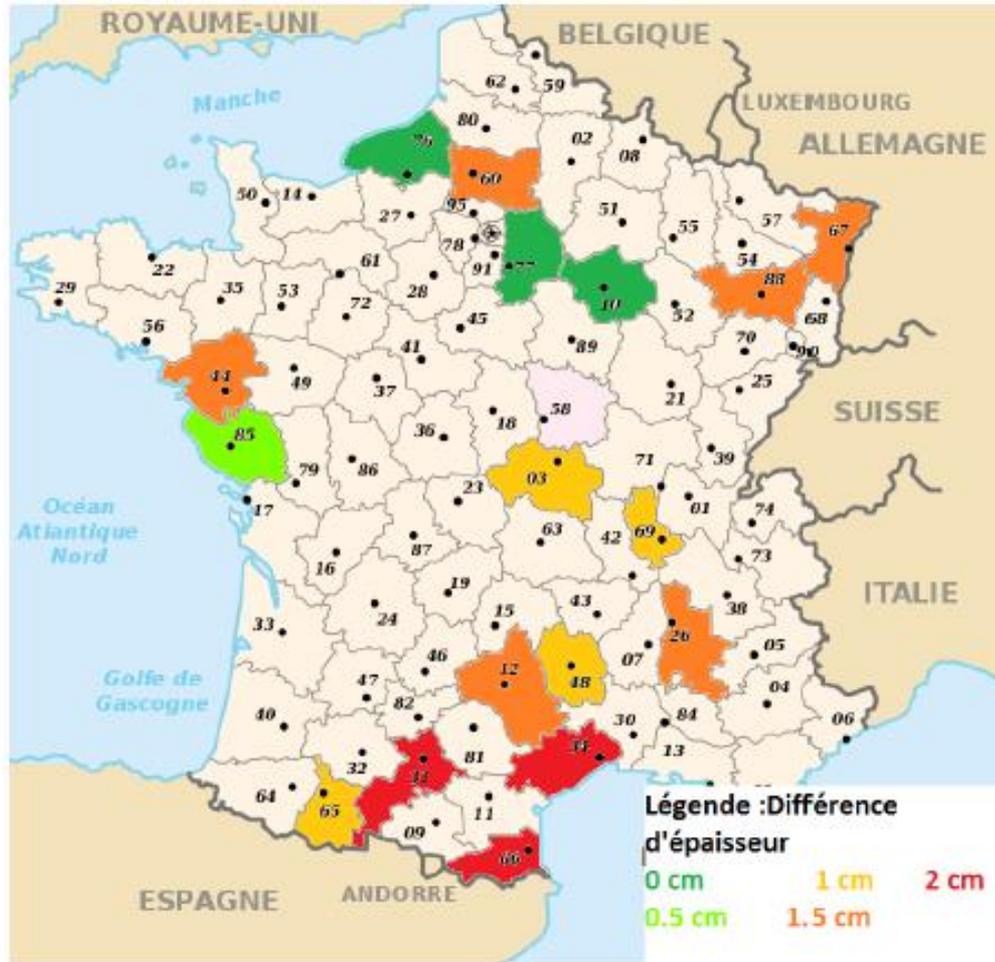
Extension à 17 départements



Durée de vie perdue
pour la structure
8 BB / 16 GB3 / PF3



Extension à 17 départements



Sur-épaisseur
requisse par rapport à
8 BB / 16 GB3 / PF3

Autres analyses

- Comment peut-on appréhender « simplement » la variation de température dans la chaussée pour un calcul de $\theta_{\text{équivalente}}$?
- Influence du trafic en terme d'épaisseur de la structure, pour différentes températures équivalentes ;
- Influence de la distribution de température sur la température équivalente (année « froide » ou « chaude ») ;
- Travail à poursuivre...



Séminaire de restitution CCLEAR

Impact des conditions climatiques sur les infrastructures routières

EFFETS DE VARIATIONS SAISONNIERES DANS LES CHAUSSEES

03 février 2015

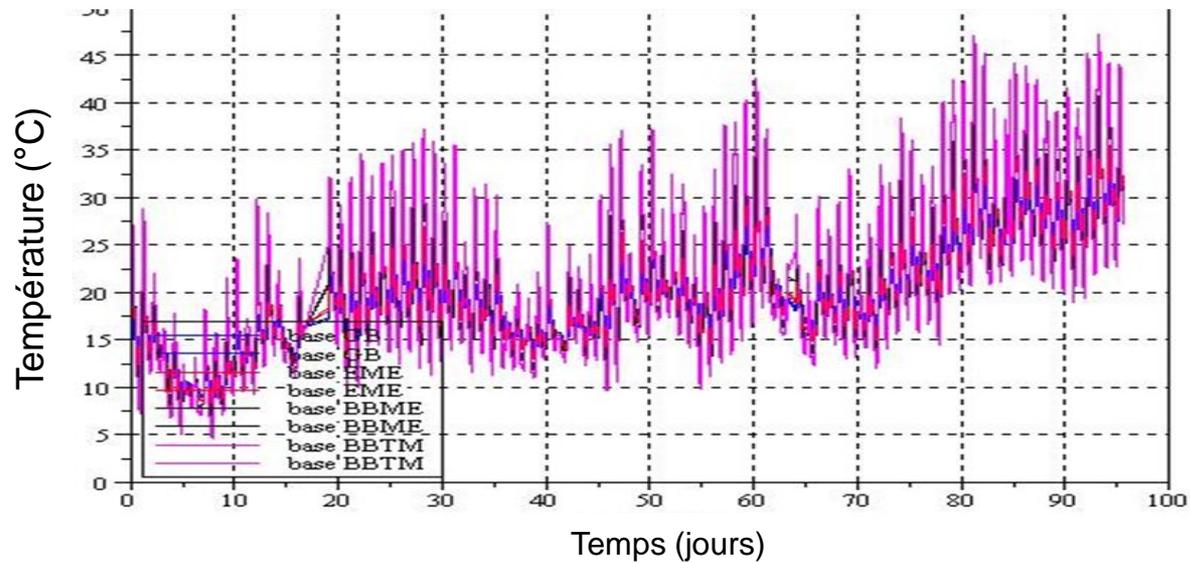
Pierre Hornych
LAMES / IFSTTAR
pierre.hornych@ifsttar.fr

Introduction

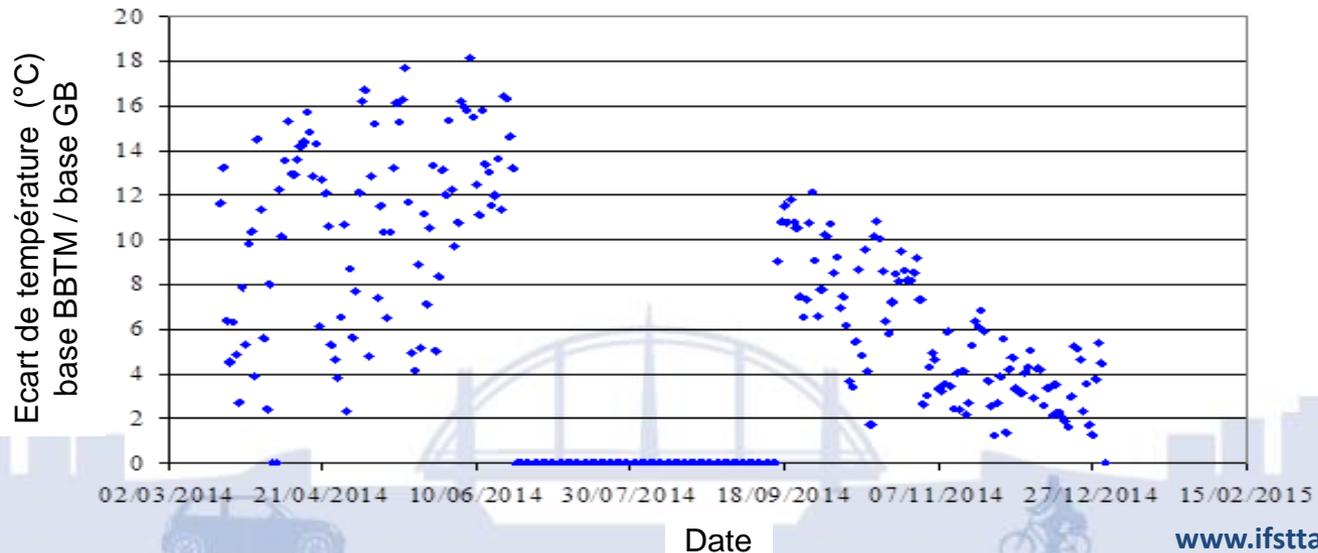
- Exemples de mesures de températures dans les chaussées bitumineuses
- Influence de la température sur les mesures de déflexion



Suivis de température sur chaussée autoroutière (A63)

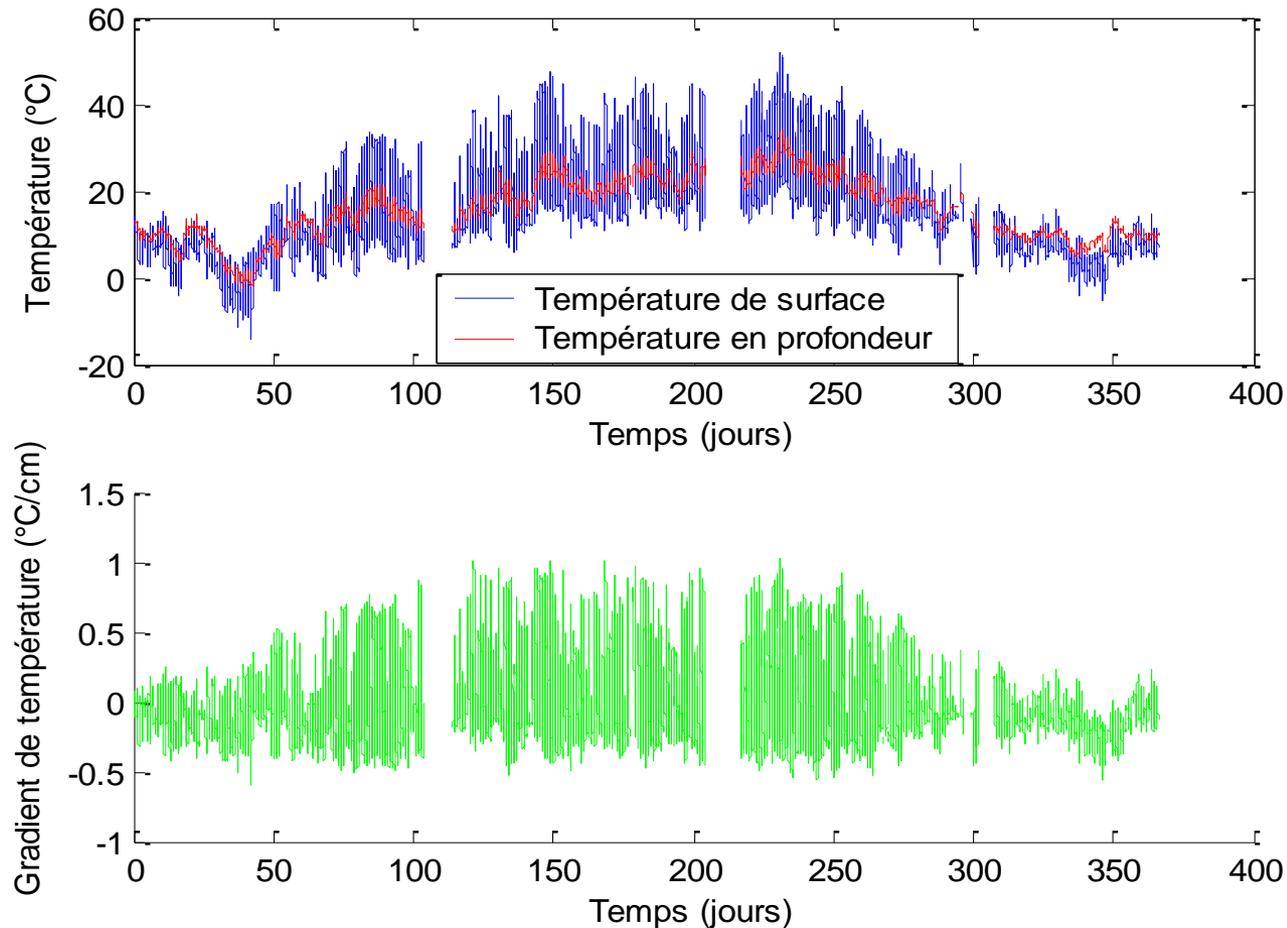


Gradients de température



Suivi de température sur chaussée autoroutière (A10)

Structure de chaussée : 2,5 cm BBTM
2 × 11cm EME
35cm MTLH.



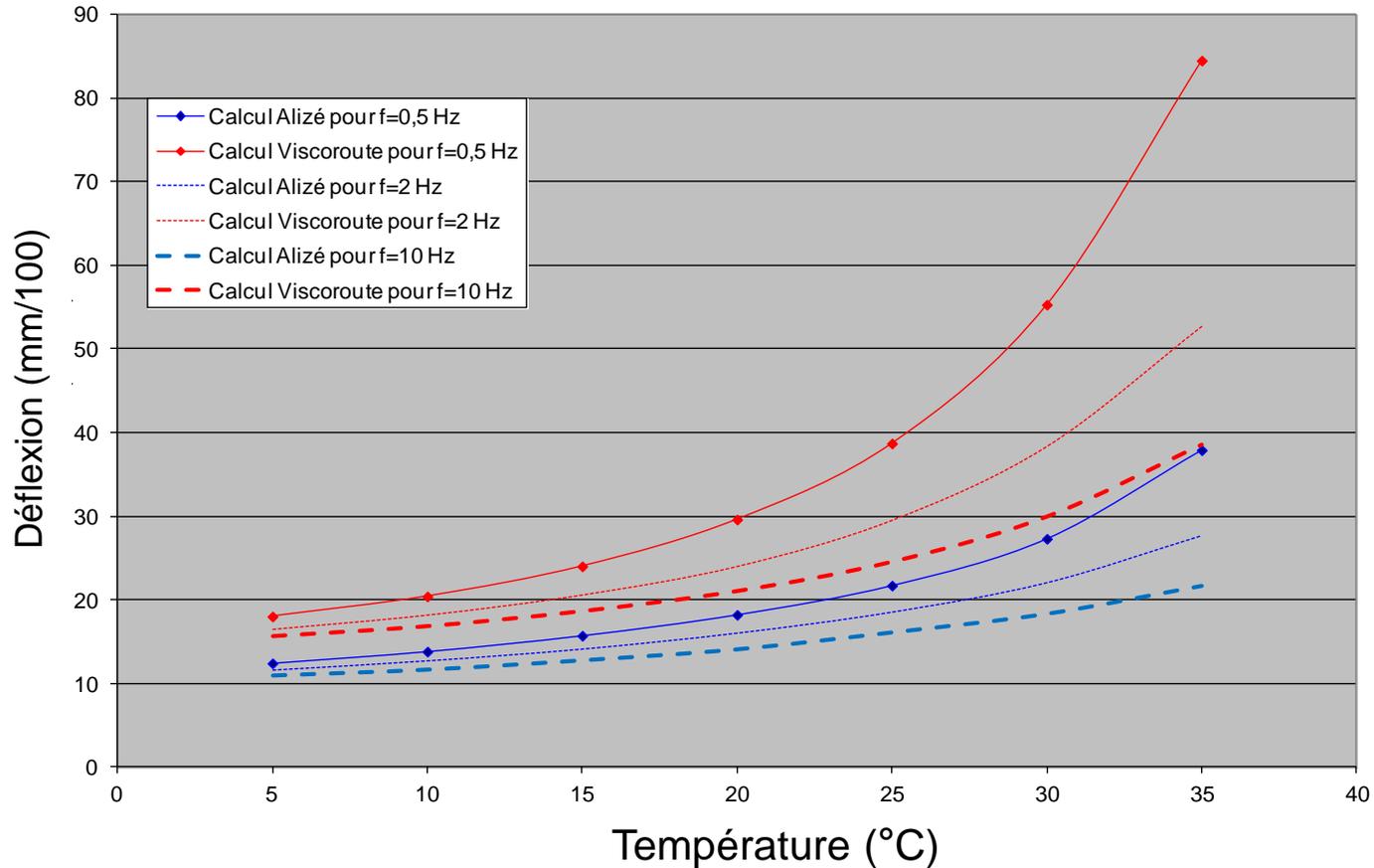
Chaussée autoroutière (A10)

Incidence des gradients de température sur les modules des matériaux

		24 mars		8 juin	
Profondeur		8h	15h	8h	15h
	2,5 cm	Temp (°C)	4.5	14.6	26.1
	E_{EME} (MPa)	21000	14300	8000	1500
25 cm	Temp (°C)	19.0	20.2	24.6	27.8
	E_{EME} (MPa)	11600	11000	8500	7000

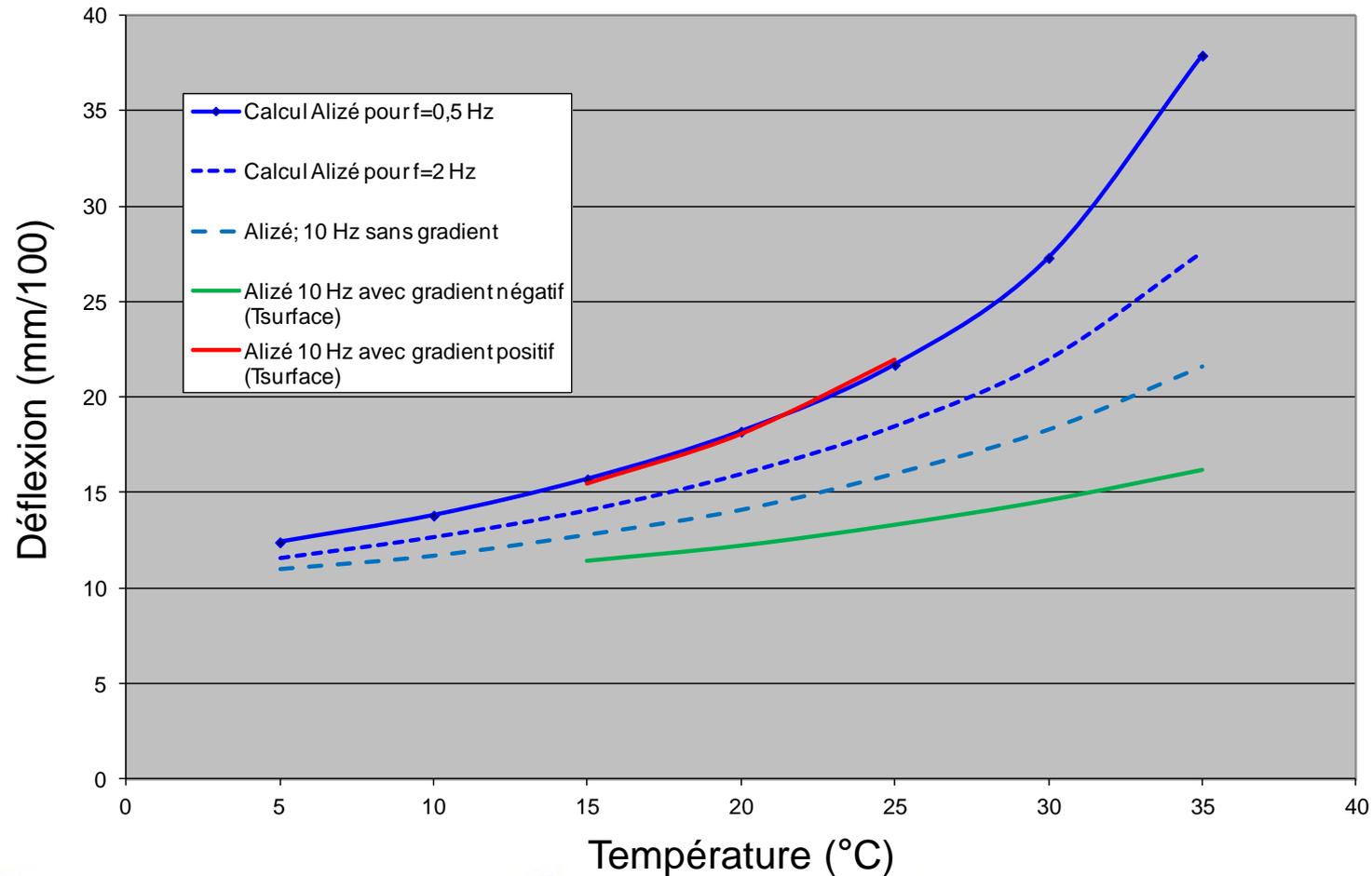


Exemple d'influence de la température sur la déflexion maximale



Chaussée bitumineuse épaisse : 6 cm BBSG
7 cm BBSG
2 × 12 cm GB

Influence de la température sur la déflexion maximale Dans le cas d'un gradient de température



Formules de correction de la déflexion maximale

Correction proposée par le guide renforcement des chaussées

$$d_{15} = \frac{d_T}{1 + K \cdot \frac{T - 15}{15}}$$

$T_{\text{ref}} : 15^\circ\text{C}$

Chaussée	k
Souple	0.15
Bitumineuse épaisse	0.20
Mixte	0.08
Hydraulique	0.04

T mesurée à mi – hauteur des couches bitumineuses.

Formules de correction pour le curviametre

Belgique:

déflexion : $d_{20} = k(T)d_T$ avec :

$$k(T) = 0.00026008T^2 - 0.02589279T + 1.4111835$$

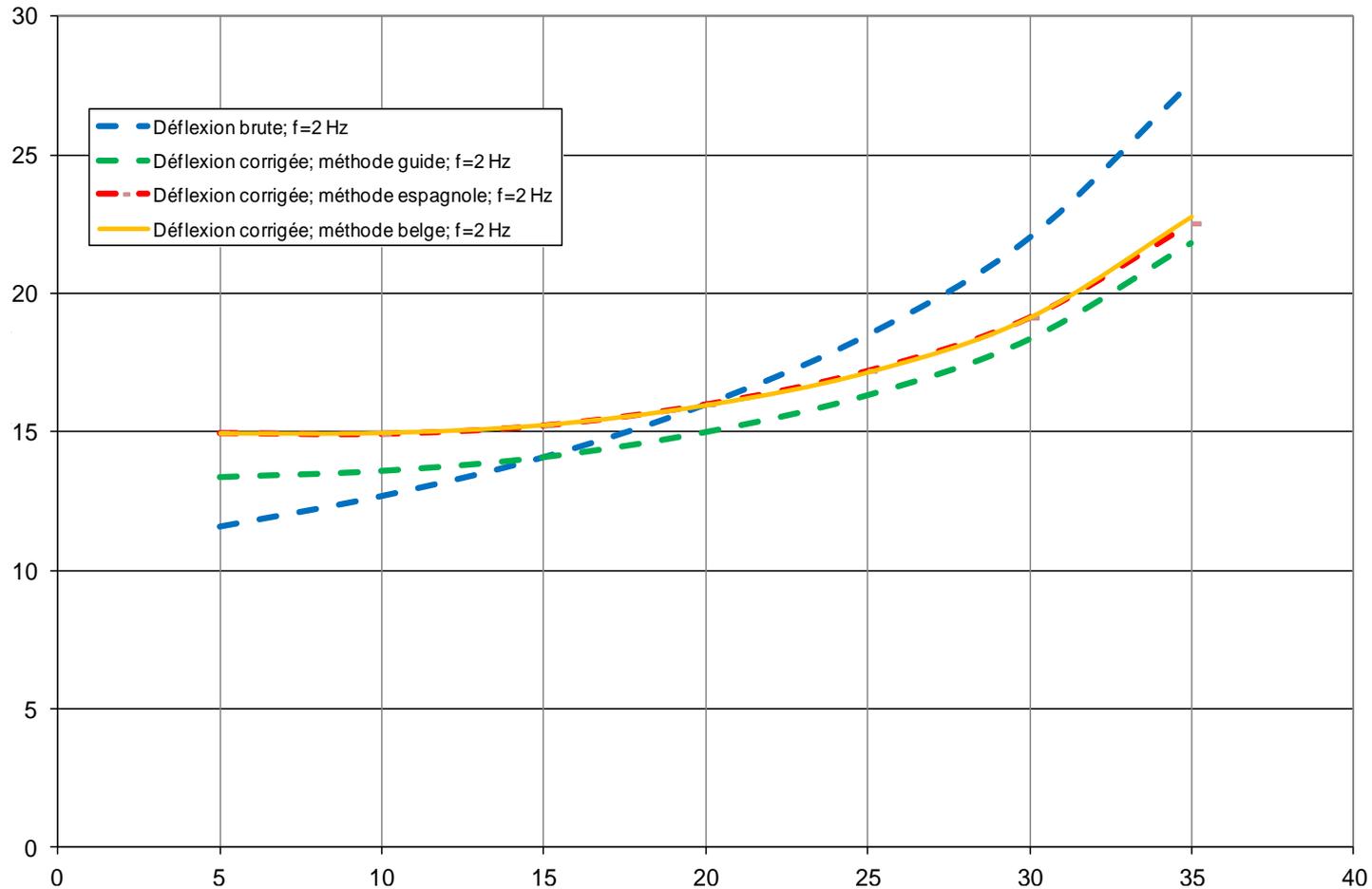
Espagne :

$$d_{20} = \frac{200d_T}{3T + 140}$$

$T_{\text{ref}} : 20^\circ\text{C}$

T température de surface

Comparaison des formules de correction de déflexion



Correction satisfaisante entre 5°C et 25 °C
Résultats assez similaires avec les 3 formules