

Les infrastructures routières suisses vont-elles résister au changement climatique?

Le climat est en constante évolution et ce changement a un impact direct sur les humains, la société et l'environnement naturel et bâti. Les infrastructures routières en sont également affectées, mais la question se pose de savoir à quel point ce changement influence nos routes et quelles en sont les caractéristiques touchées. Dans le cadre d'une thèse menée au Laboratoire des voies de circulation (LAVOC) de l'EPFL, l'impact du changement climatique sur les infrastructures routières suisses a été évalué et des solutions d'adaptation ont été proposées.

Le changement climatique est un phénomène reconnu par une large majorité de la communauté scientifique. Ce changement s'est concrétisé surtout à travers une modification des conditions météorologiques moyennes et une apparition plus fréquente de conditions extrêmes. De par ses caractéristiques spécifiques il est admis que le phénomène va perdurer au cours du 21^e siècle, même si des changements radicaux au niveau de la consommation de produits libérant des gaz à effet de serre devraient avoir lieu.

Le changement climatique touche le domaine du transport routier et montre des impacts aussi bien au niveau du trafic et des usagers de la route que de l'infrastructure routière elle-même. Alors que certaines conditions météorologiques peuvent être considérées lors de plusieurs étapes de la vie d'une chaussée (planification, dimensionnement, maintenance, etc.), le phénomène de changement climatique n'est pour l'instant pas pris en compte dans la plupart des pays, dont la Suisse. Ce fait pourrait dans un futur proche avoir des conséquences sur la durée de vie des revêtements et ainsi sur la sécurité des usagers. La thèse s'intéresse donc plus en détail à ce phénomène afin de proposer, si nécessaire, des mesures d'adaptation au changement climatique pour les infrastructures routières.

Objectifs et méthodologie

L'objectif de la thèse menée au LAVOC consiste à évaluer les possibles impacts du changement climatique sur les infrastructures routières et de proposer des solutions d'adaptation pour lutter contre ce phénomène. Pour ce faire une analyse de risque des infrastructures routières est proposée et appliquée aux revêtements classiques Suisses. La méthodologie mise au point est divisée en quatre étapes principales:

- **Etape 1 – Définition du contexte climatique et des paramètres d'évaluation:** Evaluation des conditions météorologiques actuelles et futures à l'aide du modèle



PAR
PATRICK RYCHEN
D^r ès sc EPF
Laboratoire des voies de
circulation (LAVOC),
EPFL, Lausanne
Infralab SA, Romanel/Lausanne

LAURÉAT DU PRIX VSS 2013
Patrick Rychen a reçu le Prix VSS pour sa thèse publiée à l'EPF de Lausanne. Dans son travail, il a analysé l'impact du changement climatique sur l'infrastructure routière.

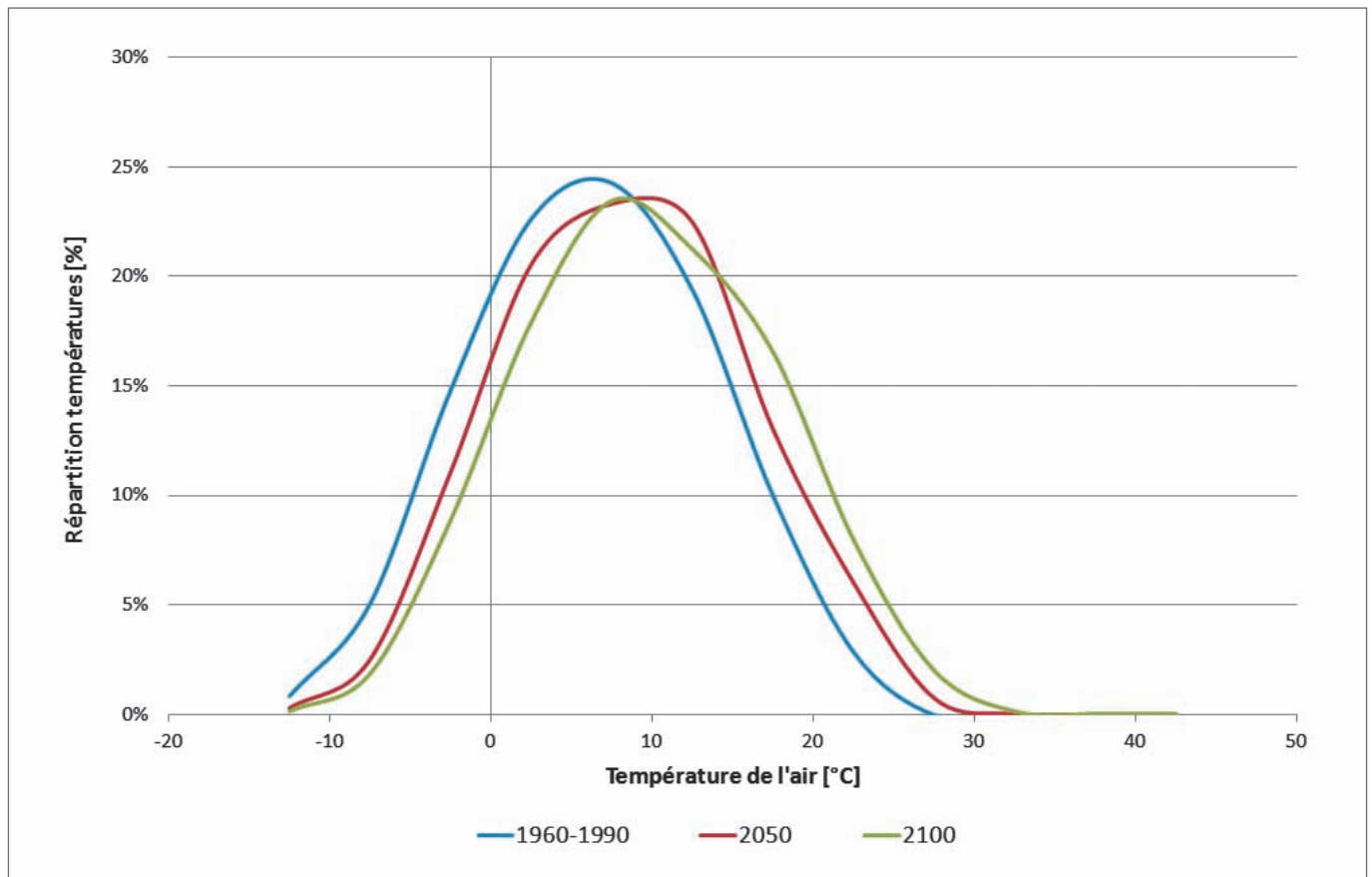
climatique de pronostic Meteonorm 7.0. Choix des paramètres d'évaluation liés aux structures routières (trafic, sol, matériaux, etc.) et modélisation des infrastructures routières.

- **Etape 2 – Evaluation de l'impact du changement climatique sur les infrastructures routières:** Evaluation de l'impact du changement climatique sur le dimensionnement au gel des infrastructures routières. Effets sur les performances à l'aide d'une méthode de dimensionnement mécanistique-empirique.
- **Etape 3 – Analyse de risque:** Définition des seuils de performances. Analyse de risque basée sur les durées de vie des infrastructures routières.
- **Etape 4 – Mesures d'adaptation au changement climatique:** Proposition de mesures d'adaptation et évaluation de l'impact des adaptations par rapport aux durées de vies des infrastructures routières.

Modélisation climatique et paramètres d'évaluation

La prévision des conditions météorologiques suisses a été effectuée à l'aide d'un modèle climatique de pronostic novateur: Meteonorm 7.0. Ce modèle permet à la fois de modéliser des années «représentatives» avec des conditions météorologiques moyennes (moyenne sur 10 ans) et des années avec des conditions extrêmes (extrême sur 10 ans) pour différents horizons de temps. En outre le modèle permet d'intégrer plusieurs scénarios climatiques issus du rapport de l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

L'évaluation des prévisions météorologiques montre que des changements importants des régimes de températures sont prévus d'ici la fin du 21^e siècle (voir Illustration 1: Exemple du site de La Chaux-de-Fonds selon le scénario climatique «moyen» A1B de l'IPCC). Ainsi une augmentation des températures moyennes mais également une apparition plus fréquente des températures extrêmes est prévue. Un



1 | On assiste à une modification des courbes de répartition des températures (exemple La Chaux-de-Fonds).

1 | Es wird eine Änderung der Temperaturverteilungskurven (Beispiel: La Chaux-de-Fonds) festgestellt.

changement important des cycles de gel-dégel est également pronostiqué à travers une diminution du nombre de cycles et une diminution de la longueur des périodes de gel et de dégel. D'autres conditions météorologiques peuvent également présenter des changements conséquents, telles que les précipitations.

Plusieurs hypothèses

Pour l'analyse de l'impact du changement climatique sur les revêtements Suisses, plusieurs hypothèses ont été retenues, dont les principales sont données ci-après:

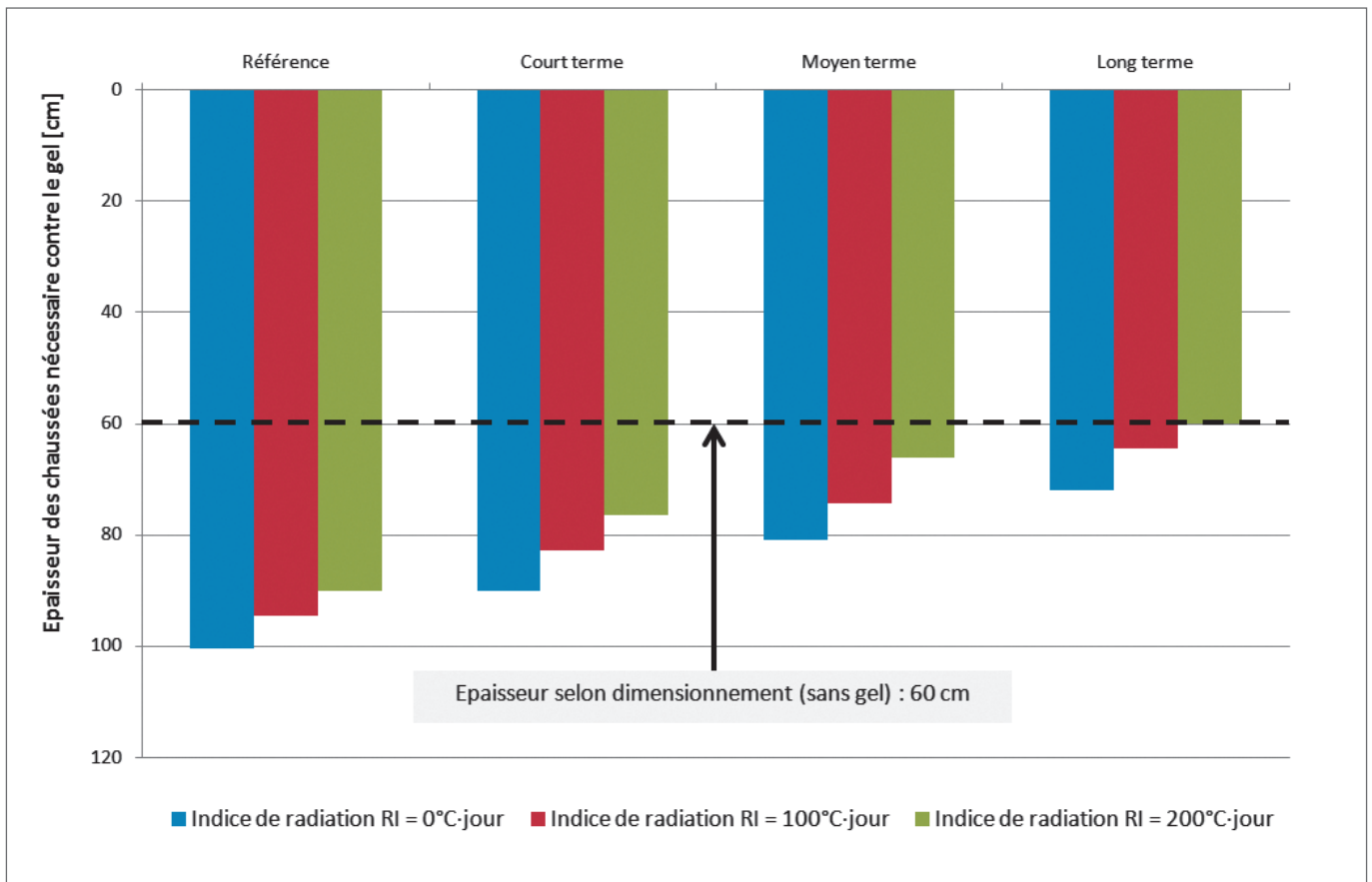
- **Régions climatiques:** Le territoire Suisse est divisé en neuf régions climatiques présentant des caractéristiques climatiques différentes (Jura, Bassin Lémanique, Plateau (ouest), Plateau (est), Préalpes, Valais (haute altitude), Valais (basse altitude), Grisons et Sud des Alpes).
- **Scénarios climatiques:** Trois scénarios climatiques proposés par l'IPCC sont évalués (B1 – faible, A1B – moyen et A2 – fort).
- **Horizons d'analyse:** Quatre horizons d'analyse sont évalués (référence: route construite en 1990, court-terme: construction en 2020, moyen-terme: construction en 2050 et long-terme: construction en 2080). Chaque période d'analyse consiste en une combinaison d'années représentatives moyennes et extrêmes.
- **Trafic:** Quatre régimes de trafic sont évalués (T3 à T6). Des données statistiques sont employées pour définir

tous les paramètres de trafic nécessaires (% poids lourds, croissance du trafic, vitesse, etc.).

- **Sol de fondation:** Trois classes de sols de fondation sont évaluées (S2 à S4).
- **Type de superstructure:** Trois types de superstructure sont évalués (Type 1: Enrobé bitumineux sur grave, Type 2: Avec couche de fondation en enrobé bitumineux (AC F) et Type 5: Avec couche stabilisée aux liants hydrauliques). Les caractéristiques des superstructures sont choisies selon le catalogue des superstructures de la norme SN 640 324b.
- **Matériaux:** Des caractéristiques standards pour les matériaux granulaires, traités aux liants hydrauliques et bitumineux sont évaluées (teneur en vides, teneur en liant, courbe granulométrique, etc.).
- **Seuils de performance:** Des seuils de performance issus des normes Suisses sont retenus.

Impact du changement climatique sur le dimensionnement au gel des infrastructures routières

L'impact du changement climatique sur le dimensionnement au gel des infrastructures routières a été évalué à l'aide de la méthode de dimensionnement suisse. L'analyse a montré qu'il faut s'attendre à une forte baisse des indices de gel de l'air et donc à une diminution des profondeurs de pénétration du gel. Le phénomène de changement climatique est donc de ce côté bénéfique pour le dimensionnement des chaussées,



2 | Grâce au changement climatique des surépaisseurs plus faibles seront à mettre en place dans un futur proche (exemple Simplon).
2 | Dank dem Klimawandel sind in naher Zukunft geringere Überdicken anzuwenden (Beispiel: Simplon).

car il suffira déjà dans un futur proche de mettre en place des surépaisseurs beaucoup plus faibles qu'actuellement (voir Illustration 2: Exemple du site du Simplon (col) selon le scénario climatique «extrême» A2 de l'IPCC, avec un degré de gélivité G3 et un facteur de dimensionnement $f = 0.45$). La plupart des régions climatiques en Suisse ne nécessiteront plus de dimensionnement au gel à moyen- ou long-terme. Ainsi des recommandations d'adaptation des catégories de l'indice de gel significatif de l'air en fonction du temps ont pu être proposées dans la thèse.

Impact du changement climatique sur les performances des infrastructures routières

L'impact du changement climatique sur les performances des infrastructures routières a été évalué à l'aide de la méthode de dimensionnement mécanistique-empirique américaine. Pour ce faire l'outil de dimensionnement DARWin-ME, déve-

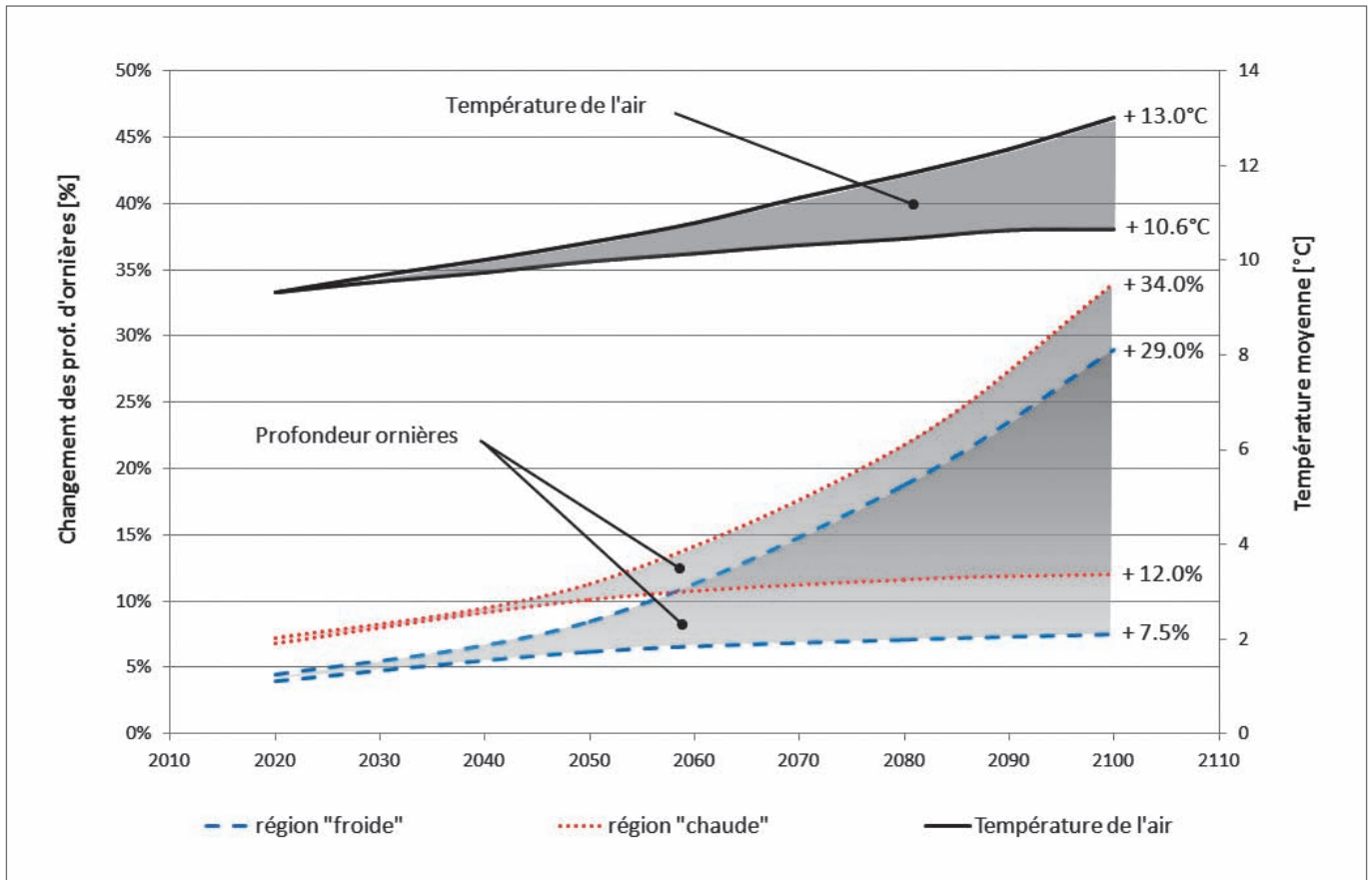
loppé par l'AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) à travers le projet de recherche NCHRP 1-37A, a été calibré dans une première phase puis appliqué aux infrastructures routières suisses. L'utilisation de cet outil permet d'intégrer une multitude de paramètres et de coupler la méthode avec le modèle climatique de pronostic. DARWin-ME permet d'évaluer plusieurs performances structurelles et fonctionnelles (orniérage, fissuration par fatigue, fissuration thermique, performances fonctionnelles, etc.) et de comparer les valeurs calculées à des seuils de performance définis par l'utilisateur. Ainsi les durées de vie des revêtements peuvent être déterminées.

L'évaluation globale montre des impacts liés au changement climatique non négligeables sur les performances des chaussées en Suisse. L'impact se présente entre autre par une augmentation des profondeurs d'ornières, performance critique des chaussées suisses (voir Illustration 3). Cette augmentation sera d'autant plus élevée que le trafic est élevé et que

Wird die schweizerische Strasseninfrastruktur dem Klimawandel widerstehen?

Der ständige Klimawandel hat direkte Auswirkungen auf Menschen, die Gesellschaft und die natürliche und gebaute Umwelt. Davon ist auch die Strasseninfrastruktur betroffen. Es stellt sich jedoch die Frage, inwieweit dieser Wandel sich auf unsere Strassen auswirkt und

welche Merkmale davon betroffen sind. Im Rahmen einer im Labor für Verkehrswege (LAVOC) der EPF Lausanne durchgeführten Studie wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf die Strasseninfrastruktur der Schweiz beurteilt und Anpassungslösungen vorgeschlagen.



3 | La profondeur d'ornières montre une augmentation globale par rapport au changement climatique.
 3 | Die Tiefe der Spurrillen verzeichnet eine globale Zunahme aufgrund des Klimawandels.

les températures de la région sont élevées. Les autres performances, telles que la fissuration par fatigue ou la fissuration thermique, sont également dépendantes du phénomène de changement climatique, mais d'une manière beaucoup moins marquée.

Analyse de risque

Une analyse de risque, effectuée afin de mieux juger de l'impact possible du changement climatique sur les infrastructures routières, a permis d'observer une augmentation

générale du risque, liée à une diminution des durées de vie des chaussées. La région climatique correspond au facteur déterminant pour l'évaluation de l'impact du changement climatique. Il existe trois grandes régions climatiques pour les chaussées standards suisses: une région «chaude» caractérisée par des températures de l'air élevées, une région «intermédiaire» caractérisée par des températures moyennes et une région «froide» caractérisée par des températures faibles. Ces régions présentent des différences importantes par rapport à leur comportement vis-à-vis des conditions météorologiques (voir Illustration 4).

Anzeige

velo / vélo
fussgänger / piétons
tram & bus
motorisierter verkehr / trafic motorisé

WIR MESSEN IHRE MOBILITÄT
NOUS MESURONS VOTRE MOBILITÉ

BLUESCAN

0800 180 000
(gratis / gratuit)

info@swisstraffic
www.swisstraffic.ch

| | | Horizon d'analyse | | |
|-------------------|--|-------------------|-------------|-------------|
| | | Court-terme | Moyen-terme | Long-terme |
| Région climatique | Région «froide»: Jura, Alpes (altitude élevée) | Très faible | Très faible | Très faible |
| | Région «intermédiaire»: Plateau, Préalpes, Alpes (altitude faible) | Faible | Moyen | Elevé |
| | Région «chaude»: Bassin Lémanique, Sud des Alpes | Très élevé | Très élevé | Très élevé |

4 | L'analyse de risque des structures routières suisses permet de détecter des régions climatiques avec des risques très élevés.
4 | Die Risikoanalyse der Strassenstrukturen der Schweiz ermöglicht die Feststellung von Klimaregionen mit sehr hohen Risiken.

Pour chaque catégorie de risque un facteur de risque des chaussées lié au changement climatique a été défini. Ce facteur a permis de juger de l'étendue des mesures d'adaptation à appliquer, dans le but de diminuer le risque à un niveau acceptable.

Mesures d'adaptation contre le changement climatique

Des mesures d'adaptation sont proposées pour améliorer la capacité des chaussées à résister au phénomène de changement climatique. Des recommandations par rapport à leur mise en place sont données:

- **Région «froide»:** Les évaluations effectuées ont montrées qu'aucune adaptation conséquente du dimensionnement des chaussées n'est nécessaire. Cependant pour un trafic très élevé (classe T6), certains types de superstructure sont à recommander à moyen et à long-terme.
- **Région «intermédiaire»:** Les évaluations effectuées ont montrées que des mesures d'adaptation du dimensionnement des chaussées sont nécessaires pour plusieurs cas, principalement pour un trafic très élevé (classe T6), et ceci déjà à court-terme. A long-terme, des mesures plus conséquentes peuvent être recommandées pour certains cas.
- **Région «chaude»:** Les évaluations effectuées ont montrées que des mesures d'adaptation conséquentes du dimensionnement des chaussées sont nécessaires pour les régimes à trafic élevé (classe T5) et très élevé (classe T6) et ceci déjà à court-terme. Pour un trafic élevé, différentes mesures d'adaptation peuvent être recommandées selon le cas évalué (choix du type de superstructure, choix du type de liant, adaptation des épaisseurs des couches bitumineuses, utilisation de revêtements à haute performances, etc.). Pour un trafic très élevé (classe T6), le recours à des revêtements à haute performances est recommandé quelque soit le cas évalué.

Conclusions et recommandations

La thèse montre que l'impact du changement climatique peut être conséquent et indique des tendances nettes vis-à-vis du

comportement des infrastructures routières suisses. Certains cas (trafic élevé, régions à températures élevées, etc.) nécessitent la mise en place de mesures d'adaptation déjà à court-terme (2020). Les mesures proposées dans la thèse, recourant à des technologies et techniques existantes et reconnues, sont néanmoins suffisantes pour lutter efficacement contre ce phénomène.

Le phénomène de changement climatique devrait être inclus dans la planification de nouvelles infrastructures ou de travaux de maintenance des réseaux actuels. La normalisation devrait intégrer une distinction plus marquée entre le dimensionnement des structures routières selon les trois régions climatiques et selon l'horizon de mise en œuvre. Les mesures d'adaptation décrites dans cette thèse permettraient d'augmenter la résistance des chaussées sans procéder à des changements radicaux des pratiques employées actuellement dans ce domaine. Les résultats de la thèse sont repris dans l'adaptation des normes de dimensionnement qui est actuellement en cours.

Bibliographie

- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). IPCC Fourth Assessment Report.
- Meteotest (2012) Meteororm 7 – Handbook.
- NCHRP (2004) Guide for Mechanistic-Empirical Design – M-E PDG. NCHRP Report 1-37A.
- Rychen P., Dumont A.-G. (2013) Impact des conditions météorologiques extrêmes sur la chaussée. Projet ASTRA 2009/004.
- Rychen P. (2013), Impact du changement climatique sur les infrastructures routières – Analyse de risque et mesures d'adaptation. Thèse EPFL n°5611 (<http://infoscience.epfl.ch/record/183753>).
- Transportation Research Board (2008). Potential impacts of climate change on U.S. transportation. Transportation Research Board – Special Report 290.