Adaptation des infrastructures de transport au changement climatique

Pierre Hornych - iFSTTAR

- Importance des infrastructures de transport
- Impacts du changement climatique sur les infrastructures
- Stratégies d’adaptation
- Exemples de thématiques de recherche

Importance des infrastructures de transport

Mode	Longueur/ Étendue*	Utilisation				Acteurs administratifs
		Voyageur milliards de voy-km	%	*Fret* milliards de t-km	%	
Transport routier	1 027 000 km	762.6	87%	323.3	87%	Direction Générale des Routes, DSCR, acteurs départementaux et locaux
Transport ferroviaire	29 213 km	105.3	12%	42.7	11%	Réseau Ferré de France, SNCF, RATP, Autorité organisatrice de transports (AOT)
Transport par voie d'eau	5 444 km	*NA*	*NA*	7.5	2%	Voies navigables de France (VNF), Compagnie nationale du Rhône (CNR), acteurs locaux
Transport aérien	155 terrains d'aviation enregistrés	13.2***	1%	*NA*	*NA*	MEEDDAT – Direction de l'Aviation, Aéroports de Paris (capital mixte) ; entreprises publiques contrôlées localement
Total, hors ports†		**881.1**		**373.5**		

Importance des infrastructures de transport

Durée de vie des infrastructures

Mode	*Infrastructure*	*Durée de vie*
Transport terrestre	Routes	10-20 ans
	Ponts	50-100 ans
	Aqueducs	30-45 ans
	Tunnels	50-100 ans
	Voies ferrées	50 ans
Transport aérien	Pistes	10 ans
	Terminaux	40-50 ans
Transport maritime	Docks et terminaux portuaires	40-50 ans
	Pipelines	100 ans

➡ Un patrimoine considérable, essentiel pour l'activité économique, qui nécessite une politique de préservation et d'entretien à long terme..

Principaux changements climatiques attendus

- Augmentation des températures :
  - ✓ Etés plus chauds / hivers moins froids
- Evolution des précipitations ?
  - ✓ Précipitations moins fréquentes mais plus intenses ?
- **Augmentation des évènements climatiques extrêmes**
  - ✓ Canicules
  - ✓ Inondation / submersions marines
  - ✓ Sécheresses
  - ✓ Incendies

Quels impacts ? Quelles mesures d'adaptation ?

Impacts sur les infrastructures routières

Facteur climatique	Impacts
Augmentation des températures maximales Augmentation du rayonnement solaire	Augmentation de l'orniérage Augmentation du ressuage des liant Vieillissement plus rapide des matériaux bitumineux, fissuration Dommages dus aux incendies (+ réduction de la visibilité)
Augmentation des températures hivernales Augmentation des cycles de gel / dégel	Détérioration des couches de surface (fissuration, nids de poule) Baisse de la portance des sols (au dégel), réduisant la durée de vie des chaussées
Augmentation de la fréquence et de l'intensité des précipitations	Baisse de portance des sols, réduisant la durée de vie des chaussées Insuffisance du drainage Inondations / routes coupées Orniérage et fissuration Glissements de terrain,

Impacts sur les infrastructures routières

Facteur climatique	Impacts
Sécheresse	Retrait des sols argileux Détérioration du profil longitudinal, fissuration
Augmentation du niveau de la mer	Submersion de chaussées Nécessité de déplacer les chaussées
Tempêtes (vent)	Problèmes de sécurité Détérioration des équipements de la route (panneaux de signalisation, éclairages..)

Impacts sur les infrastructures ferroviaires

Facteur climatique	Impacts
Augmentation des températures maximales	Déformations des rails Diminution des vitesses
Incendies	Détérioration des voies Réduction de la visibiité
Augmentation de la fréquence et de l'intensité des précipitations	Baisse de portance des sols, Inondations : interruption du trafic et endommagement des voies Glissements de terrain
Tempêtes (vent)	Problèmes de sécurité Détérioration des équipements de la voie (Caténaires, signalisation.)

Stratégies d'adaptation

- Définition des scénarios de changements climatiques
- Cartographie des risques
  - ✓ Fréquence / gravité – coûts associés
    classification par niveaux de gravité
- Proposition de mesures de prévention / d'adaptation :
  - ✓ Définition des évènements dimensionnants
  - ✓ Mesures d'exploitation (surveillance…)
  - ✓ Entretien courant et préventif
  - ✓ Investissements pour améliorer la résistance des infrastructures à certains risques (infrastructures nouvelles / existantes)

➡ Analyse couts / bénéfices – Choix des mesures à prendre

- Besoins d'amélioration des connaissances
  - ✓ recherches – développement de nouvelles solutions

Exemples de thématiques de recherche récentes (IFSTTAR + CEREMA)

Objectifs : meilleur prise en compte des variations de température et des effets de l'eau (et de ses changements de phase) sur les chaussées

- ✓ Définition d'indicateurs climatiques pertinents
- ✓ Etude et modélisation des mouvements d'eau dans les chaussées
- ✓ Etude des effets des cycles de gel-dégel sur les matériaux routiers
- ✓ Etude des effets de la sécheresses sur les sols supports de chaussées argileux
- ✓ Etude des effets des températures élevées sur le comportement des matériaux de chaussées et prise en compte dans le dimensionnement des chaussées
- ✓ Etude des effets du rayonnement UV sur le vieillissement des matériaux bitumineux

Dégradations hivernales sur les réseaux routiers – apparition rapide de nids de poule

2001-2002

A28
A36
etc.

2002-2003

A31 Nord
A36
etc..

2004-2005

A31 Nord Dijon-Langres
etc..

2005-2006

A5 Ouest de Langres
A6
A31 Langres – Toul
RN4 – PR43 Ménil la Horgne
etc…

2008-2009

A13
A14
etc.

2009-2010

RN4 ,RN57 Vosges
A20 Donzenac ,
A28 , A31, A36
A16, RN42…

2010-2011

2011-2012

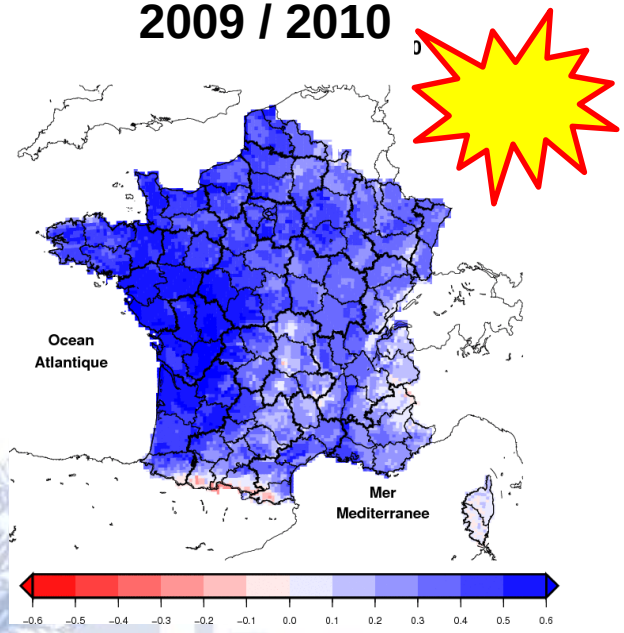
2012-2013

Facteurs explicatifs : combinaison de pluies importantes, suivies par des cycles de gel / dégel

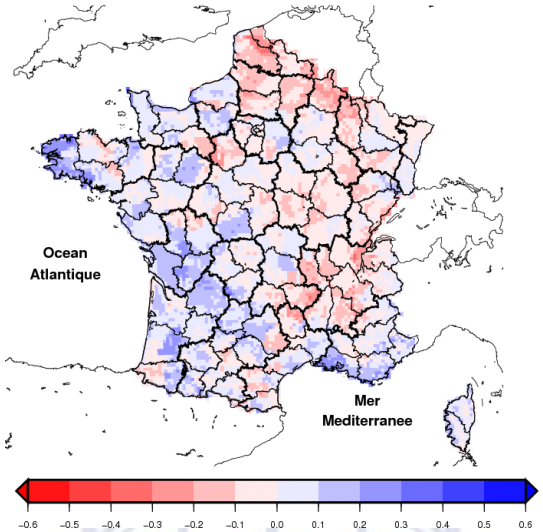
Indice de sévérité climatique expliquant les dégradations hivernales

Définition d'un indice basé sur : nombre de jours en hiver avec des cycles de gel-dégel à - 6cm / nombre de jours avec des précipitatons > 1 mm

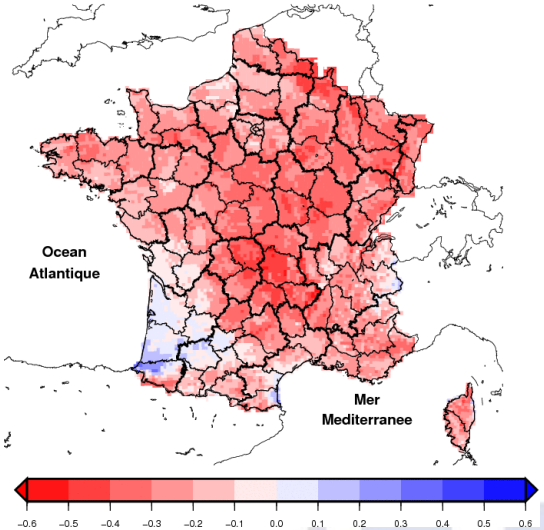
2009 / 2010



2010 / 2011



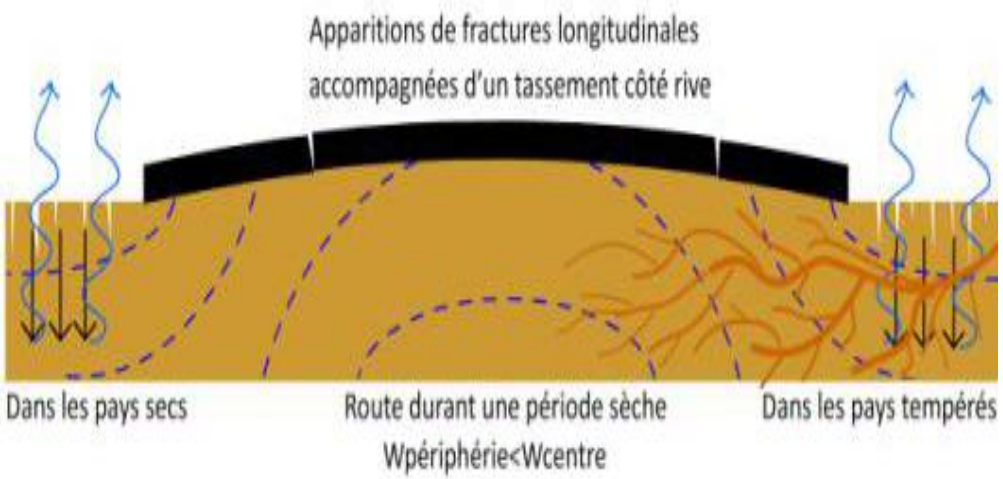
20011 / 2012



Etude des effets de la sécheresse sur les sols supports de chaussées

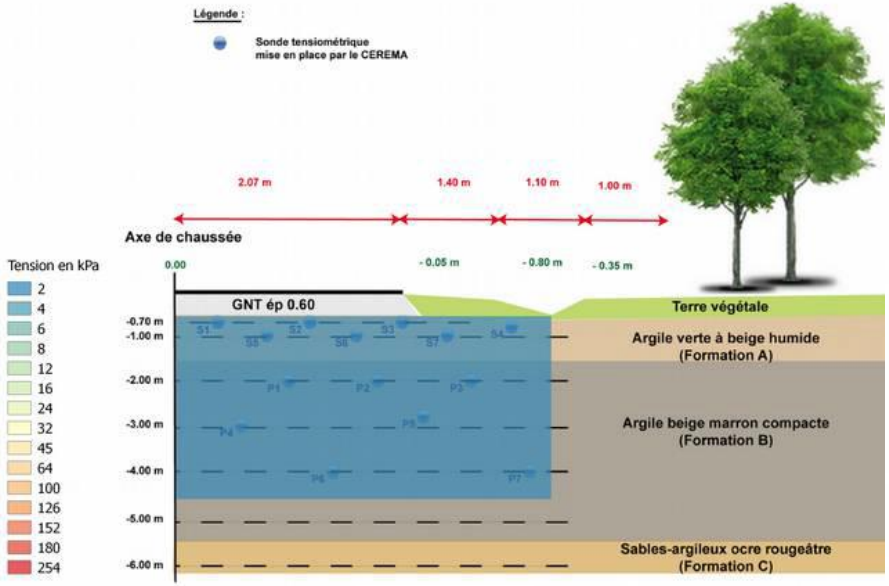
Déficit hydrique et sols argileux = retrait volumique du sol support de chaussée

Entraîne en surface une fissuration longitudinale (adaptation) et un tassement en rive

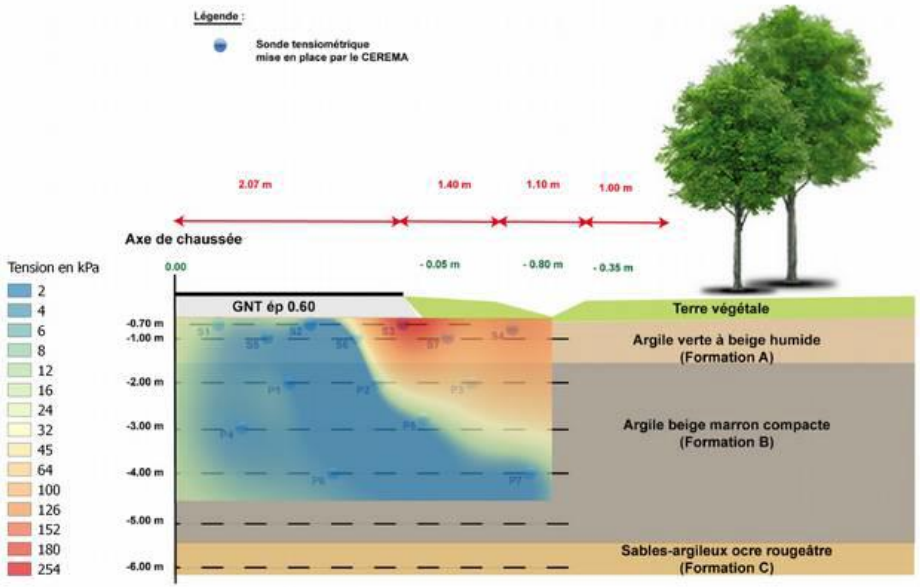


Etude des effets de la sécheresse sur les sols supports de chaussées

Analyse du phénomène à partir de mesures tensiométriques : assèchement à partir de l'accotement de la chaussée, jusqu'à une profondeur de 3 m.

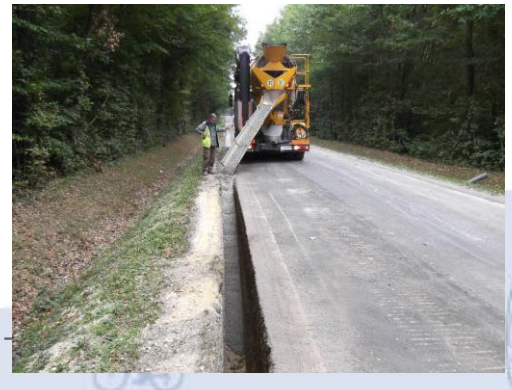


Mai



Septembre

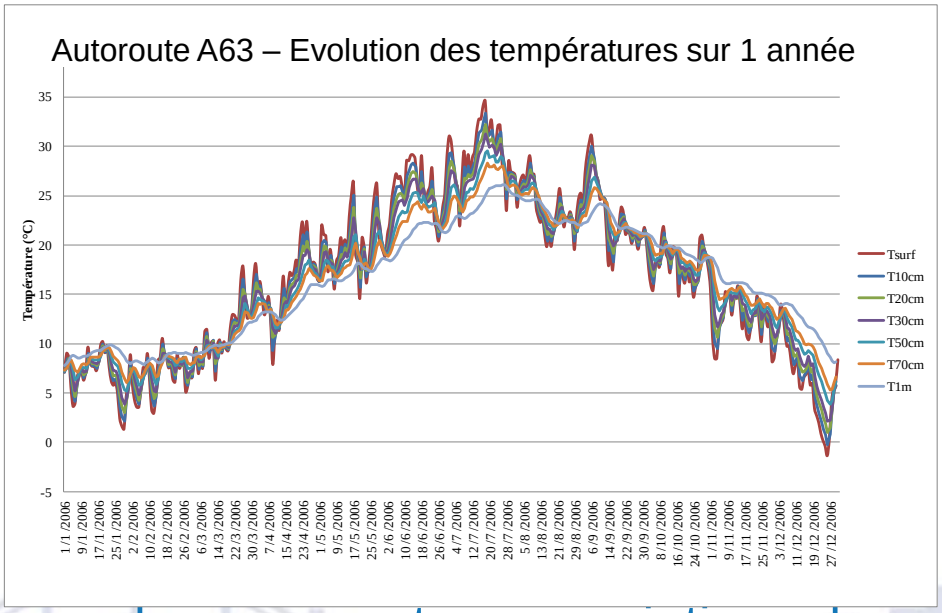
Solution : Limiter l'assèchement latéral par des écrans étanches en rive de chaussée



Effet des températures chaudes sur la durée de vie des chaussées bitumineuse

- Grande sensibilité des matériaux bitumineux à la température :
  L' augmentation de température entraine :
  une augmentation de l'orniérage
  une diminution du module des matériaux
  Une certaine augmentation de la résistance en fatigue

- Évolution des températures dans une chaussée : variations journalières, saisonnières, évolution au cours des années (changement climatique)



➡ Recherches pour mieux prendre en compte ces variations de température dans le dimensionnement des chaussées

Effet des températures chaudes sur la durée de vie des chaussées bitumineuse

Température équivalente (°C)	0	10	15	18	20	21	25	30	35
$\varepsilon_{t\ calculé}$ (µdef)	28,2	39,6	49,5	58,5	66,9	69,9	86,0	123,7	157,7
$\varepsilon_{t\ admissible}$ (µdef)	36,1	44,8	51,5	57,2	62,4	64,2	73,5	93,9	113,5
Durée de vie (années)	50,6	32,3	23,7	18,3	14,9	14,1	10,3	6,04	4,7
Epaisseur de la couche de Grave-Bitume (cm) pour une durée de vie de 20 ans	22	24	25	27	27,5	28	30	33	35
	-4	-2	-1	+1	+1,5	+2	+4	+7	+9

Merci pour votre attention