



Conférence Européenne
des Directeurs des Routes

Conference of European
Directors of Roads

Adaptation au changement climatique



Janvier 2012

Soumis par : **Nom** **Capacité**
Domaine thématique **Exploitation** **Hans Jeekel** **Coordinateur de domaine thématique**

Préparé par : **Groupe de projet sur le changement climatique – Tâche 16**

Responsable du groupe : **Gyda Grendstad (Norvège)**

Membres du groupe :

Groupe de travail 16 (Adaptation au changement climatique)

Gordana Petkovic (Norvège), responsable

Christian Mlinar (Autriche)

Michael Kenneth Quist (Danemark)

Janne Lintilä (Finlande)

Yves Dantec/Raphaël Jannot/Anne-Laure Badin (France)

Attila Simon (Hongrie)

Mary Bowe (Irlande)

Eva Ruiz-Ayucar and Alberto Compte (Espagne)

Lars Nilsson (Suède)

Giovanni Magaró (Italie)

Dean Kerwick-Crisp (Royaume-Uni)

Groupe de travail 17 (Atténuation du changement climatique)

Kjell Ottar Sandvik (Norvège), responsable

Christian Mlinar (Autriche)

Michael Larsen (Danemark)

Yves Dantec/Raphaël Jannot/Anne-Laure Badin (France)

Jozsef Zsidakovits (Hongrie)

Eva Ruiz-Ayucar (Espagne)

Lars Nilsson / Håkan Johansson (Suède)

Marie Aasness (Norvège), secrétaire

Kyriaki Archontaki (nouveau membre en provenance de Grèce)

Édité et publié par : Le Secrétariat général de la CEDR

Approuvé et amendé par le : Le CONSEIL EXÉCUTIF DE LA CEDR
le 08 septembre 2011

Approuvé par : Le CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA CEDR
le 27 octobre 2011

Le présent document exprime uniquement l'opinion actuelle de la CEDR. Les lecteurs sont priés de ne pas considérer ces points de vue comme une déclaration sur la position officielle des États membres de la CEDR.

But du rapport : POUR INFORMATION

Préface

Le Groupe de Travail 16 a pour objectif de fournir aux directeurs des routes publiques des informations sur les activités en cours relatives à l'adaptation au changement climatique, et d'échanger des informations sur des politiques, stratégies, mesures et sur leurs conséquences pour les travaux des administrations routières nationales (ARN).

Le présent rapport a pour but de décrire les principales conséquences du changement climatique pour les infrastructures routières et de proposer des actions par lesquelles adapter le réseau routier au changement climatique. Notre objectif : soumettre un document concis présentant les défis et les outils disponibles ou à créer, accompagnés d'exemples des meilleures pratiques.

Cette tâche ne porte pas tant sur la recherche que sur la réalisation de mesures adéquates.

Le rapport inclut ceci :

- Une étude sur les risques liés au changement climatique (Annexe 1) ;
- Une étude sur les travaux en cours sur l'adaptation au changement climatique (Annexe 2) ; et
- Des exemples de travaux d'adaptation et de bonnes pratiques pertinents pour s'adapter au changement climatique (Annexe 3).

L'étude couvre les États membres des deux groupes de travail 16 et 17 sauf la Grèce, laquelle n'est devenue membre que récemment. Les Groupes de Travail 16 et 17 sont organisés sous la forme d'un seul groupe de projet et sont dirigés par la Norvège.

Gyda Grendstad (Norvège) est responsable du Groupe de Projet sur le Changement Climatique (couvrant les Groupes de Travail 16 et 17)

Le Groupe de Travail 16 est dirigé par Gordana Petkovic (Norvège)

Le présent rapport a été dressé par le Groupe de Projet sur le Changement climatique (Groupe de Travail 16) et il contient des contributions du Groupe de Travail 17.

Le rapport a été révisé par Gordana Petkovic et par Skuli Thordarson (Vegsýn Iceland) qui a été engagé par l'Administration norvégienne des routes comme assistant à la production de ce document.

Oslo, novembre 2011

Gyda Grendstad
Responsable du Groupe de Projet sur le Changement Climatique

Résumé

Dans le courant du 21^e siècle, le climat va changer en Europe. Les prédictions modélisées indiquent que l'augmentation de la température annuelle moyenne sera comprise entre 1 et 5,5°C. Tandis que les précipitations sur l'année sont susceptibles de s'accroître au nord et de décroître au sud, l'intensité des précipitations quotidiennes et la probabilité de précipitations extrêmement intenses pourront croître dans toutes les régions. Une hausse des vitesses annuelles moyennes du vent est également attendue dans les régions septentrionales, alors que ces vitesses devraient régresser dans les régions méditerranéennes. Les vitesses extrêmes pourront croître en Europe occidentale et centrale ainsi qu'en Mer du Nord. En conséquence du changement climatique, la hausse du niveau de la mer est susceptible d'atteindre 0,9 m dans certaines régions d'ici à la fin du siècle.

Le changement climatique va affecter les niveaux de risques réels, donc défier les règles de conception et procédures régissant l'exploitation et l'entretien de l'infrastructure routière. Les événements climatiques inhabituels seront plus nombreux et auront des impacts significatifs sur les infrastructures, l'exploitation et l'économie dans son ensemble. Pour les propriétaires de routes, il faudrait inclure l'adaptation au changement climatique dans les procédures actuelles et futures couvrant tous les aspects de la planification, de la conception, de l'entretien et de l'exploitation des routes.

Le présent rapport a les objectifs suivants :¹

- Montrer les conséquences du changement climatique pour les infrastructures et
- Proposer des actions pour adapter le réseau routier au changement climatique.

Le groupe de travail a accompli deux enquêtes auprès de ses pays membres : l'une livre un aperçu des défis posés à chaque pays par le changement climatique (Annexe 1), l'autre un aperçu des travaux en cours relatifs au changement climatique, au niveau national et à celui des administrations routières (Annexe 2). En outre ont été recueillis des exemples de travaux d'adaptation en cours et de bonnes pratiques intéressants l'adaptation au changement climatique (annexe 3).

Le changement climatique tel que décrit par les projections à partir de modèles mondiaux et régionaux soumettra le réseau routier européen à un certain nombre de défis. Il s'agira dans la plupart des cas des mêmes défis qu'aujourd'hui mais à une plus vaste échelle, plus fréquents et sur d'autres sites que prévu. Par ailleurs pourront survenir des combinaisons météorologiques inhabituelles, des inondations en hiver par exemple. Dans certains cas les propriétaires des routes pourront bénéficier du changement climatique, là par exemple où il tombe moins de neige que prévu.

Le **chapitre 1** récapitule comme suit les principaux effets du changement climatique sur le réseau routier :

- Inondations et érosion accrues : un défi pour les systèmes de drainage, la protection anti-érosion, ainsi que pour la conception et l'entretien des ponceaux et des ponts ;
- Glissements de terrain et avalanches : survenues plus fréquentes, sur de nouveaux sites et avec une plus forte part de glissements « mouillés » sous forme d'avalanches de fonte et de charriage de débris ;

¹ Mandat pour le Groupe de travail 16 de la CEDR : Adaptation au changement (ce groupe de travail).

- Les périodes de sécheresse et les fortes températures estivales peuvent, vu la baisse de perméabilité, causer des problèmes de ramollissement aux surfaces en asphalte, mais aussi aux conditions de ruissellement. Le risque de feux de forêts peut également s'accroître dans les régions les plus méridionales ;
- Détérioration des routes et des chaussées : telle qu'exprimée par la vie utile et l'orniérage, là où dans la plupart des cas le drainage ne suffit pas ;
- Effets de la hausse du niveau marin sur la stabilité des côtes, et importance d'assurer aux routes, quais et ponts une élévation suffisante, ainsi que des cotes suffisantes aux entrées des tunnels sous la mer ;
- Fortes chutes de neige dans les zones montagneuses d'Europe du nord, occasionnant des problèmes pendant l'entretien hivernal et compliquant les conditions d'exploitation ;
- Besoin d'une meilleure gestion des risques et de procédures efficaces pour déclencher des mesures correctives après un événement lié au temps, vu le fait que les mesures protectrices actuelles risquent de ne pas suffire et que planifier des mesures correctives prend du temps.

Tous ces effets peuvent être constatés dans toutes les phases de la gestion des routes : la planification, la conception, la construction, l'entretien et l'exploitation.

Le **chapitre 2** met indique certains itinéraires possibles vers une adaptation au changement climatique. Les mesures sont subdivisées en procédures de travail allant de la planification à l'exploitation.

L'adaptation au changement climatique devrait commencer tôt pendant la phase de **planification d'un projet routier**, en choisissant un tracé (élévation incluse) sur lequel la route n'est pas trop exposée au risque de glissements de terrain, d'inondations, etc. Au cours de cette phase de travail, il faudrait préparer un bon plan général de gestion des eaux ruisselantes.

Le changement climatique va dicter d'adapter des règles de **conception** afin de garantir une capacité de drainage et une protection anti-érosion suffisantes, de définir les exigences qualitatives applicables aux matériaux de construction routière, de gérer les risques de glissement de terrain et d'appliquer des mesures assurant la protection de l'environnement. Les **contrats de construction** tenant compte du changement climatique sont importants car ils permettent d'éviter certains des problèmes susceptibles de survenir pendant l'entretien et l'exploitation.

L'entretien et l'exploitation du réseau routier existant sont les deux domaines requérant le plus de travail d'adaptation. Ceci inclut d'évaluer les risques en identifiant les actifs vulnérables et les risques potentiels, ainsi que de gérer les risques liés au temps, y compris par des mesures préventives et les plans d'urgence. Le rattrapage des retards de l'entretien est un volet important de l'adaptation au changement climatique, et il est bénéfique aussi pour d'autres raisons. Il faut préparer les zones montagneuses et les pays septentrionaux à des conditions hivernales plus dures. Dans des conditions météorologiques difficiles, la gestion de la circulation requiert de l'attention et inclut la communication des risques, des itinéraires de déviation et l'utilisation de bons systèmes de surveillance pour contrôler le trafic. Il faut réviser les contrats d'entretien et d'exploitation pour garantir qu'ils tiennent suffisamment compte des conditions climatiques.

En même temps, il est important de **continuer à développer la base de connaissances sur l'adaptation**. On y parvient en soutenant la recherche sur le changement climatique et ses effets sur l'infrastructure, en améliorant la surveillance, la cartographie et la documentation des événements liés au temps sur le réseau routier, en éduquant mieux sur le changement climatique et en faisant prendre conscience de l'importance que revêt cette adaptation.

Le **chapitre 3** décrit quelques principes applicables aux décisions à prendre quant aux mesures alternatives d'adaptation, et à la priorisation de ces mesures.

Il faudrait que l'adaptation au changement climatique commence dès la phase de planification d'un projet routier, et qu'elle s'infilte dans toutes les autres procédures de travail. Pour les structures existantes, il faudrait considérer les mesures d'adaptation comme faisant partie de l'entretien ou des réparations planifiées. Il faudrait choisir ces mesures d'une façon assurant une sécurité suffisante pendant la vie utile (restante) de la structure concernée. Le report d'une action n'est recommandable que si l'on surveille dans son sillage l'état de la structure et l'évolution des facteurs climatiques importants. Dans certains cas, accepter des dégâts et les coûts de réparation s'avèrera peut-être la meilleure solution. L'analyse des risques et celle du rapport coût/bénéfice afférents à de possibles mesures d'adaptation sont recommandées comme base de prise de décision.

Toutefois, définir le niveau de risque *acceptable* est une tâche difficile. Il est également difficile de définir le climat standard ou « normal » valide pendant la vie utile d'une structure ou pendant la durée d'un contrat d'entretien. Ceci souligne la nécessité d'entretenir de bons contacts avec les offices compétents en météorologie et en hydrologie, et de souscrire de bons contrats d'entretien et d'exploitation.

Il est possible de lire ce rapport de différentes façons :

Si principalement la façon dont les paramètres climatiques affectent le réseau routier et si les actions réalisables vous intéressent, concentrez-vous sur les chapitres suivants :

- Le chapitre 1.5 décrit la situation actuelle telle que relatée par les ARN ;
- Le chapitre 1.6 livre un aperçu des plus importants effets et mesures correctives.

Si vous intéresse principalement la façon dont le changement climatique affecte une certaine opération de travail (de la planification à l'exploitation et à l'entretien), concentrez-vous sur les chapitres suivants :

- Le chapitre 1.9 offre un aperçu succinct des effets du changement climatique, et
- Le chapitre 2.3 décrit plus en détails les effets et les mesures.

Si vous intéressent des idées sur le développement de la démarche stratégique de haut niveau pratiquée par les ARN, concentrez-vous sur les chapitres suivants :

- Le chapitre 2.2 contient des idées sur ce qu'il faut inclure dans la stratégie d'adaptation, et
- Les chapitres 3 et 4 abordent les incertitudes et les prises de décisions.

Reportez-vous à l'Annexe 3 pour découvrir un panorama de bons exemples de travaux d'adaptation en cours ou de bonnes pratiques pertinentes dans l'adaptation au changement climatique.

Table des matières

Préface	3
Résumé	4
Table des matières	7
1. Définition de la problématique	8
1.1. Description de la tâche.....	8
1.2. Comment le Groupe de Travail entend la tâche : études réalisées.....	8
1.3. Projections et impacts du changement climatique : un panorama.....	10
1.4. Cadre européen de l'adaptation au changement climatique.....	12
1.5. Situation actuelle	13
1.6. Principaux effets et mesures correctives	22
1.7. Évaluation et gestion des risques	29
1.8. Calculer les coûts du changement climatique pour le réseau.....	30
1.9. Principaux effets du changement climatique sur les procédures de travail.....	31
1.10. Résumé du chapitre 1	32
2. Voies de progression (solutions) possibles	33
2.1. Niveau européen	33
2.2. Niveau national : stratégies d'adaptation au changement climatique.....	33
2.3. Niveau national : procédures de travail, de la planification à l'exploitation du réseau routier.....	34
2.4. La base de connaissances pour l'adaptation au changement climatique.....	39
2.5. Sujets de recherche	39
2.6. Actions sans regret.....	40
3. Comparaison des voies de progression	41
4. Conclusions	44
Annexe 1 - Risques liés au changement climatique	46
Annexe 2 - Étude des travaux en cours sur l'adaptation au changement climatique	67
Annexe 3 - Exemples de travaux d'adaptation et de bonnes pratiques pertinents pour s'adapter au changement climatique	98

1. Définition de la problématique

1.1. Description de la tâche

Extrait du texte du mandat :

« Les infrastructures sont conçues pour résister à certaines variations du climat ainsi que conformément à des événements « référentiels » spécifiques. Les références à des événements spécifiques sont actuellement basées sur l'expérience passée assortie d'une hypothèse de climat stable.

Le changement climatique va affecter les niveaux de risques réels, donc défier les règles de conception et procédures régissant l'exploitation et l'entretien de l'infrastructure routière. Les événements climatiques inhabituels occasionnés par le changement climatique augmentent en nombre et continueront de le faire, en plus des changements prévus dans les moyennes des différents paramètres climatiques. Les impacts sur les infrastructures, l'exploitation et l'économie au sens large peuvent être importants, et dans certains cas plus dangereux même que beaucoup ne le pensent aujourd'hui. Dans les régions montagneuses et accidentées, les chutes de rochers et les glissements de terrain vont être plus fréquents en raison de pluies plus intenses ; sur les littoraux et les berges des cours d'eau, l'érosion de l'infrastructure routière risque d'augmenter suite au niveau accru de l'eau.

Objectifs à atteindre :

- *Montrer les conséquences du changement climatique pour les infrastructures et*
- *Proposer des actions pour adapter le réseau routier au changement climatique. »*

L'adaptation au changement climatique devrait viser les infrastructures routières existantes ainsi que leurs homologues futures, et s'harmoniser également avec d'autres évolutions importantes dans la gestion des routes, dont la demande d'une sécurité accrue de la circulation. Il faudrait également inclure des caractéristiques environnementales telles que la topographie et le type de sol.

Le programme de recherche collaborative intitulé « Les propriétaires de routes s'attaquent au changement climatique » a été lancé par ERA Net Road et géré par un Conseil exécutif de programme où étaient représentées toutes les administrations routières nationales (ARN) apportant un soutien financier au programme. Le programme a été lancé pour exploiter les synergies et minimiser les coûts en double en développant un savoir commun, un outillage d'adaptation et des stratégies.

De façon similaire, il faudrait que cette tâche actuelle serve de plate-forme par laquelle échanger les connaissances et l'expérience, et qu'elle soit l'occasion de discuter de différents outils et stratégies permettant une adaptation.

1.2. Comment le Groupe de Travail entend la tâche : études réalisées

Le Groupe de Travail 16 a discuté de tous les principaux challenges qui attendent le réseau routier : augmentation des précipitations et de leur intensité, fortes chutes de neige, sécheresses, hausse du niveau de la mer, températures extrêmes et variations de températures autour de zéro degré Celsius. Ont également été inclus les effets du changement climatique sur l'infrastructure physique ainsi que sur l'exploitation et la sécurité de la circulation.

Comment définir le niveau de risque acceptable ou tolérable ? Cette question est à la fois importante et épineuse. Le niveau de risque acceptable dépendra dans une large mesure de problématiques telles que la situation financière des ARN, des priorités politiques et des objectifs. Par conséquent, ces aspects n'ont pas été discutés par le groupe. A la place, il s'est attaché à obtenir une vue d'ensemble du savoir-faire existant, des outils de gestion des risques et des démarches permettant de maintenir un réseau routier robuste et fonctionnel dans un environnement climatique astreignant.

Le groupe de travail a accompli deux enquêtes auprès de ses pays membres :

- **L'Annexe 1** livre une vue d'ensemble des défis relatifs au changement climatique tels que les pays membres les voient et en font état.
- **L'Annexe 2** livre une vue d'ensemble des travaux en cours, liés au changement climatique, au niveau national et à celui de chaque administration routière.

Les résultats de ces enquêtes sont résumés au chapitre 1.5 et le présent rapport s'y réfère plusieurs fois.

Le **recueil d'exemples** de travaux d'adaptation et de bonnes pratiques, pertinents pour s'adapter au changement climatique, représente une part importante du présent rapport. Pour des raisons pratiques, ces exemples sont réunis à l'**Annexe 3**. Il est fait référence à ces exemples aux sections correspondantes du panorama thématique composant le chapitre 1.6.

Des études sur les effets du changement climatique sur les réseaux routiers ont préalablement été réalisées par d'autres réseaux transnationaux. Sous l'ombrelle de la *Nordic Road Association* (Nordiskt vägforum - NVF), le Comité Technique 41² sur l'entretien des routes a instauré un groupe de travail sur le changement climatique au cours de la période 2004 – 2008. Les principaux résultats de ce travail ont été présentés à Helsinki en 2008, lors de la conférence *Via Nordica*.³ Le groupe a produit un aperçu du changement climatique selon une perspective nordique, et comparé les risques jugés les plus importants dans chacun des pays nordiques. Une analyse simplifiée des risques a montré que l'accroissement des pluies et inondations représente le risque le plus courant et le plus grave dans les pays participants (projet de rapport non publié).

Pour cette raison, un groupe de suivi a été désigné pour étudier les risques d'inondation sur le réseau routier au cours de la période 2008 –2012. Ce groupe a pour principales tâches de recueillir des informations sur les stratégies et plans d'action des propriétaires municipaux et nationaux de routes dans les pays nordiques, d'identifier et partager des informations sur de bons exemples de mesures préventives, d'organiser un atelier nordique et de contribuer à la réalisation de projets étudiants dans chacun des pays nordiques.

The World Road Association (PIARC) Technical Committee D.2: L'Association mondiale de la route (AICPR - Comité Technique D.2 : Chaussées routières,⁴ groupe de travail D.2.b.5) a préparé un rapport intitulé *Meilleures pratiques permettant de gérer les effets du changement climatique sur les chaussées routières*. Une enquête a été réalisée au sein des 14 pays participants afin de cartographier les préoccupations que suscitent, aux propriétaires de routes, les effets du changement climatique sur les chaussées routières. Ces effets ont été analysés et divisés en impacts directs et secondaires. En outre l'enquête livre un panorama thématique des solutions et techniques d'atténuation possibles. Les solutions sont divisées en solutions à court, moyen et long terme. Finalement le rapport discute du développement de politiques et stratégies d'adaptation.

² NVF, comité technique 41, *Operation and maintenance of roads and streets (Exploitation et entretien des routes et des rues)*, groupe de travail sur le changement climatique. (<http://www.nvfnorden.org/pages/773>)

³ Session 7 'Climate change', congrès *Via Nordica*. Helsinki, 9–11 juin 2008. (<http://vianordica2008.vegagerdin.is/>)

⁴ PIARC, comité technique D.2 : Chaussées routières. (<http://www.piarc.org/en/technical-committees/committee-D.2/>)

1.3. Projections et impacts du changement climatique : un panorama

Le résumé suivant du changement climatique projeté en Europe d'ici à la fin de ce siècle est basé sur le Quatrième rapport d'évaluation publié en 2007 par le Groupe intergouvernemental sur le changement climatique (IPCC).^{5,6} Les changements listés ici sont basés sur un ensemble de scénarios de rejets de gaz à effet de serre (GES), et n'ont d'autre intention que de donner une idée des changements auxquels les propriétaires de routes européens devront s'adapter.

La température

Selon les prédictions, les températures moyennes vont augmenter partout en Europe et en toute saison. L'on s'attend à ce que ce réchauffement soit plus important pendant les mois d'hiver que d'été en Europe septentrionale et orientale, tandis qu'un réchauffement plus important qu'en hiver est attendu l'été en Europe occidentale, méridionale et centrale. D'une manière générale, la température annuelle moyenne peut augmenter de 1 à 5,5 degrés selon la région, les scénarios et modèles d'émission.

Selon les prévisions, la température maximum annuelle va augmenter en Europe méridionale et centrale beaucoup plus qu'en Europe septentrionale. En été, l'augmentation de température est plus liée à des températures accrues au cours des journées chaudes qu'au réchauffement général. De même en hiver, le réchauffement est lié à des températures plus élevées pendant les journées froides conduisant à des températures extrêmes moins fréquentes. La Fig. 1 : Cette figure est extraite de la figure 11-5, section Base scientifique physique, du rapport de l'IPCC en 2007 : changement des températures annuelles moyennes, en hiver (DJF) et en été (JJA) entre la fin du 20^e et la fin du 21^e siècle. montre des résultats modélisés du changement prévu de températures partout en Europe au cours du 21^e siècle.

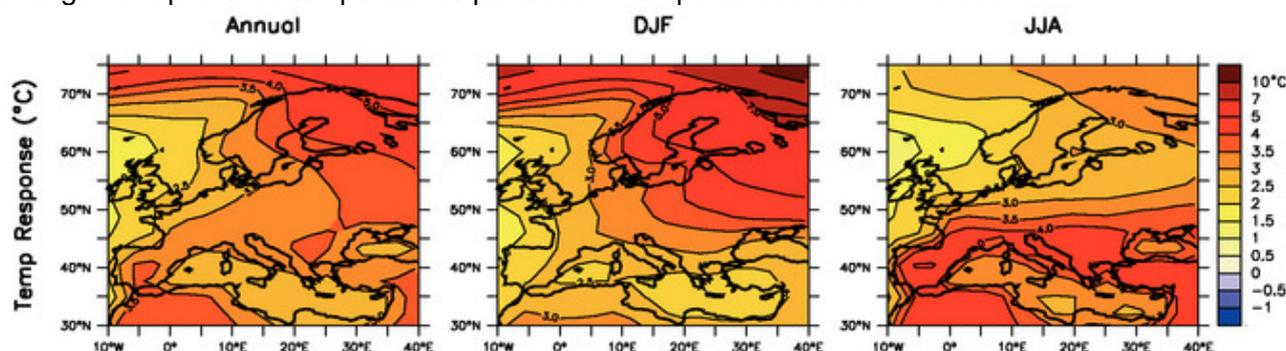


Fig. 1 : Cette figure est extraite de la figure 11-5, section Base scientifique physique, du rapport de l'IPCC en 2007 : changement des températures annuelles moyennes, en hiver (DJF) et en été (JJA) entre la fin du 20^e et la fin du 21^e siècle.

⁵ IPCC, 2007 : Climate Change 2007 : *Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Impacts, adaptation et vulnérabilité. Contribution du groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du groupe intergouvernemental sur le changement climatique) M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 pp. (http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml)

⁶ IPCC, 2007 : Climate Change 2007 : *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (A la base : la science physique. Contribution du groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du groupe intergouvernemental sur le changement climatique), Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. (http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml)

Les précipitations

Tous les scénarios prévoient que les précipitations annuelles moyennes augmenteront dans le nord de l'Europe et diminueront dans le sud, tandis que les changements dans les précipitations saisonnières pourront varier entre les régions. Certains modèles discernent une augmentation des précipitations hivernales en Europe occidentale, septentrionale et centrale tout en prédisant une diminution dans les régions méditerranéennes. Les précipitations estivales diminueront substantiellement en Europe méridionale et centrale, mais pas autant plus au nord et en Scandinavie.

Une augmentation de l'intensité des précipitations quotidiennes est probable même dans les régions où les précipitations moyennes projetées seront en baisse. Dans certaines régions d'Europe septentrionale, la probabilité de précipitations extrêmes pourrait se retrouver multipliée.

Les sécheresses prolongées seront plus fréquentes dans les zones connaissant des moyennes de précipitations estivales en baisse et températures élevées. La Fig. 2 : *Changement des précipitations annuelles moyennes, en hiver (DJF) et en été (JJA) entre la fin du 20e et la fin du 21e siècle (même source que la figure précédente)* est une illustration graphique des changements de précipitations attendus en Europe.

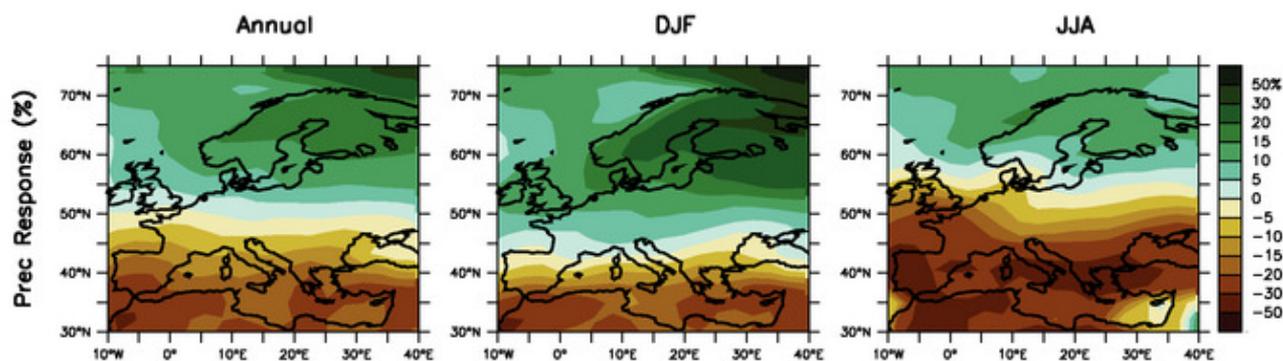


Fig. 2 : *Changement des précipitations annuelles moyennes, en hiver (DJF) et en été (JJA) entre la fin du 20^e et la fin du 21^e siècle (même source que la figure précédente)*

Le vent

Dans les modèles climatiques, le changement de vitesse moyenne du vent est jugé moins fiable en raison de différences, entre les différents modèles, dans la circulation à grande échelle. Toutefois, certains modèles régionaux prédisent huit pour cent d'augmentation de la vitesse moyenne annuelle du vent en Europe du nord, et une diminution dans les régions méditerranéennes. L'augmentation en Europe du nord est la plus forte en hiver et au début du printemps.

Les vitesses extrêmes vont s'accroître en Europe occidentale et centrale ainsi que dans le bassin de la Mer du Nord.

Le niveau de la mer

Selon les scénarios d'émissions, les projections modélisées donnent une hausse moyenne du niveau mondial de la mer comprise entre 0,09 et 0,88 m d'ici à 2100. Le rythme d'élévation du niveau pourrait être 2 à 4 fois plus élevé qu'aujourd'hui. En Europe, des facteurs régionaux peuvent faire que la hausse de niveau dépasse de jusqu'à 50 % ces estimations pour l'échelle mondiale. L'impact de l'oscillation nord-atlantique sur les niveaux marins hivernaux ajoute à ces estimatifs une incertitude supplémentaire de 0,1 à 0,2 m. Concourt également à l'incertitude le fait que les modèles ne sont pas adaptés à la fonte des calottes polaires, y compris de l'inlandsis groenlandais.

1.4. Cadre européen de l'adaptation au changement climatique

- L'IPCC 2000 a publié une série de scénarios d'émissions, et a appelé les quatre principaux A1, A2, B1 et B2 ; ces scénarios diffèrent par leurs hypothèses de croissance de la population, de l'économie, de distribution de la croissance et d'ampleur des mesures correctives prises par la communauté internationale. Ces scénarios servent de base pour développer des scénarios à échelle réduite au niveau national et régional fournissant la base sur laquelle formuler des mesures d'adaptation au changement climatique.
- La Convention-Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC) a été négociée en 1992 et sert de cadre global aux États membres pour lutter contre les changements climatiques. Concernant l'adaptation, la CCNUCC formule des engagements, émanant des pays signataires, visant à développer des plans d'adaptation nationaux intégrés et des programmes préparant des mesures d'adaptation.
- La directive UE sur l'évaluation et la gestion des risques d'inondation (Directive 2007/60/CE) a été publiée en octobre 2007.⁷ S'occupant pas spécifiquement du changement climatique, cette directive est hautement pertinente dans le travail d'adaptation des ARN.
- Publié par la Commission Européenne en 2009, le Livre blanc intitulé⁸ « *Adaptation au changement climatique : vers un cadre d'action européen* », a esquissé une politique d'adaptation en deux phases au sein de l'UE, la première, comprise entre 2009 et 2012, visant à :
 - Construire une base solide de connaissances sur l'impact et les conséquences du changement climatique pour l'UE ;
 - Intégrer l'adaptation dans les domaines politiques communautaires clefs, à « intégrer dans le courant principal » ;
 - Employer une combinaison d'instruments politiques (instruments basés sur le marché, directives, partenariats public-privé) pour garantir l'obtention effective d'une adaptation, et
 - Intensifier la coopération internationale sur l'adaptation.

Un Groupe de pilotage de l'impact et de l'adaptation (IASG) a été constitué et flanqué d'un certain nombre de groupes techniques pour l'aider à développer la stratégie de l'UE et aider les États membres à préparer les stratégies d'adaptation nationales.

- Le Livre blanc *Un avenir durable pour les transports*, publié en 2009⁹ par la Commission Européenne énonce que « le secteur des transports lui-même subira les effets du changement climatique et nécessitera des mesures d'adaptation. Se traduisant par une élévation des niveaux marins, le réchauffement planétaire va amplifier la vulnérabilité des infrastructures côtières, ports compris. Les événements météorologiques extrêmes affecteraient la sécurité de tous les modes de transport. Les sécheresses et inondations vont poser des problèmes aux cours d'eau intérieurs. »

⁷ Directive communautaire d'octobre 2007 sur l'évaluation et la gestion des risques d'inondation (Directive 2007/60/CE). http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/index.htm.

⁸ Livre blanc publié par la Commission Européenne en 2009, intitulé *Adaptation au changement climatique : vers un cadre d'action européen* (<http://www.eurosite.org/en-UK/content/adapting-climate-change-towards-european-framework-action>)

⁹ Livre blanc publié par la Commission Européenne en 2009, intitulé *Un avenir durable pour les transports*. (http://ec.europa.eu/transport/strategies/2009_future_of_transport_en.htm)

- Le rapport publié en 2009 par PEER (Partnership for European Environmental Research) et intitulé « Europe Adapts to Climate Change, Comparing National Adaptation Strategies » (L'Europe s'adapte au changement climatique – Comparaison des stratégies d'adaptation nationales)¹⁰, compare les stratégies d'adaptation dans neufs pays européens et montre que des itinéraires très différents ont été empruntés concernant par exemple l'interaction entre les politiques gouvernementales et sectorielles, la séquence d'adaptation régionale/nationale ou inversement, la recherche conduite comme base de l'adaptation, etc. L'importance de partager les connaissances est soulignée.
- Le Livre blanc publié en 2011 par la Commission Européenne,¹¹ « Feuille de route pour un espace européen unique des transports – Vers un système de transport compétitif et économe en ressources », étudie comment réduire les émissions de GES. Toutefois, la nécessité d'une infrastructure résiliente au climat est reconnue, et il est suggéré qu'elle fait partie intégrante du travail de recherche. Il faudrait s'assurer que l'infrastructure financée par l'UE englobe aussi bien l'efficacité énergétique que la résilience au climat.

1.5. Situation actuelle

La description suivante de la situation actuelle relative aux risques issus du changement climatique, le travail de recherche en cours et le développement de stratégies sont basés sur les études composant l'Annexe 1 et l'Annexe 2.

1.5.1. Principaux risques menaçant le réseau routier liés au changement climatique

Comme le montre le chapitre 1.3, il est possible, concernant les températures croissantes, de diviser l'Europe en deux principales régions : 1) L'Europe septentrionale et orientale d'un côté, 2) l'Europe méridionale, occidentale et centrale de l'autre. En Europe septentrionale et orientale, l'augmentation plus importante prévue des températures hivernales (comparé aux températures estivales) pourrait entraîner des alternances gel/dégel plus fréquentes dans des zones aux conditions hivernales aujourd'hui stables. Ceci pourrait multiplier les phénomènes de réduction d'adhérence de la route et accroître la détérioration / les dégâts dus au gonflement par le gel, donc la demande en produits chimiques de déverglaçage, et dicter un renouvellement plus fréquent de la chaussée. Trois pays membres citent cette préoccupation : la Norvège, la Suède et la Finlande. Un autre effet pourrait consister en des chutes de rochers plus probables bien que cet effet, comme l'indique la Norvège, soit difficile à prédire. Une hausse générale des températures va également entraîner une diminution d'épaisseur du sol gelé ou permafrost ; or il s'agit d'un important facteur de portance en Suède par exemple, ce qui pourrait occasionner des problèmes au transport par poids lourds et accroître la détérioration des routes.

En Europe méridionale, occidentale et centrale, les principaux risques sont liés à des journées d'extrême canicule plus fréquentes et à un réchauffement général en été. Ces changements préjudicient principalement aux états de la chaussée et à la durabilité des chaussées/surfaces. Même des pays membres comme l'Espagne, déjà confrontés à de hautes températures et à des problèmes relatifs à la durabilité de la chaussée, déclarent nécessaire d'effectuer des recherches dans ce domaine. Des températures hivernales plus douces en Europe centrale pourraient réduire la demande en dégagement de la neige mais accroîtraient simultanément la nécessité de déverglacer les chaussées froides lorsque la pluie a réduit leur adhérence.

¹⁰ PEER Report no 1, 2009. *Europe adapts to climate change. Comparing national adaptation strategies* (L'Europe s'adapte au changement climatique – Comparaison des stratégies d'adaptation nationales). (http://www.peer.eu/publications/europe_adapts_to_climate_change/)

¹¹ Livre blanc publié par la Commission Européenne en 2011, intitulé *Feuille de route pour un espace européen unique des transports – Vers un système de transport compétitif et économe en ressources*.

Une augmentation probable des précipitations hivernales en Europe occidentale, septentrionale et centrale pourrait d'une manière générale accroître les coûts d'exploitation (dégagement de la neige et salage) et la nécessité de développer et adapter des plans d'urgence, des directives d'entretien hivernal et des mesures visant la sécurité de la circulation. Des chutes de neige plus importantes (abondance et intensité) haussent le risque d'avalanche et peuvent conduire à investir plus dans des installations protectrices. La Norvège et d'autres pays soulignent la nécessité de développer la modélisation des risques de glissement de terrain et d'avalanche, un meilleur outillage pour prédire les avalanches, et des systèmes d'alerte avalanche.

Comme l'indique l'Espagne, une diminution substantielle des précipitations estivales associée à une hausse des températures en Europe méridionale et centrale engendrera directement des périodes de sécheresse plus graves et plus longues. En outre va apparaître un risque de feux de forêt plus fréquents. Tandis que l'Europe méridionale connaît ce problème déjà depuis longtemps, il va constituer un nouveau défi pour les pays d'Europe centrale. Des systèmes régulant l'acheminement de l'eau, tels qu'utilisés déjà en Espagne par exemple, et des plans d'action spéciaux dans des situations d'alerte devront être adoptés par les pays, l'Autriche par exemple, où ce problème sera relativement nouveau.

Dans toute l'Europe existe un risque qu'augmentent l'intensité des précipitations quotidiennes et la probabilité de précipitations extrêmes, en particulier dans certaines régions d'Europe septentrionale comme l'indiquent la Norvège et la Suède dans l'étude.

Cela peut provoquer des inondations plus fréquentes dans les systèmes de drainage existants dont la capacité ne suffit pas. Une érosion et des glissements de terrain peuvent également en résulter, risque que tous les pays membres soulignent. Il faudra adapter les directives visant la conception des ponceaux, drainages, ponts et des protections anti-érosion et anti-glissement de terrain appropriées. D'une manière générale, les problèmes dus à des vents ou tempêtes plus intenses ne sont pas considérés comme très graves par les États membres de ce groupe de travail. Ces risques peuvent être gérés via des plans d'urgence améliorés. Les coûts de l'entretien pourraient de toute façon augmenter en raison des arbres renversés et des congères.

Les routes littorales sont exposées au risque, anticipé, de changements du niveau de la mer. La Suède, la Norvège, le Danemark et la France signalent être préoccupés par la faible altitude à laquelle ont été construits certains tronçons de routes, quais de ferries et entrées de tunnels sous la mer. Outre la nécessité de mieux analyser les niveaux marins probables, il faudra également adapter et appliquer des directives visant la conception de remparts littoraux contre l'érosion par les vagues.

Un tableau récapitulatif a été dressé pour faciliter la comparaison entre pays et pour identifier les challenges les plus courants. Ce tableau repose sur l'étude des risques dont l'Annexe 1 donne tous les détails. Pour chaque pays, la probabilité estimée des risques et leur gravité a été notée de 0 à 3. L'échelle suivante a été appliquée :

Tableau 1: Note donnée à la probabilité et la gravité présumées de différentes menaces.

Points	Probabilité, base scientifique	Gravité du risque
3	Risque vérifiable	Extrêmement grave
2	Risque probable	Grave
1	Probabilité réduite	Moins grave
0	Improbable	Sans effet

A l'aide de cette approche numérique, le risque général peut être caractérisé conformément au code couleur employé par une matrice typique des risques. Voici une matrice de risques provenant du projet Gestion des risques pour les routes dans un climat changeant (Risk Management for Roads in a Changing Climate - RIMAROCC)¹²:

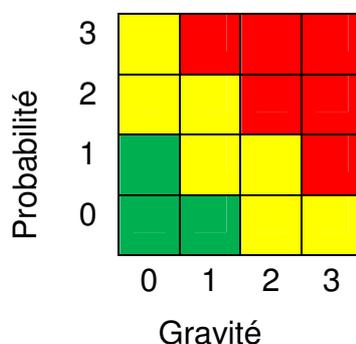


Fig. 3 : Matrice des risques - Codes couleur affectés à l'effet combiné de la probabilité et de la gravité

Le Tableau 2 : « Résultats d'enquêtes dans les différents pays sur l'évaluation de la probabilité des effets et de la gravité des conséquences dus aux changements dans les paramètres climatiques. P= Probabilité, G = Gravité » ci-dessous résume la probabilité et la gravité d'ensemble des principaux défis.

¹² Bles Thomas, Ennesser Yves, Fadeuilhe Jean-Jacques, Falemo Stefan, Lind Bo, Mens Marjolein, Ray Michel and Sandersen Frode, 2010 : *A guidebook to the RIMAROCC Method* (Manuel de la méthode RIMAROCC), projet RIMAROCC , ERA-NET ROAD.

Tableau 2 : Résultats d'enquêtes dans les différents pays sur l'évaluation de la probabilité des effets et de la gravité des conséquences dus aux changements dans les paramètres climatiques. P = Probabilité, G = Gravité

	Températures élevées		Températures voisines de 0		Le vent		Tempête		Intensité de la pluie		Débit d'écoulement accru dans les rivières		Inondations		Sécheresse		Glissements de terrain		Avalanches		Intensité des chutes de neige		Hausse du niveau de la mer	
	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G
 Norvège	3	1	3		1		1		3	3	2	2	3	2	1	1	2	2	2	2	3	2	3	2
 Finlande	2	1	3	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	3	1	1	3	2	1	0
 Suède	2	2	3	2	1	2			3	3	2	2	3	2	1	1	3	3	1	1	1	2	2	2
 Danemark	2	2	1	1	2	1	1	1	3	2	2	1	2	2	2	1	0	0	0	0	1	1	2	2
 Royaume-Uni	3	1	1	0	1	1	2	2	3	2	3	1	3	2	2	1	1	0	0	0	1	1	2	1
 Irlande	2	1	1	2	1	1	1	1	3	2	1	1	3	2	1	0	1	2	0	0	0	0	1	1
 France	3	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	3	3	1	2	1	1	2	2	3	2
 Autriche	2	2	3	2	1	1	1	1	2	2	1	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	0	0
 Hongrie	3	2			2	1	3	2	3	2	3	2	3	2	3	1	2	1	0	0	3	2	0	0
 Italie	3	2	2	2	1	1	2	1	2	2			2	2	1	1	2	2			2	2	1	1
 Espagne	3	2	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	3	2	2	1	2	1	2	1	2	1

1.5.2. Effets bénéfiques

Dans certains domaines de travail, le changement climatique peut avoir un effet bénéfique. La France se réfère à un effet positif probable sur l'indice de gel lequel constitue une source fondamentale de données utilisée pour concevoir la chaussée. La Hongrie s'attend à une période hivernale généralement plus courte, pouvant conduire à réduire les dégâts dus au gel ainsi que le nombre d'accidents provoqués par le verglas ou la neige.

La Norvège et la Suède attendent moins de neige dans les zones de faible altitude et les pans méridionaux de la péninsule, ce qui pourrait réduire les besoins en entretien hivernal et partant les coûts, et permettrait de laisser plus de tronçons routiers ouverts pendant les mois d'hiver. En Norvège une neige moins abondante dans les zones de faible altitude peut également entraîner une réduction des avalanches sur certains sites.

Une période de croissance végétale plus longue peut gêner le long des routes mais, d'un autre côté, de plus hautes limites de la croissance arborée peuvent réduire les problèmes de congères à haute altitude et exercer un effet stabilisateur sur les avalanches.

Le fait que des itinéraires libres de glace dans l'océan arctique puissent être exploités dès ce 21^e siècle est souligné comme étant bénéfique à des secteurs autres que le transport routier. Toutefois, une plus grande activité dans les régions septentrionales lointaines de l'Europe va également intensifier les transports routiers et amplifier la demande d'un réseau routier en bon état de fonctionnement.

1.5.3. Politiques nationales d'adaptation au changement climatique

La **Finlande** pratique une stratégie nationale d'adaptation au changement climatique (2005).¹³ Le Ministère des transports et communications a publié en 2009 une politique à court terme (2009-2020) axée sur le changement climatique.¹⁴ Pendant ce mandat électoral, l'adaptation au changement climatique ne va pas accroître la nécessité de ressources additionnelles dans la gestion des infrastructures de base, mais cela pourrait changer dans un avenir proche. Les plus importantes mesures à prendre jusqu'en 2015 sont définies dans la politique. Ces mesures incluent d'intégrer l'adaptation au changement climatique dans tous les processus et de planifier les investissements à long terme, elles incluent des systèmes d'avertissement meilleurs, un supplément de recherche et de participation internationale.

En 2010, la **France** a publié un Plan d'adaptation au changement climatique¹⁵ où les infrastructures de transport constituent l'un des thèmes. Cinq principaux domaines de travail ont été reconnus :

- Actualiser les procédures et directives existantes ;
- Promouvoir la recherche sur toutes les innovations techniques permettant de réagir mieux et à moins de frais aux problèmes du changement climatique ;
- Communiquer et sensibiliser les parties prenantes ;
- Développer des projets d'évaluation des risques et de la vulnérabilité, et
- Maîtriser les conséquences de la hausse du niveau marin.

Le chapitre d'exemples 1.5.3 à l'Annexe 3 décrit plus en profondeur le plan d'adaptation français.

¹³ Finlande : *Stratégie nationale pour le changement climatique*, voir l'Annexe 2. (<http://www.mmm.fi/en/index/frontpage/ymparisto/ilmastopolitiikka/ilmastomuutos.html>)

¹⁴ Finlande : *La politique du Ministère des transports et communications relative au changement climatique* (2009), voir l'Annexe 2.

¹⁵ France, plan d'adaptation, PNACC 2011-2015, voir l'annexe 2 et l'exemple du chapitre 1.5.3 à l'Annexe 3. (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-Plan-national-d-adaptation.22978.html>, <http://www.developpement-durable.gouv.fr/The-national-climate-change.html>)

En **Norvège**, le changement climatique et l'adaptation sont discutés dans le rapport de 2008 intitulé *Adaptation au changement climatique en Norvège – Les efforts d'adaptation entrepris par le gouvernement norvégien*¹⁶ ainsi que dans le rapport de mai 2009 présenté au parlement norvégien par le Ministre de l'environnement et du développement international.

Un comité spécial a été désigné pour analyser soigneusement la vulnérabilité de la société et la nécessité qu'elle s'adapte aux conséquences du changement climatique. Le comité a déposé son rapport en novembre 2010.¹⁷ L'infrastructure physique, y compris l'infrastructure de transport, constitue l'un des domaines où se concentre l'investigation. Le rapport souligne l'importance d'examiner les effets du changement climatique dans toutes les phases de travail, de réaliser des études de vulnérabilité sur le réseau routier existant et d'adapter les règles de conception. Cette investigation servira de base à la rédaction d'un livre blanc sur l'adaptation au changement climatique.

La stratégie nationale de la **Hongrie** face au changement climatique¹⁸ contient, pour 2008–2025, un chapitre traitant de l'adaptation au changement climatique et inclut l'infrastructure de transport. Certains des besoins soulignés sont les suivants : préserver la nature, modifier les tracés des routes, réviser des normes, directives et règlements de construction, et accomplir des analyses complexes des risques pesant sur « l'infrastructure critique ».

Formulé pour l'horizon 2100, le Plan national **espagnol** d'adaptation au changement climatique (PNACC)¹⁹ inclut le secteur des transports sans le considérer toutefois comme un secteur prioritaire à ce stade (en Espagne, c'est l'écosystème marin qui jouit de la priorité, pour optimiser l'exploitation portuaire et la navigation maritime). Toutefois, il reconnaît la nécessité possible de modifier les ouvrages d'infrastructure tels que les ponts et les tarmacs, de modifier les paramètres liés au climat et de remédier aux effets dus à l'élévation du niveau marin. Il faut évaluer le risque et la vulnérabilité en termes de sécurité pour l'infrastructure.

Le document politique du **Danemark** intitulé *Stratégie danoise d'adaptation au changement climatique* a été publié en mars 2008.²⁰ Cette stratégie est basée sur la notion que l'adaptation au changement climatique est un processus à long terme et qu'il n'est pas encore certain en quoi les conséquences du changement climatique vont consister et à quelle échéance elles surviendront. Par conséquent, le gouvernement va lancer une campagne d'information et structurer ce thème dans le but d'assurer que le changement climatique soit incorporé dans la planification et le développement, afin que les pouvoirs publics, les entreprises et les citoyens disposent de la meilleure base possible pour étudier s'il faut faire entrer le changement climatique en ligne de compte, comment et quand.

¹⁶ *Adaptation aux changements climatiques en Norvège. Les efforts d'adaptation du gouvernement norvégien*, Ministère de l'environnement, 2008, (http://www.regjeringen.no/upload/MD/Vedlegg/Klima/Klimatilpasning/Klimatilpasning_redegjorelse150508.pdf)

¹⁷ Évaluation des risques nationaux en Norvège, NOU 2010 :10, Livre vert (en norvégien) du Ministère de l'environnement. (<http://www.regjeringen.no/en/dep/md/kampanjer/engelsk-forside-for-klimatilpasning.html?id=539980>)

¹⁸ Hongrie Décret parlementaire No. 29/2008. (III. 20.) sur la stratégie nationale face au changement climatique.

¹⁹ Plan d'adaptation espagnol, PNACC (2006) Ministère espagnol de l'environnement, des affaires rurales et maritimes, voir l'Annexe 2.

²⁰ *Stratégie danoise d'adaptation à un climat en cours de changement*, par le gouvernement danois, mars 2008. (http://www.kemin.dk/Documents/Klima-%20og%20Energipolitik/klimatilpasningsstrategi_UK_web.pdf)

1.5.4. Stratégies des ARN visant l'adaptation du réseau routier au changement climatique

L'Agence finlandaise des transports a publié un plan à long terme intitulé *Conditions de transport en 2035* (Liikenneolosuhteet 2035) ;²¹ dans ce document, l'Agence finlandaise des transports livre son opinion experte sur le secteur des transports du futur et sur sa transposition. Ce document inclut des directives visant les travaux autour des systèmes de transport ainsi que la gestion des routes. Il comprend quatre visions stratégiques dont une intitulée : « Nos actions aujourd'hui vont impacter demain ». L'atténuation et l'adaptation du changement climatique constituent la principale thématique dans ce chapitre, une autre étant la sécurité et l'environnement. Le plan actuel se concentre sur les activités d'atténuation. La partie consacrée à l'adaptation énonce qu'il faudrait maintenir le niveau de service même si les inondations, le vent, des pluies plus intenses et des températures voisines de zéro deviennent plus fréquentes.

En Norvège, le Plan national de transport²² contient les recommandations du Ministère des transports et des communications relativement à la politique gouvernementale des transports, et un plan stratégique qui vise à développer l'ensemble de l'infrastructure publique de transport routier, ferroviaire et maritime. Publié tous les 4 ans, ce plan est fondé sur un certain nombre de rapports thématiques développés par les administrations des transports, y compris l'Administration norvégienne des routes publiques (Statens vegvesen – NPRA). Bien que l'adaptation au changement climatique ait fait l'objet de rapports thématiques dans deux plans consécutifs, une stratégie d'adaptation à part n'a pas encore été formulée, ni pour l'administration routière ni pour le secteur des transports dans son ensemble.

En mai 2011, le gouvernement du Royaume-Uni a publié le document intitulé Climate Resilient Infrastructure: Preparing for a Changing Climate (Infrastructure résiliente au changement climatique : préparatifs en vue d'un climat changeant)²³ qui énonce comment le gouvernement envisage d'adapter l'infrastructure – dans les secteurs de l'énergie, de l'information et de la communication, des transports et de l'eau – aux impacts du changement climatique. Bien que ces secteurs ne constituent qu'une partie du système infrastructurel national, tous jouent un rôle vital et forment un ensemble de réseaux interconnectés sur lesquels d'autres secteurs infrastructurels, pans de l'économie et de la société s'appuient pour fonctionner. La réponse de la Highways Agency au challenge que constitue le changement climatique doit inclure à la fois l'atténuation (prise de mesures pour réduire les émissions de gaz à effets de serre) et l'adaptation (changer de comportement pour mieux l'adapter au climat futur attendu).

De nombreuses activités de la Highways Agency sont soit directement affectées soit influencées par le climat. La Highways Agency s'est engagée à évaluer les risques potentiels auxquels les changements climatiques exposent la gestion, l'entretien, l'amélioration et l'exploitation courantes du réseau routier stratégique. Elle va tenir compte des changements climatiques anticipés dans la fourniture de ses activités, et développer des solutions de gestion et d'atténuation appropriées pour supprimer ou réduire ces risques.

²¹ Plan à long terme de l'ARN finlandaise, *Conditions de transport en 2035* (Liikenneolosuhteet 2035). (http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/fi/liikennevirasto/tapamme_toimia/liikenneolosuhteet_2035)

²² Plan national des transports 2010-2019, Livre blanc du Ministère norvégien des transports, mars 2009, <http://www.ntp.dep.no>.

²³ *Climate-resilient infrastructure : Preparing for a changing climate* (Infrastructure résiliente au climat : préparatifs en vue d'un climat changeant), 2011. United Kingdom Government, Secretary of State for Environment, Food and Rural Affairs. ISBN : 978010180652

La Highways Agency a besoin de garantir qu'elle va continuer de fournir un robuste réseau routier stratégique dans un climat en cours de changement, et a développé en ce sens le document intitulé *Highways Agency climate change adaptation strategy and framework (2009)* (Stratégie et cadre d'adaptation de la Highways Agency au changement climatique)²⁴.

1.5.5. Programmes de recherche en cours sur le changement climatique

Des travaux sur l'adaptation au changement climatique ont démarré dans presque tous les pays membres. Les différences sont significatives toutefois concernant le type de travail, la démarche et l'ancrage dans une initiative politique. Nombre d'ARN participantes sont engagées dans des projets nationaux collaboratifs « tractés » par d'autres institutions du pays. Le résumé suivant passe en revue quelques projets seulement, consacrés aux secteurs des transports ou routier.

Programme de recherche européen

Le programme de l'UE ERA-NET ROAD a combiné des fonds de recherche provenant de onze administrations routières pour lancer un appel conjoint à projets de recherche dans le domaine de l'adaptation au changement climatique : « Les propriétaires de routes s'attaquent au changement climatique »²⁵. Parmi les membres du Groupe de Travail 16 de la CEDR, le Royaume-Uni, la Finlande, la Suède, l'Espagne, la Norvège, l'Autriche et le Danemark sont également partenaires au sein d'EraNet Road. Quatre projets ont été exécutés : Indice hivernal local amélioré pour évaluer les besoins d'entretien et les coûts d'adaptation dans les scénarios de changement climatique (IRWIN) ; Exigences de performance et de rectification de la chaussée suite au changement climatique (P2R2C2) ; Prévention des eaux d'intempéries – Méthodes pour prédire les dégâts provoqués par les cours d'eau dans les chaussées routières ou près d'elles en régions de basse altitude (SWAMP) et Gestion des risques pour les routes dans un climat en cours de changement (RIMAROCC). Ces projets figurent dans les exemples de travaux de R&D, aux rubriques spécifiques.

Exemples de travaux de R&D lancés/accomplis/pilotés par les ARN

Norvège

La NPRA est en train de finaliser un programme de recherche et de développement portant sur « Le climat et les transports de 2007 à 2010 »²⁶ et consacré à l'adaptation au changement climatique. Ce programme traite de tous les aspects de la planification, de la construction et de la gestion des routes, et vise à étudier les effets du changement climatique et à proposer des mesures correctives. En outre, la NPRA soutient plusieurs programmes de R&D plus vastes sur le changement climatique lancés par d'autres agences.

²⁴ *Climate change adaptation strategy and framework (Stratégie et cadre d'adaptation au changement climatique)*, 2009. Révision B – publication en novembre 2009. Highways.

²⁵ <http://www.eranetroad.org>,
http://www.eranetroad.org/index.php?option=com_content&view=article&id=76&Itemid=79

²⁶ www.vegvesen.no/klimaogtransport

Suède L'administration suédoise de la circulation a soutenu, financé, lancé et exécuté un grand nombre de projets de recherche sur les conditions géotechniques, sur les effets environnementaux du changement climatique et sur des méthodes d'analyse des risques. Parmi eux figure le programme « Naturhändelser med negativa konsekvenser för samhället i dagens och morgondagens klimat' (Risques naturels aux conséquences négatives pour la société actuelle et le climat futur)²⁷, sous l'ombrelle administrative de l'Agence suédoise de la sécurité civile (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap - MSB). Le programme s'attelle aux conditions régnant en Suède et à l'ensemble du processus : inventaire, prévention, état de préparation, gestion, surveillance, plus les enseignements tirés d'incidents antérieurs et leurs conséquences pour la société. Les fonds sont destinés à des projets de recherche démarrant à la fin de l'automne 2011 et devant s'achever fin 2015.

Finlande Les activités de recherche incluent ceci :

- Le projet de R&D ILMATIE²⁸ qui étudie des méthodes permettant de rendre la politique climatique plus efficiente dans la gestion des routes. Il suggère que la planification des systèmes de transport soit activement développée et le changement climatique souligné lors de l'acquisition de produits et services, dans les études futures et pendant la gestion des risques. Les résultats de l'étude ont été répercutés dans l'élaboration du plan à long terme *Conditions de transport à l'horizon 2035 (Liikenneolosuhteet 2035)* bien qu'ils soient devenus un peu obsolètes depuis la réorganisation de ce secteur. Le projet a été documenté dans le rapport « *Renforcer la politique climatique dans l'entretien des routes* »²⁹
- Le projet de R&D ITARA³⁰(achevé), qui a étudié les effets du changement climatique sur le transport de fret. Le rapport sur le projet a été publié par le Ministère des transports et des communications : (*Changement climatique et transport de fret*). Le rapport tire les conclusions suivantes : la compétitivité et les différents modes de transport vont changer, comme le schéma d'implantation de l'industrie et des flux de circulation. Les mesures prises pour atténuer le changement climatique seront beaucoup plus importantes que les changements intervenus dans le climat moyen. Le changement climatique peut également avoir un impact sur la sécurité de la circulation. Le timing des endommagements de routes suite au dégel ainsi que le timing des limitations de tonnages qui en découlent vont changer, et la période totale au cours de laquelle les routes s'endommagent pourra s'allonger. Les inondations provoquées par des chutes de pluie et d'autres inondations pourront dépasser la capacité de drainage.
- Le plan de R&D 2011 – 2014 publié par l'Agence finlandaise des transports ³¹ comprend quatre catégories principales. La première est l'atténuation du changement climatique, tandis que l'adaptation au changement climatique est couverte par la catégorie *Gestion efficace des voies de circulation et modèles d'exploitation innovants*.

²⁷ Programme 'Naturhändelser med negativa konsekvenser för samhället i dagens och morgondagens klimat' (Risques naturels aux conséquences néfastes pour la société sous le climat actuel et futur), Agence suédoise de la protection civile, www.msb.se.

²⁸ Raisa Valli ja Liisa Nyrölä : Ilmastopolitiikan tehostaminen tienpidossa. Helsinki 2009. Tiehallinto, Keskushallinto. Tiehallinnon selvityksiä 27/2009. 68 s. + liitt. 8 p. ISSN 1457-9871, ISBN 978-952-221-265-8, TIEH 3201141-v (Finlande : projet ILMATIE).

²⁹ <http://www.tiehallinto.fi/pls/wwwedit/docs/25751.PDF>

³⁰ [Climate change and freight transport](#), 2010. Publications du Ministère des transports et des communications 15/2010 (Finlande : projet ITARA).

³¹ Agence finlandaise des transports : Plan de R&D
(http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/e/fta/research_development)

1.6. Principaux effets et mesures correctives

La vue d'ensemble suivante décrit les principaux défis liés au changement climatique, indique les raisons qui en font des défis et propose des moyens pour les relever.

1.6.1. Inondation et érosion

Ruissellement et capacité de drainage nécessaire

Des précipitations plus intenses créent un risque d'inondations dépassant la capacité des infrastructures qui drainent le réseau routier. Dans les régions plus froides, une fonte subite des neiges va finir d'accroître ce risque. En outre, des combinaisons météorologiques inhabituelles pourraient se manifester plus fréquemment à l'avenir, dont la pluie sur sol gelé. Autre préoccupation : les débits de précipitation accrus hausseront le risque d'aquaplaning. Il s'agit d'une problématique sécuritaire importante qu'il faudrait examiner au moment de discuter de la capacité des systèmes de drainage.

Calcul de la capacité, méthodes et critères de conception

Le calcul des capacités requises a habituellement lieu sur la base de l'intensité de la pluie, du bassin de captage et des propriétés offertes par la surface de ruissellement. On manque toutefois de données de bonne qualité sur l'intensité de la pluie. En outre, des changements dans l'utilisation d'une zone peuvent modifier les propriétés d'infiltration caractérisant les surfaces de ruissellement. Les mesures du ruissellement réel sont donc préférables aux seules mesures des précipitations.

Moyens possibles pour compenser temporairement le manque de données de mesure et de prévisions du ruissellement : utiliser des périodes de retour plus conservatrices ou majorer la capacité nominale d'un facteur climatique additionnel. Voir à l'Annexe 3 des exemples de spécifications de drainage révisées dans les pays nordiques. Les critères de conception futurs devraient également porter sur des types de fondations plus robustes, sur des exigences plus dures visant les profondeurs des fondations, et sur la maîtrise de l'érosion.

Projection des chiffres d'inondation

De nouveaux critères de conception et d'entretien sont nécessaires, basés sur des projections climatiques futures. La projection de chiffres d'inondation basés sur des scénarios de changements climatiques mondiaux ou régionaux constitue toutefois une tâche difficile vu l'incertitude générale déjà présente dans les méthodes de calcul des volumes ruisselants. Le manque de séries de mesure à long terme des précipitations et du ruissellement dans des zones importantes complique le travail statistique et les projections futures.

Procédures d'entretien

La capacité effective des structures de drainage telles que les fossés et ponceaux dépend des procédures d'entretien. En présence de précipitations accrues, de pics de ruissellement, d'une érosion et d'un transport de sédiments accrus, on prévoit que la fréquence des défaillances des structures existantes va augmenter si les procédures d'entretien demeurent inchangées. Cela revêt une grande importance avec des actifs plus coûteux comme les ponts où des inondations plus fréquentes et plus importantes accroissent l'affouillement et durcissent les exigences lors de l'inspection et de l'entretien des structures impliquées. Des méthodes adéquates sont nécessaires pour identifier les actifs vulnérables compte tenu des différents types de fondation, de la protection contre l'érosion, etc. Des analyses des risques et de la sensibilité couvrant les ponts, ponceaux et d'autres structures de drainage sont en cours de réalisation dans quelques pays.

Éviter des problèmes en planifiant

Maints problèmes occasionnés par les inondations ou un ruissellement excessif pourraient être évités en conférant de meilleurs tracés aux routes. Le tracé vertical implique de hausser la route jusqu'à un niveau synonyme d'un risque d'inondation réduit ou nul. Le tracé horizontal implique de positionner la route de telle manière qu'elle ne constitue pas une barrière pour les cours d'eau, en particulier s'il faut s'attendre à un transport de sédiments en situations d'inondation. En outre, il faudrait contourner les zones littorales enclines à l'érosion.

Pollutions/Problématiques environnementales

Plus de pluie et des épisodes pluvieux plus intenses peuvent accroître le risque d'un transport incontrôlé de la pollution. Les sources peuvent être l'eau de ruissellement (due au trafic), la pollution accumulée dans la neige puis emportée par de fortes pluies, l'érosion et le transport de particules depuis les zones environnantes, le lessivage incontrôlé des bassins sédimentaires ou d'autres sources comme les dépôts d'ordures abandonnés qui deviennent actifs pendant une forte pluie de longue durée. L'eau qui ruisselle des routes peut occasionner des problèmes environnementaux en zones urbaines si elle aboutit à des réseaux d'égouts municipaux n'offrant pas une capacité suffisante.

Les bassins de rétention et ceux de sédimentation sont une bonne mesure de protection pourvu qu'ils soient suffisamment dimensionnés et positionnés de manière fonctionnelle. Il est nécessaire d'adopter une démarche holistique dans la conception du drainage, incluant le plus tôt possible toutes les agences de gestion des eaux dans le processus de planification.

Directive de l'UE sur le risque d'inondation

Plusieurs pays recourent déjà à une évaluation préliminaire des risques d'inondation, une cartographie des dangers liés aux inondations, et à des plans de gestion de ces risques conformément à la directive communautaire d'octobre 2007 sur l'évaluation et la gestion des risques d'inondation. Pour obtenir des résultats adéquats, ces travaux doivent faire entrer en ligne de compte les effets du changement climatique, à savoir tant la hausse du niveau marin que la hausse des ruissellements dans les bassins des rivières.

Exemples de pratiques pertinentes ou de travaux de R&D

1.6.1 a	Activité conjointe	ERA-NET ROAD : SWAMP
1.6.1 b	Danemark	Carte des points bleus
1.6.1 c	Royaume-Uni	Registre national des inondations
1.6.1.d	Danemark, Norvège, Suède	Nouvelles normes de drainage
1.6.1 e	Hongrie	Déversement de boues rouges 2010

1.6.2. Glissements de terrain, chutes de rochers et avalanches

Des précipitations à la fois plus nombreuses et plus *intenses* vont accroître le risque, lié à la météo, de glissements de terrain, de coulées de boues, d'avalanches, de chutes de rochers, etc. Les effets de ces événements peuvent aller de dégâts mineurs à la destruction complète d'une partie de l'infrastructure. L'ampleur selon laquelle les événements extrêmes vont devenir prévalents est encore incertaine. Les zones potentiellement non sûres peuvent être identifiées via les caractéristiques de leurs sols et du paysage, en tenant compte des changements climatiques probables.

Glissements de terrain

L'augmentation annuelle des précipitations et l'accroissement probable du niveau des eaux souterraines réduisent la stabilité des sols. Les précipitations quotidiennes accrues et leurs plus fortes intensités auront des effets similaires. Ceci vaut à la fois pour les versants naturels et les structures artificielles telles que les remblais routiers et les routes taillées dans la roche. En conséquence, on estime que la fréquence des défauts de pente affectant le système routier va augmenter dans les régions où des pluies plus intenses sont à prévoir. Cela signifie que la protection existante peut être insuffisante et que les considérations de changement climatique doivent être intégrées dans le processus décisionnel entourant la priorisation des mesures protectives. Ceci signifie également que de nouvelles zones sans antécédents de glissement de terrain requièrent surveillance.

Chutes de rochers

Plus de pluies, un nombre croissant d'alternances gel-dégel dans le sillage de moyennes thermométriques hivernales plus élevées et la fonte du permafrost accélèrent la détérioration des roches. Cette détérioration résulte de ce que l'eau de pluie pénètre dans les pores et fissures des roches, provoquant ainsi à la longue le détachement de rochers. L'exposition à de plus fréquentes alternances gel-dégel va continuer d'accélérer ce processus. La fonte du permafrost en montagne intensifie les chutes de rochers du fait que la structure rocheuse existante ne peut offrir une stabilité suffisante que dans des conditions de permafrost. Attendus, ces changements des conditions climatiques peuvent donc entraîner un plus grand nombre de glissements de terrain et éboulements de rochers le long des routes exposées.

Avalanches

Des températures hivernales plus élevées dans certaines régions européennes conduiront ainsi – sachant qu'il faut s'attendre à un quantum de précipitations inchangé – à une diminution de la couverture neigeuse dans les zones de faible altitude et côtières. Des précipitations hivernales accrues dans ces zones peuvent engendrer de nouveaux risques dont le charriage de débris et des avalanches de fonte. D'un autre côté, l'intensification des précipitations et la fréquence croissante des tempêtes hausseront la probabilité d'avalanches neigeuses en zones de haute montagne, là où les basses températures persistent. Ces effets pourraient donc déclencher des avalanches d'une masse/d'un volume accru(e) et allonger les parcours de descente, avec des effets plus graves que ceux enregistrés par le passé.

Les régions ou zones locales potentiellement dangereuses, susceptibles d'être notablement affectées par un changement climatique, ne peuvent être identifiées que par une évaluation des avalanches enregistrées par le passé et par les caractéristiques du paysage, en tenant compte des changements susceptibles de se produire dans les précipitations hivernales et les congères.

Glissements du type « mouillé »

Le charriage de débris et les avalanches de fonte sont des types de glissements déclenchés en période de précipitations intenses. Il est donc prévu que la fréquence de ces glissements va augmenter. Les zones à antécédents d'avalanches de neige sèche pourront être plus sujettes aux avalanches de fonte à l'avenir, et les mesures de protection existantes risquent de ne pas suffire.

Argile sensible

Dans la plupart des cas, les glissements d'argile sensible sont provoqués par l'activité humaine, en particulier par des chantiers de construction. Ils peuvent également être induits par des processus naturels tels qu'une érosion accrue du lit des rivières et des fleuves. Ces processus naturels risquent de s'aggraver localement dans un environnement climatique altéré. En conséquence sont nécessaires de meilleures méthodes de terrain pour révéler les régions potentiellement non sûres, pour calculer la stabilité et optimiser les mesures protectives.

Bases de données sur les glissements de terrain et les avalanches.

Les bases de données nationales qui associent les données sur les glissements de terrain et avalanches provenant de différentes bases, constituent un outil important pour améliorer la prédiction et la protection contre ces deux phénomènes. En Norvège, une base nationale de données sur les glissements de terrain est en cours de développement. L'Autriche dispose d'une base de données en service couvrant les dégâts des avalanches.

Exemples de pratiques pertinentes ou de travaux de R&D

1.6.2 a	Norvège	Modèle permettant d'évaluer le risque de glissements de terrain
1.6.2 b	Norvège	Système d'alerte avalanche
1.6.2 c	Autriche	Planification des zones dangereuses
1.6.2.d	Autriche	Logiciel de simulation

1.6.3. Sécheresse et effet de températures élevées

Les températures estivales élevées affectent la durabilité des chaussées routières car elles ramollissent les mélanges bitumineux et amplifient l'orniérage. Dans le sud de l'Europe, des températures en hausse et des précipitations en baisse accroissent la fréquence des périodes de sécheresse prolongée et aggravent au passage le risque de feux de forêts. Même dans les pays nordiques, la hausse des maxima de température estivale constatée durant la décennie passée a conduit à s'interroger sur la durabilité, c'est-à-dire sur la résistance à la chaleur, des matériaux composant actuellement les chaussés, Pour cette raison, des liants plus fermes ont été recommandés dans certaines régions.

Exemples de pratiques pertinentes ou de travaux de R&D

1.6.3 a	Espagne	Chaussés et pentes
1.6.3 b	France	Calcul du coût des vagues de chaleur

1.6.4. Effets accroissant la détérioration des routes

Orniéragé sous précipitations accrues

Des précipitations accrues peuvent hausser localement les niveaux de la nappe phréatique. Ce phénomène cumulé avec une infiltration plus abondante par le haut de la chaussée va accroître la teneur en eau des fondations de la route. Ceci peut amplifier l'orniéragé (comme dans le cas de hausse des maxima de température), et détériorer plus rapidement les matériaux présents dans les fondations de la route. Les méthodes traditionnelles servant à estimer la vie utile des routes en tenant compte de ces effets ont signalé un raccourcissement de cette vie lorsqu'on intègre des précipitations accrues dans les calculs.

Fragilisation par le dégel

Des précipitations accrues, une hausse des nappes phréatiques et des alternances gel-dégel plus fréquentes affectent la portance des routes. Les couches gelées dans les fondations de routes n'offrant pas de bonnes propriétés de drainage, ou réalisées dans des matériaux sensibles au gel, empêchent l'eau fondue ou les précipitations de quitter la chaussée par drainage lorsque le dégel commence. Ceci abaisse temporairement la portance offerte par la route. Les tonnages en circulation mettent l'eau sous pression et engendrent des mouvements d'eau qui abrasent les minéraux dans les fondations, accroissant ainsi la teneur en fines, lesquelles craignent le gel. Pendant le dégel, l'orniéragé des chaussées s'accélère et la pression de l'eau peut même provoquer la rupture instantanée de la chaussée. Des parts de fines plus élevées dues à l'attrition des fondations vont accroître l'humidité dans la chaussée et le risque de gonflement subséquent par le gel.

En Scandinavie, les routes traversant des régions aux conditions hivernales stables par le passé sont sujettes aujourd'hui à plusieurs cycles gel-dégel hivernaux. Cela va accélérer leur détérioration et hausser conséquemment les coûts d'entretien. Les restrictions de charge à l'essieu s'appliquant en certains endroits pendant le dégel créent des problèmes de transport par poids-lourds.

Les routes en gravier faiblement trafiquées dans les régions septentrionales à population clairsemée sont particulièrement exposées. Pour relever ces défis, il faut des méthodes de conception nouvelles et des exigences nouvelles quant aux matériaux.

Perte de permafrost

La perte de permafrost et des périodes hivernales plus courtes défient des fonctions de transport spéciales car entièrement dépendantes de la présence de sols gelés ainsi que de lacs et rivières gelés et plats. Cet aspect préoccupe l'industrie sylvicole dans les régions les plus au nord de la Scandinavie.

Exemples de pratiques pertinentes ou de travaux de R&D

1.6.4 a	Activité conjointe	ERA-NET ROAD : P2R2C2
1.6.4 b	Activité conjointe	Programme périphérique septentrional : ROADEX
1.6.4 c	Finlande	Enquête sur les problèmes de soulèvement de surfaces par le gel

1.6.5. Effets de la hausse du niveau marin

Les niveaux de la mer en hausse et les grandes marées de tempête créent des problèmes comme l'érosion des côtes, les inondations et les brisants qui peuvent provoquer des dégâts et perturber la circulation. Le risque peut également croître que de l'eau afflue dans les entrées basses de tunnels sous-marins. Les remblais routiers et les fondations de ponts peuvent être exposés à des contraintes et une érosion accrues. Les niveaux de la nappe phréatique vont remonter dans les régions littorales de faible altitude et affecter ainsi la portance des routes.

Parmi les pays membres du groupe de travail, c'est au Danemark que la hausse du niveau marin est synonyme de challenges particuliers. Environ 80 % de la population danoise vit en zones urbaines proches des côtes. Plusieurs villes côtières proches d'estuaires importants ou situées aux extrémités de fjords risquent de se retrouver face à des problèmes complexes. 1 800 km de côtes au total sont déjà protégés par des digues ou d'autres types de protection côtière. Construire de plus hautes digues ne résout toutefois pas le problème à long terme vu qu'elles vont aggraver les inondations par les eaux de rivière ne parvenant pas à s'écouler librement vers la mer. Une solution à long terme dicte d'impliquer les vallées fluviales plus loin en amont.

En mars 2011, l'Administration des côtes danoises a développé un outil basé sur le Web qui aide à planifier l'affectation des terres en zones côtières tout en anticipant la hausse du niveau marin projetée aux horizons 2050 et 2100.³² Pour un site et un scénario de changement climatique choisis (faible, moyen ou haut), la carte va afficher le niveau marin probablement à attendre tous les 20, 50 ou 100 ans en 2050 ou en 2100. Les conséquences sont visualisées. Des informations sur l'énergie des vagues, le transport de sédiments, le type de côte et les protections existantes sont également fournies. Cet outil fait partie du portail Web Adaptation au changement climatique au Danemark.

Une évaluation intéressante de la vulnérabilité du réseau routier exposé aux risques littoraux a été réalisée en France en 2009. Voir le chapitre 1.6.5 a de l'Annexe 3.

Exemples de pratiques pertinentes ou de travaux de R&D

1.6.5 a	France	Vulnérabilité l'infrastructure de transport aux risques côtiers
---------	--------	---

³² <http://klimatilpasning.dk/da-DK/Info/kort/kystplanlaeggeren/Sider/Kystplan.aspx>

1.6.6. Effets sur les conditions hivernales

Déneigement

Des précipitations plus intenses se traduiront par des chutes de neige plus fréquentes ou plus intenses à haute latitude ou dans les régions montagneuses, ce qui va impacter la demande d'interventions de chasse-neige. L'intensification des vents dans ces régions va accroître les congères et requérir un travail de dégagement accru. Il tombera moins de neige sur les terres de basse altitude vu que la pluie représentera une plus forte part des précipitations hivernales.

Maîtrise de l'adhérence

Les effets du changement climatique sur les services routiers hivernaux vont différer d'une région à l'autre. En Scandinavie et en Finlande, il faut s'attendre à ce que la superficie traversée par des routes salées augmente vers le nord vu la hausse des températures hivernales. Les routes qui jusqu'à présent se trouvaient sous une gestion conforme à la politique des « routes blanches » risquent de souffrir de fluctuations de température fréquentes autour du point de congélation, et il est prévu que la consommation de sel va croître malgré une saison hivernale plus courte. Une plus forte tranche du réseau routier va donc requérir une stratégie des « routes noires ». L'on peut s'attendre d'une manière générale à ce que le changement climatique modifie la demande locale de services d'hiver, certaines sections routières requérant moins d'attention et d'autres plus.

L'initiative IRWIN d'ERA-NET ROAD a proposé une technique pour développer un indice d'hiver permettant d'évaluer les effets du climat futur sur la demande de maîtrise de l'adhérence (voir des exemples de travaux de R&D à l'Annexe 3).

Les besoins d'adaptation dépendent, entre autres facteurs, de la vitesse à laquelle les changements attendus dans les différents paramètres climatiques vont se produire, et de celle à laquelle les structures ou systèmes affectés pourront être adaptés. Dans le cas du déneigement et de la maîtrise de l'adhérence, les services doivent déjà répondre à une demande annuelle hautement fluctuante. Par conséquent, les opérateurs routiers sont dans la plupart des cas assez flexibles et s'adapteront avec le temps une fois les changements climatiques devenus évidents.

Gestion de la circulation sur les routes exposées à des vents violents

Les vents violents affectent le système de transport de différentes manières. Ils peuvent menacer la sécurité du trafic et la fiabilité du transport sur les tronçons exposés tels que les ponts et les cols de montagne. En association avec la hausse du niveau de la mer, les marées de tempête affectant les routes dans les régions littorales risquent de devenir un problème plus grave dans les conditions climatiques futures. Les tempêtes peuvent également bloquer le trafic routier par arbres renversés ou d'autres obstacles interposés.

Exemples de pratiques pertinentes ou de travaux de R&D

1.6.6 a	Royaume-Uni	Résilience hivernale
1.6.6 b	Activité conjointe	ERA-NET ROAD : IRWIN

1.7. Évaluation et gestion des risques

Dans les secteurs infrastructurels dont celui des transports routiers, différents pays ont géré leur évaluation des risques selon des démarches variées. Pour les ARN, évaluer des risques comprend généralement l'examen de facteurs tels que la sécurité de la circulation, celle offerte par l'infrastructure face aux risques naturels, paramètres climatiques inclus, et plus spécifiquement la sécurité des tunnels et le transport de produits dangereux.

En ce moment, la mise au point de la méthode RIMAROCC³³ (Gestion des risques pour les routes dans un climat en cours de changement) constitue le plus intéressant travail réalisé dans le domaine de l'évaluation des risques liés aux événements climatiques, y compris les effets du changement climatique. Cette méthode a été développée sur l'initiative conjointe des pays membres d'ERA NET ROAD ; un exemple consécutif à ce chapitre l'explique brièvement. Cette méthode a pour but de répondre au besoin, conjoint aux ARN, de posséder un cadre général entourant le travail d'adaptation, un cadre qui soit compatible avec les méthodes existantes et qui respecte les normes générales de gestion des risques.

Une étude des méthodes existantes d'analyse et de gestion des risques³⁴, accomplie dans le cadre du projet RIMAROCC, a identifié trois projets antérieurs applicables à l'évaluation des risques menaçant l'infrastructure routière du fait du changement climatique : le projet français GeRiCi (GEstion des RIques liés au Changement climatique pour les Infrastructures), la stratégie d'adaptation britannique et l'approche néerlandaise « Deltares », développés à l'origine pour la planification du territoire et les systèmes de gestion de l'eau

Indépendamment de la méthode ou de l'outil choisis, voici les questions clefs pour les ARN : comment identifier les actifs vulnérables, quelles menaces émanent réellement du climat en cours de changement et comment définir le niveau de risque acceptable. Il faut traiter ces questions sur une base régionale vu que les défis climatiques et conditions locales varient d'un pays à l'autre. Toutefois, les projets de gestion de risques tels que RIMAROCC livrent un cadre adéquat à une approche conjointe permettant des synergies parmi les ARN européennes.

Exemples de pratiques pertinentes ou de travaux de R&D

1.7 a	Activité conjointe	ERA-NET ROAD : RIMAROCC
1.7 b	France	Système GeRiCi
1.7 c	Norvège	Portail Web FøreVar
1.7 d	Norvège	Analyses des risques et de la sensibilité des actifs sur le réseau routier
1.7 e	Royaume-Uni	Plan pour conditions météo difficiles

³³ Manuel RIMAROCC sur le site Web FEHRL : <http://www.fehrl.org/index.php?m=192&mode=view&id=12340>

³⁴ Hjördis Löfroth, Yves Ennesser, Thomas Bles and Stefan Falemo, 2009 : *Méthodes existantes d'analyse et de gestion des risques dans les pays membres d'ERA-NET ROAD — applicables aux routes en liaison avec le changement climatique*. Projet RIMAROCC, ERA-NET ROAD.

1.8. Calculer les coûts du changement climatique pour le réseau

Les coûts constituent la façon la plus concrète d'exprimer les conséquences du changement climatique. Dans le système RIMAROCC, les conséquences d'un événement lié au temps sont divisées en cinq catégories :

- Sécurité en baisse sur les routes (blessés ou morts) ;
- Coûts directs ; coûts de reconstruction ;
- Coûts financiers (coûts indirects dus à l'indisponibilité de la route)
- Perte de confiance / prestige / pénalisation de l'image / conséquences politiques et
- Impact sur l'environnement.

Les conséquences et les coûts peuvent être immédiats ou progressifs. Les conséquences d'un même événement peuvent différer très fortement selon des facteurs tels que la saison, l'heure du jour, le calendrier de vacances, etc. Il est important d'estimer les coûts et bénéfices des mesures correctives (d'atténuation). L'effet des mesures d'atténuation dépend de l'époque à laquelle elles sont exécutées pendant la vie utile, et du niveau de sécurité requis. L'amélioration de la capacité du réseau routier à résister au climat futur requiert d'être observée en relation avec les travaux planifiés d'entretien ou de reconstruction.

Parvenir à un équilibre entre investir dans des mesures d'atténuation et accepter un certain niveau de coûts pour réparer les dommages après un événement lié au temps est un défi qui figurera de plus en plus souvent dans les décisions des ARN.

Exemples de pratiques pertinentes ou de travaux de R&D

1.8 a	France	Coûts relatifs à la hausse du niveau marin et à l'endommagement des côtes
1.8 b	Suède	Estimer les coûts relatifs au changement climatique
1.8 c	Finlande	Coûts du changement climatique dans l'entretien

1.9. Principaux effets du changement climatique sur les procédures de travail

Les chapitres 1.6 à 1.8 décrivent les effets d'aspects particuliers et de paramètres du changement climatique sur le réseau routier. Dans ce chapitre, ces effets seront décrits en relation avec les procédures de travail utilisées par les propriétaires de routes.

Dans la phase de **planification**, le changement climatique va souligner l'importance de bonnes cartes des inondations, ou de cartes montrant les zones à risque de glissements de terrain. Au cours de l'étape suivante, une bonne planification de la gestion des eaux va réduire le problème d'insuffisance capacitaire des structures de drainage. En outre, il faut tenir compte du changement climatique pour éviter une exposition à des conditions d'exploitation astreignantes, en particulier en hiver.

Les procédures de **conception** standard, notamment lorsque associées à des contraintes uniquement basées sur des données historiques, peuvent s'avérer inadéquates et conduire à une sécurité structurelle inadéquate (glissements de terrains et inondations). Les méthodes de calcul et d'estimation des capacités peuvent s'avérer insuffisantes. En outre, de nouvelles combinaisons de conditions météo (par exemple fort ruissellement sur sol gelé) peuvent dicter d'accroître la capacité des ponceaux ou systèmes de drainage ou de mieux se préparer aux inondations, etc.

De bonnes projections régionales (locales) du changement climatique et des données météorologiques actualisées, de bonne qualité et aisément accessibles, par exemple sur les précipitations et leur intensité, constitueront un prérequis nécessaire. En outre, les données routières incluant des informations sur les structures de drainage et de bons enregistrements d'événements liés au temps sur le réseau routier sont d'importants prérequis pour l'adaptation climatique.

Il faut que l'entretien des structures de drainage et des ponceaux soit plus fortement basé sur des prévisions météorologiques. Les recensements des actifs vulnérables seront importants et tiendront compte du changement climatique. L'entretien sera également affecté par le standard qualitatif de la route. Les tronçons routiers d'un bas standard sont difficiles à entretenir. Pour une bonne gestion des routes, il importe que les contrats régissent adéquatement les conditions climatiques.

Exploitation : La gestion de la circulation, l'évaluation des risques et leur gestion pendant l'exploitation, l'état de préparation, les plans d'urgence et les contrats...tous dépendront d'une bonne connaissance des conditions météorologiques. Définir des *normes* visant l'entretien quotidien, et définir aussi des conditions météo *inattendues* survenant pendant l'entretien quotidien peut devenir un plus grand défi. Les contrats garantissant la sécurité dans un environnement climatique exigeant vont prendre de l'importance. Une bonne communication avec les usagers de la route constitue un moyen supplémentaire permettant de maintenir la sécurité.

Exemples de pratiques pertinentes ou de travaux de R&D

1.9 a	Norvège	Base nationale de données routières
1.9 b	Norvège	Système d'états de préparation successifs
1.9 c	Norvège	Systèmes informatiques pour communiquer les risques et les alertes

1.10. Résumé du chapitre 1

Le changement climatique tel que décrit par les projections à partir de modèles mondiaux et régionaux assignera un certain nombre de défis au réseau routier européen.

- Dans la plupart des cas, il faudra maîtriser les mêmes défis que ceux d'aujourd'hui, mais les affronter à une plus grande échelle, plus fréquemment et sur d'autres sites que prévu.
- Dans certains cas (ou dans certaines régions), le changement climatique sera synonyme d'avantages pour les propriétaires de routes, dans les régions par exemple où l'on prévoit moins de gel et moins de neige.
- Certain new challenges will arise: Certains nouveaux défis vont surgir : des combinaisons inhabituelles de conditions météorologiques telles que les inondations sur sols gelés ou des glissements de terrain « plus liquides ».

Voici les effets les plus importants sur les infrastructures et l'exploitation :

- Inondations et érosion accrues : un défi pour les systèmes de drainage, la protection anti-érosion, ainsi que pour la conception et l'entretien des ponceaux et des ponts ;
- Glissements de terrain et avalanches : survenues plus fréquentes, sur de nouveaux sites et avec une plus forte part de glissements « liquides » sous forme d'avalanches de fonte et de charriage de débris ;
- Les périodes de sécheresse et les fortes températures estivales peuvent provoquer des problèmes dus au ramollissement des chaussées en asphalte, mais aussi de ruissellement dus à une baisse de la perméabilité. Le risque de feux de forêts peut également s'accroître dans la plupart des régions ;
- Détérioration des routes et chaussées telle qu'exprimée par la durabilité et l'orniérage, là où, dans la plupart des cas, le drainage ne suffit pas ;
- Effets de la hausse du niveau marin sur la stabilité des côtes et élévation suffisante des routes, quais et ponts ainsi que niveaux des entrées des tunnels sous-marins ;
- Fortes chutes de neige dans les zones montagneuses d'Europe du nord, occasionnant des problèmes pendant l'entretien hivernal et compliquant les conditions d'exploitation, et
- Besoin d'une meilleure gestion des risques et de procédures efficaces pour déclencher les mesures correctives après un événement lié au temps, vu le fait que les mesures protectrices en place risquent de ne pas suffire et que planifier des mesures correctives prend du temps.

Tous ces effets peuvent être constatés dans toutes les phases de la gestion des routes : la planification, la conception, la construction, l'entretien et l'exploitation.

Des exemples de travaux en cours sur l'adaptation au changement climatique et des exemples sur les bonnes pratiques appuyant l'adaptation montrent que les ARN sont conscientes des défis qui se profilent, et qu'il existe une bonne base pour agir de façon à atténuer les dégâts et les coûts.

2. Voies de progression (solutions) possibles

L'adaptation au changement climatique et le choix d'actions le permettant dépendent d'un grand nombre de facteurs allant des variations dans les projections climatiques aux politiques et budgets nationaux. Néanmoins, le groupe de travail va suggérer quelques actions à accomplir au niveau européen et au niveau national. Au niveau national, le groupe propose quelques actions stratégiques et des actions inscrites dans le cadre de l'entretien et de l'exploitation. En outre sont proposées quelques actions « sans regrets », c'est-à-dire destinées certes à l'adaptation mais bénéfiques indépendamment du changement climatique.

2.1. Niveau européen

Le groupe de travail est d'avis qu'une stratégie européenne commune d'adaptation des réseaux routiers au changement climatique n'est pas nécessaire. Les stratégies d'adaptation au changement climatique sont principalement exécutées au niveau national. Lorsque toutefois l'on prépare une nouvelle stratégie des transports (par exemple les Livres blancs de 2009 et 2011 publiés par la Commission Européenne), il faudrait souligner l'adaptation au changement climatique en tant que défi futur venant s'ajouter aux mesures qui visent à atténuer ce même changement (voir 1.4).

Le groupe de travail suggère que la collaboration européenne se concentre sur des stratégies de recherche et sur des programmes de recherche conjoints. ERA-NET ROAD (voir description au chapitre 1.5.5) a développé un modèle pour cofinancer la recherche dans les domaines d'intérêts partagés. Le financement provenait de 12 ARN et les programmes étaient exécutés via une collaboration transnationale entre instituts de recherche. Il existe de bonnes raisons de poursuivre le développement de méthodes permettant de cofinancer la recherche.

Le chapitre 2.5 suggère des sujets de recherche future.

2.2. Niveau national : stratégies d'adaptation au changement climatique

Comme l'indique le chapitre 2.1, les stratégies permettant d'affronter le changement climatique constituent une problématique nationale et devraient bénéficier de la priorité. Des délégués de tous les pays membres du Groupe de Travail 16 définissent l'adaptation au changement climatique comme une problématique stratégique importante. Plusieurs pays ont déjà inclus l'adaptation dans leurs stratégies de gestion des transports ou des routes. Certains pays ont une stratégie de changement climatique accentuant l'atténuation mais incluant aussi l'adaptation. Dans ce contexte, il est important de noter que l'atténuation et l'adaptation requièrent, dans de nombreux cas, des compétences différentes et la participation de différentes unités au sein de l'organisation. A titre d'information sur l'état du travail de stratégie dans les États membres, voir le chapitre 1.5.3 et l'Annexe 2.

Voici quelques idées générales pouvant être incluses dans une stratégie d'adaptation climatique :

- Plan permettant de recenser les actifs vulnérables, en évaluant les risques issus du changement climatique ;
- Mesures d'adaptation du côté technique : adapter les directives de planification et de conception, d'autres procédures techniques, adapter les méthodes servant à évaluer les risques ;
- Stratégies visant à améliorer la base de connaissances : promouvoir la recherche, adapter les résultats de la recherche climatique pour permettre leur utilisation pratique, etc. ;
- Aspects économiques : estimer les coûts et avantages des actions en regard des coûts d'une absence d'action, et établir un rapport entre les investissements et le niveau de risque ;

- Stratégies pour améliorer la communication aux usagers de la route avant et après des événements liés au temps ;
- Conférer aux ARN un rôle clair et bien communiqué, qui est celui d'assurer que le système de transport soit fonctionnel. Ceci pourrait impliquer de formuler, pour les ARN, une stratégie sur base régionale, et
- Stratégies de réalisation : formuler des plans d'action, encourager l'effort politique/la législation.

Il est important de faire porter les efforts sur la transposition de la stratégie. Une démarche possible consiste à définir des indicateurs de post-évaluation pour voir si la stratégie a été transposée et si des dommages ou coûts inutiles imputables au temps et au climat pourraient avoir été évités ou réduits. Ceci requiert une bonne connaissance des effets du temps et du climat, et de bons enregistrements de l'historique de l'entretien ainsi que des événements perturbateurs liés au temps.

2.3. Niveau national : procédures de travail, de la planification à l'exploitation du réseau routier

Dans ce chapitre, nous avons compilé des suggestions sur la façon dont l'adaptation au changement climatique pourrait être prise en compte dans la gestion des routes et les services de transport routier offerts par les ARN. Ces suggestions sont basées sur la discussion, par le groupe, des défis décrits aux chapitres 1.6 à 1.9, et aux résultats du travail de R&D sur l'adaptation au changement climatique.

2.3.1. Planification

Faire entrer les changements climatiques en ligne de compte dès la phase Planification des projets peut aider à éviter des difficultés dans les phases ultérieures. Par exemple :

- Rectification verticale du tracé : altitude suffisante par rapport au niveau de l'eau (niveau de la mer, marées de tempête, inondations). Il faudrait également envisager une surélévation pour garantir, en cas de précipitation intense, un ruissellement suffisamment efficace depuis la surface de la route ;
- Rectification horizontale du tracé : minimiser les conséquences aux intersections avec des cours d'eau, éviter les zones à risque de glissement de terrain ou l'érosion côtière ;
- Gestion des eaux selon une démarche holistique : bassins de rétention et systèmes de drainage assurant à la fois un ruissellement efficace et un contrôle de la pollution, drainage des couches sous-jacentes, utilisation à grande échelle de bassins de rétention et planification d'itinéraires inondables, et
- Faire entrer également en ligne de compte, dès la phase de planification, un entretien et une exploitation de bonne qualité.

2.3.2. Conception et construction

Drainage et ponceaux

L'une des mesures d'adaptation les plus importantes consiste à assurer un bon drainage. Il faudrait adapter les normes de conception aux exigences du changement climatique ; voir quelques exemples au chapitre 1.6.1. Il faudrait entretenir les structures de drainage existantes en tenant compte des besoins futurs, et si possible comme partie intégrante du remplacement régulier planifié des anciens systèmes.

Il faudrait améliorer la base de connaissances en assurant l'accès à des données météorologiques de haute qualité incluant les précipitations à court terme (intensité de la pluie), les chiffres d'inondation (voir le chapitre 2.4) ainsi que l'accès à de bonnes prédictions des débits d'eau (particulièrement intéressantes dans les zones de captage où des précipitations intenses peuvent s'accumuler rapidement).

Conception des ponts

Les ponts nécessitent une bonne protection anti-érosion et des fondations robustes. Ceci influence le choix du type de fondation et de protection anti-érosion, ainsi que le choix des niveaux de conception en prévision d'inondations.

Une révision des directives est nécessaire pour garantir des structures robustes à l'avenir. Reconcevoir les directives existantes requiert de moderniser les critères de conception, de préparer la structure à des contraintes nouvelles et plus élevées.

Les autres effets dont il faudrait tenir compte au moment de réviser les règles de conception incluent la hauteur libre au dessus du niveau de l'eau et l'effet de la glace à la dérive.

Protection contre les glissements de terrain

Dans un climat qui a changé, les mesures de protection déjà réalisées risquent d'être insuffisantes. Les glissements de terrain risquent de se produire ailleurs. Principales problématiques : décrire le risque lié aux paramètres météorologiques, planifier et prioriser les mesures de protection.

Développer de meilleurs *modèles de prédiction et méthodes d'évaluation des risques* est crucial pour optimiser les actions visant à prévenir les glissements de terrain, voir le chapitre 0. En outre, il faudrait chaque fois que nécessaire adapter aux conditions modifiées les règles de conception de la protection anti-glissement de terrain et évaluer le risque de nouveaux types de glissements de terrain (tels que le charriage de débris et les avalanches de fonte). Il faudrait développer des modèles permettant d'identifier les priorités, et les adapter au changement climatique.

Il faut examiner les *actions préventives* (par exemple enlèvement de matériaux, traitement des sols, drainage souterrain, remplacement des sols, bancs d'essai, remblais, structures contraignantes, déplacement de la route) et les actualiser.

Dans ce domaine, il y a également besoin d'*améliorer la base de connaissances* en développant sur une base nationale des bases de données fonctionnelles sur les glissements de terrain et en améliorant l'enregistrement des glissements et avalanches au cours de l'exploitation quotidienne.

Structure de la route et chaussées

Les chaussées routières peuvent être exposées à des températures plus élevées ou à de mauvaises conditions d'adhérence lorsque les températures avoisinent 0 degré Celsius. Voici quelques actions dont on pourrait poursuivre le développement en coopération avec des entreprises de construction (voir les chapitres 1.6.3 et 1.6.4) :

- Des liants plus rigides (mais sûrs pour l'environnement) pour protéger contre les températures croissantes ;
- Un bitume conçu résilient aux effets de l'alternance gel-dégel et du salage ;
- Des chaussées hydrophobes qui rendent les routes moins glissantes dans les zones où la température est proche de zéro, où les nuits sont froides et les jours chauds, en zones montagneuses par exemple, et
- Traitement hydrophobe des chaussées qui puisse en éloigner l'eau et réduire les problèmes de gonflement par le gel (voir le chapitre 1.6.4).

Protection environnementale

La conception et le positionnement des bassins de sédimentation devraient être effectués de sorte qu'ils puissent également servir à retenir les eaux d'inondation.

Il faudrait que les routes soient reconnues en tant que barrières aux cours d'eaux mais aussi pour la faune. Assurer des corridors à la faune dans les conditions nouvelles d'un climat futur constitue une part importante de la conception.

Vu que la végétation croît dans de meilleures conditions, l'entretien de la végétation environnante pourra requérir plus d'attention. L'objectif est d'assurer une bonne visibilité. Une planification adéquate pourra réduire les problèmes d'entretien.

Panneaux et éclairage

Dans un climat plus sauvage, une bonne signalétique et un bon éclairage le long du réseau routier peuvent accroître la sécurité et améliorer la mobilité.

Contrats

Dans les cas où l'entretien est inclus dans les contrats de construction, la période contractuelle peut être très longue. Il faudrait donc souligner que le changement climatique peut affecter le contrat.

Le travail de construction lui-même peut être affecté par des conditions climatiques difficiles ou changeantes. Il faudrait évaluer les risques possibles pendant la construction, y compris ceux émanant des glissements de terrain, inondations, pluies torrentielles, etc. Il faudrait particulièrement veiller à assurer des structures temporaires telles que des itinéraires de contournement, échafaudages, coffrages, excavations, etc. C'est important pour des raisons de sécurité.

2.3.3. Entretien et exploitation

L'évaluation et la gestion des risques peuvent être considérées comme des outils dans pratiquement chaque procédure de travail. Il faudrait par conséquent établir des principes conjoints sur la façon de les utiliser, au moins au niveau national. Des outils de gestion et d'évaluation des risques sont nécessaires, pour des fins différentes et à différents niveaux. A certains endroits, il pourrait être nécessaire de calculer les risques de glissements de terrain plus en détails, tandis qu'à certains endroits le risque d'inondation pourrait s'avérer tellement évident qu'il faudra un plan pour gérer la situation

- Estimer les risques : évaluer d'un côté les mesures préventives et les comparer de l'autre avec l'acceptation d'un certain niveau de dégâts.
- Cartographier les actifs vulnérables et prioriser les risques.

Vu que le financement est généralement ténu, il faut localiser les actifs les plus vulnérables et fournir des informations aidant à assigner des priorités. Le chapitre 1.5 contient une estimation des risques dans chaque pays participant. Ceci peut fournir une indication de l'endroit où commencer la cartographie des actifs vulnérables (bien que certaines problématiques, les températures élevées par exemple, concernent presque l'intégralité du réseau routier national).

Outre les procédures et critères d'entretien habituels, l'adaptation au changement climatique requiert d'étudier avec un œil critique l'aptitude réelle du réseau routier à résister à des conditions plus difficiles que celles pour lesquelles il a été conçu.

Développer des directives pour inventorier mieux (de façon adaptée au climat) les actifs le long du réseau routier (y compris les protections anti-glissements de terrain) implique de développer de bonnes analyses de risques et de sensibilité qui devraient contenir ceci :

- Des critères permettant d'identifier les actifs particulièrement exposés ou vulnérables (types inadéquats de structures, actifs en mauvais état ou capacité insuffisante documentée),
- Des procédures pour calculer leur capacité réaliste ;
- Des plans pour améliorer (par exemple rendre plus fréquente) l'inspection et de meilleures procédures d'entretien (par exemple des mesures proactives en réponse à des prévisions météo défavorables), et
- Des plans de réparation

Tout cela devrait de préférence faire partie d'inventaires planifiés. L'idéal serait que les mesures d'adaptation soient exécutées avec les opérations d'entretien et de réparation planifiées.

Retard dans l'entretien

Un entretien adéquat, qui garantisse une bonne fonctionnalité de drainage, de protection anti-érosion, etc., est une pierre angulaire dans l'adaptation au changement climatique. Le niveau d'entretien réalisable en pratique est, toutefois, étroitement lié au standard technique des routes. Le retard dans l'entretien constitue habituellement un problème. Éliminer le retard et assurer un entretien adéquat signifie en même temps s'adapter au changement climatique.

Exploitation en hiver

L'entretien hivernal est une activité principalement quotidienne dans laquelle les modèles d'exploitation peuvent être modifiés assez rapidement pour répondre à l'environnement de travail. Il faudrait que la planification se fasse sur un horizon de cinq à 10 ans.

- Dans un avenir proche se dessine la nécessité d'affiner les modèles de fonctionnement de l'entretien hivernal pour optimiser les ressources, les méthodes de travail et le niveau de service en prévision de chutes de neige plus intenses ; voir le chapitre 1.6.6.

- En Scandinavie, l'utilisation de sel va probablement augmenter ; il faudra donc accorder plus d'attention aux risques environnementaux créés par le sel. Ceci signifiera surveiller de plus près les ressources en eaux souterraines et mieux protéger ces mêmes eaux. Il est également nécessaire de poursuivre le travail de R&D pour trouver des solutions alternatives, voir le chapitre 1.6.6.
- Vu que les ressources disponibles ne permettront pas toujours un bon niveau de service, et que le changement climatique va accroître le risque d'incidents tels que les avalanches, il sera nécessaire d'améliorer la gestion des incidents. Ceci inclut d'améliorer les systèmes d'information aux usagers de la route, l'évaluation des risques, la gestion du trafic, etc. Les données d'incidents peuvent figurer dans les informations captées dans le véhicule, par exemple via des systèmes GPS. Des prévisions et informations sur les risques pourraient aussi être incluses.

Gestion du risque d'événements liés au climat : mesures préventives, états de préparation et plans d'urgence

Vu qu'il est impossible d'éviter tous les effets négatifs du changement climatique, il nous faut nous préparer aux conséquences. Des plans d'urgence sont nécessaires pour garantir l'exploitation et éviter des pertes. De tels plans sont principalement développés au niveau régional ou local, mais il faudrait que certains principes soient établis au niveau national.

Les principaux volets de la gestion des incidents sont les modèles de prédiction et la planification des modèles d'exploitation dans des situations inattendues. Il est également important de développer un plan de coopération en cas d'urgence. Tous les opérateurs devraient connaître leurs rôles et agir en conséquence. Il faudrait simuler à l'avance certains des effets les plus graves du changement climatique.

Gestion du trafic

La gestion du trafic après un incident constitue un outil important pour éviter des accidents et embouteillages, ou de nuire autrement aux usagers de la route. Une démarche proactive pourra consister à planifier des itinéraires de déviation aux endroits les plus vulnérables.

La Norvège par exemple a déjà recouru à des calculs pour décider quelles routes pouvaient être fermées pendant les intempéries hivernales les plus graves. Des calculs similaires peuvent servir à définir d'autres actifs vulnérables et leur importance pour la circulation.

Communiquer efficacement sur les risques et dangers menaçant les usagers de la route est une façon économique d'atténuer les conséquences des incidents. Différentes parties prenantes devraient collaborer pour développer cette information, en particulier celle reçue en voiture.

Structures d'auto-surveillance

Pour les actifs les plus vulnérables, il pourra être nécessaire d'utiliser des systèmes de surveillance plus complexes qui utilisent aussi l'information recueillie auprès des usagers de la route et qui communiquent le risque.

Exigences pour les entreprises intervenantes

Au moment de formuler des contrats d'entretien, il convient de garder à l'esprit que le changement climatique peut affecter les conditions de travail. Les contrats devraient par conséquent énoncer comment le risque sera partagé entre le commettant et l'entreprise intervenante. Un outil de gestion des risques peut être utilisé à cette fin. Le changement climatique ou des conditions de travail changeantes dues au changement climatique peuvent être jugées constituer un risque. Souvent il est nécessaire de réexaminer et redéfinir les conditions *inattendues*, qu'une entreprise intervenante n'est pas obligée d'inclure dans ses prestations, par opposition aux conditions *standard* qui constituent la base d'un contrat.

Bien que l'entreprise intervenante soit tenue de réagir uniquement aux conditions standard, il faut fournir un modèle opérationnel et un plan d'urgence couvrant les situations inattendues (celles par exemple qui requièrent plus d'équipement que disponible).

Dans certains cas, les contrats d'entretien incluent des inspections. Un climat plus rude va requérir des inspections plus fréquentes et plus détaillées, en particulier si la route n'a pas été conçue pour résister au climat actuel. Il faudrait accorder une attention spéciale aux paramètres climatiques dont on prévoit qu'ils auront un effet plus important dans un climat ayant changé.

2.4. La base de connaissances pour l'adaptation au changement climatique

Tous les aspects de l'adaptation et toutes les actions décrites au chapitre 2.3 dépendent d'une bonne base de connaissances non seulement dans les domaines de travail des administrations routières mais encore dans d'autres domaines professionnels dont notamment la météorologie, l'hydrologie et la géologie. Malgré une recherche substantielle dans ces domaines, les résultats ne se prêtent pas toujours à une application pratique tant qu'ils n'ont pas été interprétés et adaptés. Les paramètres les plus importants sont les suivants : intensité de la pluie, projections des chiffres d'inondation, vent, fréquence des tempêtes et hausse du niveau de la mer.

Développer une meilleure base de connaissances dicte de mieux surveiller les paramètres climatiques. Certaines mesures sont exécutées par les administrations routières elles-mêmes, mais une coordination est nécessaire avec d'autres fournisseurs de données. En outre, de bonnes solutions d'interfaces sont nécessaires, tels que des portails Web pour les données météo et routières. Voici par exemple quelques thèmes spécifiques requérant développement et innovation :

- Meilleures mesures des vents, précipitations à court terme, niveaux et fréquences des inondations ;
- Amélioration des cartes et bases de données GIS : cartes d'inondation, cartes des risques de glissement de terrain, cartes des précipitations et
- Bases de données sur les glissements de terrain et d'autres événements perturbateurs sur le réseau routier.

En outre est nécessaire une meilleure connaissance des coûts du changement climatique ainsi que des coûts et avantages de différentes mesures d'adaptation.

2.5. Sujets de recherche

Recherche visant à mieux connaître les effets du climat et du changement climatique

- Climat et glissements de terrain, avalanches, glissements de terrain du type « mouillé » ;
- Effets de combinaisons défavorables de paramètres météorologiques : par exemple une pluie intense sur sol gelé, neige fondue comprise. Aussi les effets combinés de la hausse du niveau de la mer, d'une marée de tempête et des vagues côtières,
- Meilleurs modèles pour simuler les effets du climat sur les chaussées et fondations de la route ; et
- Intégrer les modèles de climats régionaux et les modèles hydrologiques.

Développer des spécifications améliorées

- Spécifications de fonctionnalité basées sur les risques, et
- Critères définissant les niveaux de risques acceptables (il faudrait en discuter à l'échelon national).

Coordination des activités de recherche et d'éducation

- Diffusion, transfert de connaissances et application des résultats de recherche ;
- Coordination de programmes de recherche, programmation conjointe transeuropéenne ;
- Meilleure collaboration entre les projets de recherche en cours ;
- Sensibilisation du grand public et les politiques, et
- Veiller à ce que l'enseignement universitaire inclue les problématiques d'adaptation.

2.6. Actions sans regret

Indépendamment des différences administratives et climatiques nationales, certaines actions porteuses bénéfiques peuvent être immédiatement accomplies.

Retard dans l'entretien

Une certaine action sans regret, bien que requérant des ressources intensives, consiste à supprimer le retard accumulé dans l'entretien et les réparations. Le retard dans l'entretien et le respect de l'entretien planifié constituent un défi pour pratiquement tous les réseaux routiers. Il s'agit toutefois d'un élément crucial dans l'adaptation au changement climatique. Le retard dans l'entretien accroît la vulnérabilité aux effets climatiques, laquelle à son tour amplifie les dégâts et besoins de réparations.

Améliorer la base de connaissances

Collaborer avec les environnements de recherche en météorologie, hydrologie, géologie, etc. et communiquer les besoins constituent un important préalable pour réduire les incertitudes futures ; voir les chapitres 2.4 et 2.5.

Améliorer l'enregistrement d'événements liés au temps sur le réseau routier, documenter l'entretien ou les réparations accomplies, les données sur les « petits » actifs tels que les ponceaux (lesquels peuvent en devenir de très importants sous un climat plus exigeant) fournira aux ARN un meilleur point de départ pour s'adapter au climat.

Améliorer l'état de préparation

Le climat tel qu'il règne actuellement peut être très exigeant. Un meilleur état de préparation peut, dès aujourd'hui, empêcher des pertes de vies humaines et réduire les dégâts et les frais.

Réexamen des contrats

Des contrats d'entretien incluant une meilleure information sur les risques, une meilleure surveillance, des plans d'inventaire et des plans d'urgence sont bénéfiques pour la gestion tant aujourd'hui que sous le climat futur.

3. Comparaison des voies de progression

Les défis que les réseaux routiers affrontent sous un climat plus exigeant ont été décrits via les effets des principaux paramètres climatiques (1.6), via la gestion des risques (1.7), via les coûts (1.8) et depuis l'angle des procédures de travail (1.9). Au chapitre 2 sont suggérées certaines mesures d'adaptation au sein des opérations de planification, de conception, de construction et d'entretien, ainsi que de génération de connaissances. Le chapitre suivant décrit quelques principaux critères pour choisir et prioriser des mesures d'adaptation.

Gérer l'incertitude

Les projections climatiques seront toujours incertaines. Certains paramètres sont plus incertains que d'autres, selon la qualité des modèles et celle des données mesurées. Les projections du changement climatique évoluent elles ; le processus est continu. Il est donc essentiel de surveiller et d'actualiser régulièrement les scénarios climatiques.

En dépit d'incertitudes dans les projections climatiques, le groupe de travail conseille aux ARN d'agir maintenant. Les connaissances actuellement disponibles suffisent pour formuler des mesures d'adaptation. Toutefois, il faut choisir ces mesures de manière rationnelle. Pendant toute la *vie utile* d'une structure, il faut parvenir à ce que les ressources *disponibles* offrent une *sécurité adéquate*.

Des niveaux de sécurité requis (ou des niveaux correspondants de risque acceptable) sont difficiles à définir en termes généraux. Toutefois, un niveau de sécurité requis peut et devrait être reconnu dans chaque cas particulier, et devrait composer la base des décisions prises visant les mesures d'adaptation.

Quelques principes applicables au moment de décider des mesures d'adaptation

Les considérations qui suivent aideront à décider de ce qu'il faudrait faire en premier, ce qui *peut* attendre et ce qui *devrait* attendre.

- La durée de vie calculée d'une nouvelle structure (ou la durée de vie restante d'une structure existante en cours d'évaluation) doit être considérée en liaison avec l'aspect temporel du changement climatique. Il n'est pas nécessaire de tenir compte de volets climatiques qui ne seront pas entièrement développés pendant la vie utile d'une structure.
- Il faudrait toujours voir le volet temporel en relation avec l'évolution projetée du paramètre climatique le plus *désavantageux* : par exemple l'intensité des précipitations pour la capacité de drainage, la hausse du niveau de la mer pour la planification des tunnels sous-marins, etc. Voir la figure 4.

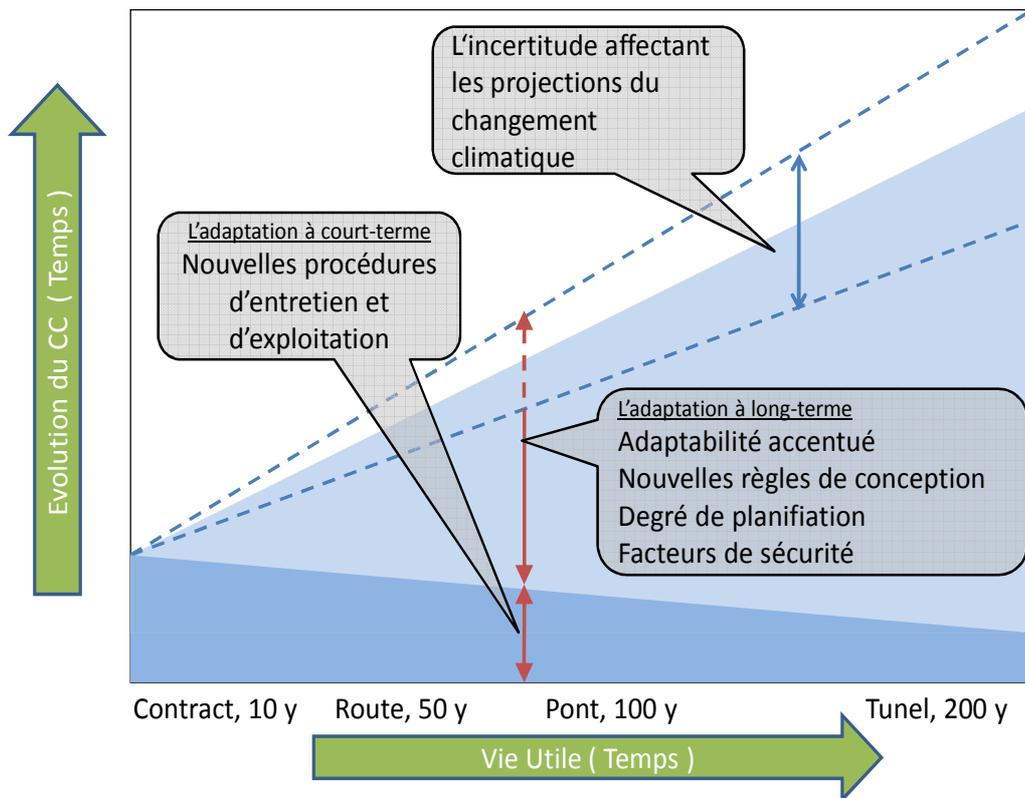


Fig. 4 : Vie utile, évolution du changement climatique et mesures d'adaptation à court et long terme pour maintenir le risque à un niveau acceptable

Cette illustration théorique suggère comment la vie utile d'un objet particulier fixe des critères applicables à la stratégie d'adaptation. Les mesures d'adaptation sont vues comme une combinaison de mesures à court terme et à long terme. A court terme, il est possible de maîtriser en partie l'adaptation en affinant les procédures d'entretien et d'exploitation. L'adaptation à long terme de son côté a besoin de prendre en compte des règles de planification et de conception, des facteurs de sécurité et d'autres mesures longue durée qui expliquent l'incertitude affectant les projections du changement climatique.

Tant l'axe vertical que l'horizontal représentent les années futures. L'axe vertical montre comment l'ampleur du changement climatique évolue avec le temps. L'axe horizontal indique la vie utile planifiée d'objets infrastructurels ou investissements particuliers. A titre d'exemple, sur l'extrême-gauche de l'axe horizontal, les changements climatiques apparents sont faibles et l'on parvient souvent à s'adapter en intensifiant l'entretien. Il faut donc que les contrats d'entretien reflètent cela. D'un autre côté, dans le cas des nouveaux ponts, les changements climatiques sont devenus plus importants pendant la vie utile de ces investissements, et il faut que la conception initiale couvre les changements climatiques anticipés et les incertitudes. Une conception plus robuste demandera théoriquement, et comme le suggère le diagramme, moins d'efforts du côté entretien.

Pour les structures existantes, il est préférable d'accomplir des mesures d'adaptation composant l'entretien ou les réparations planifiées. Au moment d'accomplir des réparations, il faudrait concevoir les mesures basées sur les valeurs qui seront valides pendant la vie utile restante de la structure.

- Dans certains cas il vaut peut-être mieux accepter un certain niveau de dégâts (et de frais de réparation) que chercher à complètement les éviter. Des analyses coûts-bénéfices fournissent une bonne base pour prendre des décisions.
- Si le niveau de perturbation acceptable a déjà été dépassé, il n'est pas possible d'attendre. En outre, attendre n'est recommandable que si l'on surveille en même temps l'état de la structure et l'évolution des facteurs climatiques ou « contraintes » les plus importants. Une bonne surveillance des paramètres climatiques, une documentation de l'état des actifs et l'enregistrement d'événements liés au temps sur le réseau routier améliorent la base de connaissances pour l'adapter dans 20 à 30 ans, et garantissent ainsi la prise de mesures d'adaptation encore plus fiables à l'avenir.
- Au moment de formuler les contrats d'entretien et d'exploitation, il peut être difficile de définir ce qu'est une situation « normale » ou *standard*. Ceci accroît l'importance qu'il revêt de décider comment les risques et conséquences d'un temps défavorable seront répartis entre l'autorité et l'entreprise intervenante. En l'absence de bases de données à jour, la meilleure pratique consistera à entretenir un bon contact avec des experts en météorologie et en hydrologie, et à améliorer dans chaque cas la base des prises de décision.
- L'expérience tirée de contrats achevés devrait bénéficier aux nouveaux contrats. Accomplir avant une période contractuelle les réparations les plus nécessaires à la route ouvre meilleures possibilités d'obtenir un bon entretien. Le changement climatique rend cela encore plus important !

4. Conclusions

Le groupe de travail souligne les effets suivants du changement climatique qu'il juge les plus importants à traiter :

- Inondations et érosion ;
- Glissements de terrain, chutes de rochers et avalanches ;
- Sécheresse et températures élevées ;
- Effets conduisant à une détérioration accrue des routes ;
- Effets de la hausse du niveau marin ;
- Effets sur les conditions hivernales,
- Évaluation et gestion des risques, et
- Calcul des coûts.

Il faudrait s'atteler au stade le plus précoce possible à toutes les répercussions du changement climatique.

Planification

- Tracé des routes (élévation jusqu'à une hauteur à l'abri des inondations, rectification du tracé horizontal), éviter le risque potentiel de glissement de terrain, l'exposition aux congères et au vent, etc. ;
- Démarche holistique dans la gestion des eaux de ruissellement (bassins de rétention et de sédimentation, bonne évaluation des risques concernant les cours d'eau transversaux et transport possible de sédiments) ;
- Examen de ce que cela implique pour l'entretien.

Conception et construction

- Assurer une capacité de drainage et une protection anti-érosion suffisantes ;
- Réviser les règles de conception pour s'adapter à de plus fortes contraintes climatiques ;
- Développer des modèles permettant une évaluation plus analytique des risques émanant des glissements de terrain et ne dépendant pas de l'historique ;
- Concevoir des chaussées robustes, qui résistent aussi aux températures élevées ;
- Gérer les problématiques environnementales : contrôle de la pollution, de la faune, etc.
- Considérer les répercussions de la conception des routes sur l'entretien ;
- Gestion des questions climatiques dans les contrats de construction.

Entretien et exploitation

- Évaluation des risques dans toutes les phases, à tous les niveaux : identifier les actifs les plus vulnérables conformément au changement climatique prédit, atténuer les dommages, prioriser les besoins ;
- Gestion des risques relatifs à des événements liés au temps : mesures préventives à la suite de prévisions, plans d'états de préparation et d'urgence pour gérer des situations consécutives à des événements liés au temps ;
- Surveiller les retards d'entretien, lesquels sont un inconvénient pour l'adaptation et la gestion des routes en général ;
- Se préparer à des conditions d'exploitation hivernale plus exigeantes : de bons contrats, des plans d'urgence, etc.
- Gestion de la circulation, communication des risques créés par des événements liés au temps, rediriger le trafic, utiliser de bons systèmes de surveillance pour maîtriser le trafic ;

- Améliorer les contrats : mieux définir les standards par rapport à une situation exceptionnelle, définir des méthodes de partage des risques, assigner des exigences robustes aux routines d'inspection et à la documentation.

Améliorer les connaissances

- Développer la base de connaissances nécessaire à l'adaptation : surveillance, cartographie et documentation des événements liés au temps
- Recherche : coordination des travaux en cours, plus de connaissances sur les effets du changement climatique sur le réseau routier, développer des façons de définir des risques acceptables et des spécifications basées sur des risques, et
- Sensibiliser les parties prenantes et le grand public à l'importance que revêt l'adaptation.

Priorisation

Il faudrait que l'adaptation au changement climatique commence dès la phase de planification d'un projet routier, et qu'elle soit incluse dans toutes les autres procédures de travail. Pour les structures existantes, il faudrait exécuter les mesures d'adaptation en tant que partie intégrante de l'entretien ou des réparations planifiées. Il faudrait choisir ces mesures d'une façon assurant une sécurité adéquate pendant la vie utile (restante) de la structure concernée. Le report d'une action n'est recommandable que si l'on surveille dans son sillage l'état de la structure et l'évolution des facteurs climatiques les plus importants. Dans certains cas, accepter des dégâts et les coûts de réparation s'avèrera peut-être la meilleure solution.

Toutefois, définir le niveau de risque *acceptable* est une tâche difficile. Il est également difficile de définir le climat standard ou « normal » valide pendant la vie utile d'une structure ou pendant la durée d'un contrat d'entretien. Cela accentue la nécessité d'entretenir de bons contacts avec les experts en météorologie et en hydrologie, et de souscrire de bons contrats d'entretien et d'exploitation.

Annexe 1 Risques liés au changement climatique

Annexe 2 Étude des travaux en cours sur l'adaptation au changement climatique

Annexe 3 Exemples de travaux d'adaptation et de bonnes pratiques pertinents pour s'adapter au changement climatique

Annexe 1

Risques liés au changement climatique



Probabilité

(3= le risque est sur, 2=risque probable, 1=peu probable, 0=improbable)

Gravité du risque

(3= extrêmement sévère, 2=sévère, 1=moins sévère, 0=pas prendre en compte)



Norvège

Températures élevées

Probabilité 3

Gravité du risque 1

Seulement les routes de l'intérieur, pendant les étés chauds.

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Les directives de la NPRA dictent d'utiliser un liant plus rigide dans les chaussées exposées aux températures élevées.

Besoin de recherche

Ne constitue pas une priorité absolue.

Températures voisines de 0

Probabilité 3

Gravité du risque (Incertaine)

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Détérioration des routes :

Stratégies générales, dans les directives de la NPRA, visant à réduire le gonflement par le gel.

Adhérence :

Utilisation standard de sel de déverglaçage pendant l'entretien d'hiver

Mesures prises

Détérioration des routes :

Restrictions visant la composition des matériaux.

Adhérence :

Directives améliorées pour les entreprises intervenantes chargées de l'exploitation, nouvelles normes régissant l'entretien d'hiver. Stratégies de salage améliorées.

Recueil des données

Adhérence :

Données sur l'utilisation réelle de sel de déverglaçage des routes.

Besoin de recherche

Détérioration des routes :

Cartographier le mouvement de l'isotherme ± 0 .

Améliorer la modélisation de la détérioration imputable aux facteurs météorologiques, pour mieux estimer les coûts.

Adhérence :

Pluie sur la neige et le sol gelé – calcul du

ruissellement.

Possibilité : effet sur la chute de rochers (difficile à déterminer).

Vent

Probabilité 1

Gravité du risque (Incertaine)

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Planification d'urgence.

Mesures prises

Plans d'urgence améliorés.

Recueil des données

Mesures visant la sécurité de la circulation, en particulier pour les ponts ou routes de montagne.

Besoin de recherche

Charges nominales ?

Tempêtes

Probabilité 1

Gravité du risque (Incertaine)

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Planification d'urgence.

Mesures prises

Plans d'urgence améliorés, utilisant mieux les données météorologiques. Entretien proactif : mesure prise sur la base d'une prévision météo, c'est-à-dire avant la tempête.

Besoin de recherche

Valeurs seuils des précipitations

Intensité de la pluie

Probabilité 3

Gravité du risque 3

Drainage et protection contre l'érosion insuffisants, effets sur les glissements de débris.

Mesures prises

Directives améliorées visant la construction d'ouvrages anti-érosion et le contrôle de l'érosion.

Recueil des données

Enregistrement amélioré des événements, données d'inspection.

Probabilité

(3= le risque est sur, 2=risque probable, 1=peu probable, 0=improbable)

Gravité du risque

(3= extrêmement sévère, 2=sévère, 1=moins sévère, 0=pas prendre en compte)



Conférence Européenne
des Directeurs des Routes
Conference of European
Directors of Roads

Débit accru des rivières

Probabilité 2

Gravité du risque 2

Dégâts subis par les ponts et ponceaux.

Mesures prises

Directives améliorées visant la construction d'ouvrages anti-érosion et le contrôle de l'érosion.

Recueil des données

Enregistrement amélioré des événements liés au temps, des données d'inspection sont nécessaires.

Inondations

Probabilité 3

Gravité du risque 2

Endommagement des routes, ponceaux, fondations. Défaillance de ponts.

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

- * Analyses des risques et de la sensibilité
- * Routines d'inspection

Toutes deux sont en cours de développement, pour une meilleure adaptation à un climat plus rude.

Mesures prises

Développement de routines pour analyses des risques et de la sensibilité afférentes aux ponts (focalisation sur la protection anti-érosion et les fondations). Routines d'inspection améliorées.

Recueil des données

La Direction des ressources énergétiques et hydrauliques développe des cartes (à achever) des zones inondées.

Bien que des données soient recueillies, nombreuses lacunes dans les analyses des fréquences d'inondations.

Effort pour rendre les données sur les ponts mieux accessibles.

Besoin de recherche

Meilleures projections des inondations.
Meilleures projections des pluies intenses.
En outre : développement de méthodes d'ingénierie pour éviter les inondations : par exemple bassins de rétention.

Sécheresse

Probabilité 1

Gravité du risque 1

Mesures prises

Entretien accru – Maîtrise de la poussière.

Besoin de recherche

Cartographie des zones pouvant requérir attention.

Glissements de terrain

Probabilité 2

Gravité du risque 2

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Plans régionaux de protection contre les glissements de terrain, modèle de prise de décision en termes de priorités.

Systèmes d'états de préparation et systèmes d'urgence

Mesures prises

Développement d'un modèle de risques liés aux glissements de terrain et aux avalanches.

Développement de meilleurs outils pour prédire les glissements de terrain (coopération avec la Direction des ressources hydrauliques et énergétiques, et avec l'Institut météorologique).

Recueil des données

Cartographie des risques, meilleur enregistrement des événements.

Coordination également de différentes bases de données, développement d'une base de données nationale, www.skrednett.no

Besoin de recherche

Mieux comprendre où et quand les glissements de terrain se produisent, cartographie des risques.

Meilleure utilisation des données météorologiques pour mieux prédire les glissements de terrain.

Avalanches

Probabilité 2

Gravité du risque 2

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Plans régionaux de protection contre les avalanches, modèle de prise de décision en termes de priorités.

Systèmes d'états de préparation et systèmes d'urgence.

Mesures prises

Développement d'un modèle de risques liés aux glissements de terrain et aux avalanches.

Probabilité

(3= le risque est sur, 2=risque probable, 1=peu probable, 0=improbable)

Gravité du risque

(3= extrêmement sévère, 2=sévère, 1=moins sévère, 0=pas prendre en compte)

Développement de meilleurs outils pour prédire les avalanches, et de systèmes d'alerte avalanche (coopération avec la Direction des ressources hydrauliques et énergétiques, et avec l'Institut météorologique).

Recueil des données

Meilleur enregistrement des événements.
Coordination également de différentes bases de données, développement d'une base de données nationale, www.skrednett.no

Besoin de recherche

Mieux comprendre où et quand se produisent les glissements de terrain, cartographie des risques.

Meilleure utilisation des données météorologiques pour mieux prédire les avalanches.

Intensité des chutes de neige

Probabilité 3

Gravité du risque 2

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Risque accru d'avalanches :
Pas spécifiquement considéré.

Question de sécurité de la circulation :
Planification d'urgence.
Exploitation en hiver.

Mesures prises

Risque accru d'avalanches :
Développement d'un modèle de risques liés aux glissements de terrain et aux avalanches.

Question de sécurité de la circulation :
Plans d'urgence améliorés utilisant mieux les données météorologiques.

Nouvelles directives visant la conception des routes exposées aux congères.
Mesures de sécurité de la circulation.

Variation du niveau de la mer

Probabilité 3

Les prédictions de niveau sont incertaines.

Gravité du risque 2

ou 3, vers l'an 2100.

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

La situation autour de plusieurs structures particulièrement exposées, tunnels sous-marins compris, est en cours d'étude.

Mesures prises

Des exigences visant la hauteur/le niveau des structures, et des règles de conception visant la protection contre l'érosion par les vagues sont en cours de développement.

Recueil des données

Au niveau national est reconnue la nécessité qu'il y ait une autorité formelle responsable de cartographier le développement et des projections futures.

Besoin de recherche

Meilleures prédictions de la hausse du niveau de la mer et des grandes marées de tempêtes – façons de définir dans des directives les exigences de niveau critiques.

Meilleure conception de la protection contre l'érosion par les vagues.



Finlande

Températures élevées

Probabilité 2

Pas de températures réellement élevées, mais des températures en hausse.

Gravité du risque 1

Les dégâts dus au gonflement par le gel augmentent, se compliquent et deviennent plus fréquents, les problèmes de gonflement de surface par le gel surgiront toute l'année, les chaussées s'usent plus vite.

Mesures prises

Plus d'argent a été alloué aux réparations du gonflement par le gel.

Recueil de données

L'Institut météorologique finlandais (FMI) recueille des données météorologiques.

Recueil de données par le système météorologique routier (Road Weather System – RWS), gonflement par le gel, état des routes en gravier.

Besoin de recherche

Effet sur l'état de la chaussée (les températures élevées ne sont pas critiques en Finlande, mais les températures hivernales accrues le sont). Études sur le gonflement de surfaces par le gel

Probabilité

(3= le risque est sur, 2=risque probable, 1=peu probable, 0=improbable)

Gravité du risque

(3= extrêmement sévère, 2=sévère, 1=moins sévère, 0=pas prendre en compte)



Conférence Européenne
des Directeurs des Routes
Conference of European
Directors of Roads

Températures voisines de 0

Probabilité 3**Gravité du risque** 2

Affecte l'entretien et ses coûts.

Mesures prises

Directives d'entretien hivernal. Les coûts de maintien du niveau de service ont été estimés.

Recueil des données

Réseau FMI et Administration de la circulation RWS.

Besoin de recherche

Effet sur l'état de la chaussée (critique).

Vent

Probabilité 2**Gravité du risque** 2

Arbres abattus bloquant les routes, congères.

Recueil des données

Le FMI recueille des données météorologiques.

Tempêtes

Probabilité 1**Gravité du risque** 2

Arbres abattus bloquant les routes, congères.

Recueil des données

Le FMI recueille des données météorologiques.

Intensité de la pluie

Probabilité 2

Prouvée. Bien que l'intensité n'augmente pas fortement, l'incidence des fortes pluies est plus fréquente.

Gravité du risque 2

Problèmes de drainage plus fréquents, blocages des routes et chemins, et endommagement des chaussées en gravier.

Recueil des données

Le FMI recueille des données météorologiques.

Besoin de recherche

Les normes de conception du drainage requièrent révision, besoin d'information.

Débit accru des rivières

Probabilité 2**Gravité du risque** 2

Dégâts subis par les ponts et ponceaux.

Inondations

Probabilité 2

Probables aussi, en fait, sans changement climatique.

Gravité du risque 2

Bloquent et endommagent les routes, état des ponts, ponceaux.

Recueil des données

Une cartographie des zones d'inondation est en cours.

Besoin de recherche

Recherche des zones inondées en cours.

Sécheresse

Probabilité 1**Gravité du risque** 1

Frais d'entretien accrus sur routes en gravier, affaissement de structures.

Mesures prises

Directives d'entretien des routes en gravier.

Les inventaires de l'empoussièrement des routes en gravier font partie d'une surveillance de la qualité dans les contrats d'entretien.

Glissements de terrain

Probabilité 1

Dans certaines zones, mais le risque n'augmente pas nécessairement en raison du changement climatique.

Gravité du risque 3

Endommagement des routes et d'autres structures ; les risques sécuritaires n'augmentent probablement pas.

Avalanches

Probabilité 1**Gravité du risque** 1

Intensité des chutes de neige

Probabilité 3

Fortes chutes de neige plus fréquentes.

Gravité du risque 2

Incidents de la circulation plus fréquents.



Probabilité

(3= le risque est sur, 2=risque probable, 1=peu probable, 0=improbable)

Gravité du risque

(3= extrêmement sévère, 2=sévère, 1=moins sévère, 0=pas prendre en compte)

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Politique de gestion des incidents.

Mesures prises

Gestion des incidents. Également incluse dans l'entretien d'hiver (directives).

Recueil des données

Données météorologiques, reportage sur la qualité de l'entretien.

Variation du niveau de la mer

Probabilité 1

Gravité du risque 0

Mesures prises

En Finlande, un « Groupe de travail sur les risques d'inondation » a proposé que les « plus bas niveaux de construction recommandés », remontant à 1998, soit révisés conformément aux toutes dernières connaissances.

Recueil des données

Institut finlandais de l'environnement
Institut météorologique finlandais, météo marine



Suède

Températures élevées

Probabilité 2

Températures plus élevées.

Gravité du risque 2

Perte de sol gelé ou permafrost, lequel est un important facteur de portance dans le nord de la Suède.

Recueil des données

Recueil des données provenant du système météorologique routier et de celui surveillant le gonflement par le gel.

Besoin de recherche

Étude socio-économiques concernant le modèle à utiliser à l'avenir : renforcer les routes, les réparer ensuite, ou interdire la circulation poids lourds pendant l'hiver.

Températures voisines de 0

Probabilité 3

Variable dans le pays. Dans le nord, les températures seront plus fréquemment voisines de 0 qu'elles ne le sont aujourd'hui. Ce sera peut-être moins le cas dans le sud.

Gravité du risque 2

Perte de sol gelé ou permafrost, important facteur de portance dans le nord de la Suède, ce qui affecte l'entretien et son coût.

Recueil des données

Recueil des données provenant du système météorologique routier et de celui surveillant le gonflement par le gel.

Besoin de recherche

Voir la réponse précédente.
Effet sur l'état de la chaussée.

Vent

Probabilité 1

Les scénarios régionaux provenant de l'Institut météorologique et hydrologique suédois (SMHI) n'indiquent aucun changement évident du vent.

Gravité du risque 2

Tempêtes

Probabilité Incertaine

Gravité du risque Incertaine

Intensité de la pluie

Probabilité 3

Gravité du risque 3

Mesures prises

La publication VVMB 310 *Hydraulisk dimensionering* (Dimensionnement hydraulique, en suédois) contient une carte de la Suède et avec les valeurs prises par un coefficient servant à calculer les chiffres de ruissellement de l'eau.

Recueil des données

Recueil des données provenant du système météorologique routier.

Débit accru des rivières

Probabilité 2

Cela dépend de la région de Suède examinée.

Gravité du risque 2

Probabilité

(3= le risque est sur, 2=risque probable, 1=peu probable, 0=improbable)

Gravité du risque

(3= extrêmement sévère, 2=sévère, 1=moins sévère, 0=pas prendre en compte)



Conférence Européenne
des Directeurs des Routes
Conference of European
Directors of Roads

Mesures prises

La publication VVMB 310 *Hydraulisk dimensionering* (Dimensionnement hydraulique, en suédois) contient une carte de la Suède et les valeurs prises par un coefficient servant à calculer les chiffres de ruissellement de l'eau.

Recueil des données

La base de données Ponts (BaTMan) contient des cotes supérieures au débit d'écoulement maximal (valeur sur 50 ans).

Besoin de recherche

Inondations

Probabilité 3

Gravité du risque 2

Recueil des données

Les zones d'inondation sont en cours de cartographie à l'échelle nationale.

Besoin de recherche

Production en cours de nouvelles données d'élévation (balayage laser). Il devient possible sur cette base de produit de meilleures cartes d'inondation.

Sécheresse

Probabilité 1

Pans sud-est du pays.

Gravité du risque 1

Glissements de terrain

Probabilité 3

Gravité du risque 3

Mesures prises

Une carte de la Suède illustrant le changement de probabilité des glissements de terrain provoqué par le changement climatique.

Besoin de recherche

Inventaire des sites d'argile sensible qu'il faudrait ensuite corréliser avec les changements de probabilité des glissements de terrain provoqués par le changement climatique.

Avalanches

Probabilité 1

Gravité du risque 1

Intensité des chutes de neige

Probabilité 1

Gravité du risque 2

Recueil des données

Recueil des données provenant du système météorologique routier.

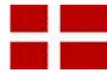
Variation du niveau de la mer

Probabilité 2

Gravité du risque 2

Besoin de recherche

Localisation des terminaux de ferrys, tunnels et tronçons de route situés peu au dessus du niveau de la mer.



Danemark

Températures élevées

Probabilité 2

Gravité du risque 2

Détérioration des routes.

Températures voisines de 0

Probabilité 1

Il est prévu que les températures voisines de 0 seront moins fréquentes.

Gravité du risque 1

Vent

Probabilité 2

Gravité du risque 1

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Stratégie pour tous les principaux ponts.

Mesures prises

Plans d'urgence améliorés. Avertissements par les STI.

Tempêtes

Probabilité 2

Gravité du risque 2

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Stratégie pour tous les principaux ponts.

Probabilité

(3= le risque est sur, 2=risque probable, 1=peu probable, 0=improbable)

Gravité du risque

(3= extrêmement sévère, 2=sévère, 1=moins sévère, 0=pas prendre en compte)

Mesures prises

Plans d'urgence améliorés. Avertissements par les STI.

Intensité de la pluie

Probabilité 3

Gravité du risque 2

Mesures prises

Utilisation d'enrobé drainant dans les zones à risques (Points bleus).

Plans d'urgence améliorés. Avertissements par les STI.

Besoin de recherche

Meilleure prévision de l'intensité des précipitations et de l'emplacement de l'incident.

Débit accru des rivières

Probabilité 2

Gravité du risque 1

Mesures prises

Cartographie des zones à risques (cartographie des Points bleus), plans d'urgence améliorés.

Avertissements par les STI.

Inondations

Probabilité 2

Gravité du risque 2

Mesures prises

Cartographie des zones à risques (cartographie des Points bleus).

Plans d'urgence améliorés.

Avertissements par les STI.

Sécheresse

Probabilité 2

Gravité du risque 1

Glissements de terrain

Probabilité 0

Gravité du risque 0

Avalanches

Probabilité 0

Gravité du risque 0

Intensité des chutes de neige

Probabilité 1

Aucune augmentation des chutes de neige attendue.

Gravité du risque 1

Variation du niveau de la mer

Probabilité 2

Gravité du risque 2

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Stratégie pour tous les tunnels sous la mer.

Mesures prises

Les orifices d'entrée ont été construits au dessus du niveau prévisionnel de la mer au cours des 100 prochaines années.



Royaume-Uni

Températures élevées

Probabilité 3

Gravité du risque 1

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Les spécifications de conception de la chaussée anticipent des températures prédites plus élevées en raison du changement climatique.

L'espérance de vie de la chaussée vulnérable à la température signifie qu'un entretien intense devrait suivre le rythme du changement climatique.

Mesures prises

Ajout de la spécification chaussée (française) *Enrobé à module élevé* (EME2) capable de résister à une température superficielle de 60 °C.

Températures voisines de 0

Probabilité 1

Gravité du risque 0

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Programme intégral en place pour gérer la résilience hivernale en reconnaissant la variabilité du climat britannique.

Les prédictions de changement climatique suggèrent des hivers plus humides et moins froids.

Probabilité

(3= le risque est sur, 2=risque probable, 1=peu probable, 0=improbable)

Gravité du risqué

(3= extrêmement sevère, 2=sevère, 1=moins sevère, 0=pas prendre en compte)



Conférence Européenne
des Directeurs des Routes
Conference of European
Directors of Roads

Mesures prises

Disponibilité d'une réserve de sel stratégique.

Flotte de véhicules d'hiver ultramodernes, conformes à des spécifications sévères.

Conseils de conduite hivernale aux conducteurs britanniques.

Vent

Probabilité 1

Gravité du risque 1

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Les prévisions météo proviennent de l'Office météorologique (Met Office) ; à elles s'ajoutent les vitesses éoliennes actuelles provenant des stations météorologiques montées sur des ponts exposés.

Mesures prises

Des conseils spécifiques sont donnés aux conducteurs de poids lourds.

Il existe des canaux efficaces de communication avec les entreprises de transport et de logistique.

Les panneaux électroniques à pictogrammes sont compris par les conducteurs de poids lourds étrangers.

Recueil des données

Les valeurs anémométriques sont surveillées dans des centres de contrôle de la Highways Agency.

Tempêtes

Probabilité 2

Gravité du risque 2

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Les normes et spécifications de conception des grands axes prévoient des événements extrêmes, par exemple ceux se produisant une fois par siècle.

Avec le changement climatique, les événements extrêmes deviendront peut-être plus fréquents.

Mesures prises

Une fréquence plus importante ne signifie pas nécessairement un impact plus important, et peut même ne pas signifier un plus grand risque.

Inversement toutefois, un événement qui survenait autrefois 1 fois en 500 ans peut survenir maintenant 1 fois en 100 ans, et requérir de réviser les normes et spécifications.

Intensité de la pluie

Probabilité 3

Gravité du risque 2

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Des prédictions (précipitation) sur le changement climatique au Royaume-Uni ont été appliquées à des données historiques sur l'intensité de la pluie et sur la capacité de drainage. Le drainage routier est un actif longue durée justifiant une intervention plus précoce au stade de la conception.

Mesures prises

Les normes de drainage routier ont été actualisées en 2006, ajoutant ainsi jusqu'à 20 % à la capacité de transport du système de drainage. De nouveaux systèmes de gestion des autoroutes, une nouvelle signalétique et signalisation permettent d'afficher au trafic des informations en temps réel, y compris sur les conditions de conduite, les limites de vitesse temporaires et la fermeture de voies.

Recueil des données

Le système avec base de données de drainage permet de saisir les incidents d'inondation, leur durée et leur cause, et permet leur enregistrement par les fournisseurs de services aux actifs.

Débit accru des rivières

Probabilité 3

Gravité du risque 1

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Évaluations structurelles du risque d'affouillement des ponts

Mesures prises

La Highways Agency va définir une nouvelle méthode pour évaluer le risque d'inondation futur, celui d'affouillement inclus.

Inondations

Probabilité 3

Gravité du risque 2

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Lors de la réalisation de nouveaux projets routiers, la conception du drainage tient compte de l'augmentation prédite des inondations.

Sécheresse

Probabilité	2
Gravité du risque	1

Glissements de terrain

Probabilité	1
Gravité du risque	0

Avalanches

Probabilité	0
Gravité du risque	0

Intensité des chutes de neige

Probabilité	1
Gravité du risque	1

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ? Comme indiqué plus haut, un programme intégral est en place pour gérer la résilience hivernale.

Mesures prises
Réserve stratégique de sel.

Variation du niveau de la mer

Probabilité	2
Gravité du risque	1

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

En Angleterre, peu nombreux sont les grands axes routiers longeant des sites côtiers très vulnérables.

Mesures prises
Sensibilisation.



Irlande

Températures élevées

Probabilité	2
Gravité du risque	1

Entre 2021 et 2060, la température moyenne sera supérieure de 1 à 1,5 °C à celle des années 1961 à 2000. La température allant en augmentant, ceci

n'entraînera pas de températures intolérables vu la faible température de base en Irlande.

Températures voisines de 0

Probabilité	1
--------------------	----------

Aucune base scientifique apparente, mais 2010 a connu des températures très basses en novembre/décembre et deux épisodes neigeux qui ont gravement perturbé la circulation dans tout le pays.

Gravité du risque	2
--------------------------	----------

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Mesures améliorées garantissant d'être paré pour les épisodes de basses températures. Les commandes de sel étaient émises à l'origine par chaque autorité locale ; maintenant, elles sont centralisées auprès de l'ARN. Constitution d'un groupe de réaction d'urgence (ARN, aéroports, rail, Met [Service météorologique national], etc.) pour garantir l'émission et la gestion correctes d'alertes en cas de très mauvais temps.

Mesures prises

Comme pour la stratégie.

Vent

Probabilité	1
Gravité du risque	1

Tempêtes

Probabilité	1
Gravité du risque	1

Intensité de la pluie

Probabilité	3
--------------------	----------

On s'attend à une augmentation des pluies hivernales d'environ 15 %, et les projections estivales sont comprises entre aucun changement et 20 % de diminution. Il est prévu que les épisodes diluviens augmentent, en automne particulièrement, avec une augmentation de 20 % des quantités sur deux jours.

Gravité du risque	2
--------------------------	----------

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Comme pour l'inondation.

Mesures prises

Comme pour l'inondation

Recueil des données

Comme pour l'inondation.

Probabilité

(3= le risque est sur, 2=risque probable, 1=peu probable, 0=improbable)

Gravité du risqué

(3= extrêmement sevère, 2=sevère, 1=moins sevère, 0=pas prendre en compte)



Conférence Européenne
des Directeurs des Routes
Conference of European
Directors of Roads

Besoin de recherche

Comme pour l'inondation.

Débit accru des rivières

Probabilité	1
Gravité du risque	1

Inondations

Probabilité	3
--------------------	----------

En 2050 : chutes de pluie en hiver +10% ; en été -12 à -17%.

En 2080 : chutes de pluie en hiver +11 à +17%, pluies d'été -14 à -25%.

Épisodes pluvieux prolongés en hiver et chutes de pluie plus intenses en été (Sweeney et col. 2007).

Gravité du risque	2
--------------------------	----------

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Oui quant à la conception, où les normes de conception des routes nouvelles indiquent que les intensités pluviales entrant dans la conception des systèmes de drainage augmenteront de 20%, afin de tenir compte des effets futurs du changement climatique. Relativement à l'entretien, la démarche tend à être de nature réactive et temporaire plutôt que proactive.

Mesures prises

Normes modifiées de conception du drainage pour les routes neuves, et décalage vers des systèmes de drainage plus durables. Planification améliorée de l'espace au niveau des autorités locales.

Recueil des données

Recueil des données accompli par les autorités locales.

Besoin de recherche

Programmes de recherche en cours sur ceci :

- Analyse et développement de systèmes de drainage routier ;
 - Impact des franchissements de rivières et
 - Impact du drainage routier sur la nappe phréatique.
- Aucune nouvelle recherche nécessaire.

Sécheresse

Probabilité	1
Gravité du risque	0

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Alimentation en eau indépendante pour les nouveaux

projets de logement (non liés aux routes).

Éducation relative à la consommation d'eau et à la mesure de la consommation.

Besoin de recherche

Effets du changement climatique sur les eaux souterraines (non liés aux routes).

Glissements de terrain

Probabilité	1
Gravité du risque	2

Avalanches

Probabilité	0
Gravité du risque	0

Intensité des chutes de neige

Probabilité	0
Gravité du risque	0

Variation du niveau de la mer

Probabilité	1
Gravité du risque	1



France

Températures élevées

Probabilité	3
--------------------	----------

Vagues de chaleurs longues et intenses plus fréquentes.

Gravité du risque	1
--------------------------	----------

Endommagement de la surface de la route pendant les vagues de chaleur et de sécheresse prolongées.

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Oui, un Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC) pour la période 2011-2015 ; un plan dédié au réseau et à l'infrastructure de transport est inclus (voir Annexe 3).

Mesures prises

1. Inventaire et adaptation des directives techniques visant la construction, l'entretien et l'exploitation du réseau de transport.
2. Impact du changement climatique sur la demande de transport et l'ajustement des services fournis.
3. Développement d'une méthodologie pour analyser la vulnérabilité du réseau de transport.



Probabilité

(3= le risque est sur, 2=risque probable, 1=peu probable, 0=improbable)

Gravité du risque

(3= extrêmement sévère, 2=sévère, 1=moins sévère, 0=pas prendre en compte)

Recueil des données

Météo France
Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)
Observatoire National sur les Effets du
Réchauffement Climatique (ONERC)

Besoin de recherche

Étudier le comportement des matériaux qui subissent le changement climatique, notamment eu égard aux effets des cycles de température et d'humidité ; gel/dégel, humidité/sécheresse, etc.

Températures voisines de 0

Probabilité 2

Jours de gel moins nombreux. Vagues de froid moins fréquentes, augmentation du nombre de cycles gel/dégel sur les routes, ce qui rend la structure plus fragile.

Gravité du risque 1/2

1

La fréquence des routes verglacées et l'entretien d'hiver pourraient diminuer.

2

En zones montagneuses, risque associé au dégel de la zone périglaciaire (couloirs de boue). Le niveau de risque dépend des contraintes locales.

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ? PNACC 2011–2015.

Mesures prises

Observation de la cryosphère

Recueil des données

Météo France
Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)
Observatoire National sur les Effets du
Réchauffement Climatique (ONERC)

Besoin de recherche

Étudier le comportement des matériaux qui subissent le changement climatique, notamment eu égard aux effets des cycles de température et d'humidité ; gel/dégel, humidité/sécheresse, etc.

Connaissance des effets du dégel en zone périglaciaire.

Vent

Probabilité 1

Gravité du risque 1

Chutes d'arbres bloquant les routes et risques pour les ponts.

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ? PNACC 2011–2015.

Recueil des données

Météo-France.

Tempêtes

Probabilité 1

Principalement sur la façade atlantique et de la Manche, et dans le quart nord-ouest de la France. Aucune tendance significative à relever dans l'intensité des tempêtes entre 1950 et 2000. Il est prévu que la variabilité augmente, donc la fréquence d'événements extrêmes tels que les tempêtes va augmenter.

Gravité du risque 2

Risques pour l'équipement en bord de route, chutes d'arbres bloquant les routes. Zones tropicales outre-mer : risques engendrés par les cyclones.

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ? PNACC 2011-2015.

Identifié comme un risque majeur.

Recueil des données

Météo-France
Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)

Intensité de la pluie

Probabilité 2

Fréquence accrue de fortes pluies. Pluies plus fortes pendant l'hiver sur la façade atlantique ; pluviosité en baisse pendant l'été dans le sud (notamment en zones méditerranéennes).

Gravité du risque 1

Recharge des rivières et aquifères.

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

PNACC 2011–2015.

Recueil des données

Météo-France
<http://pluiesextremes.meteo.fr/>
Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)

Débit accru des rivières

Probabilité 1

En général, le débit moyen des rivières va diminuer, en particulier en été et en automne.

Probabilité

(3= le risque est sur, 2=risque probable, 1=peu probable, 0=improbable)

Gravité du risqué

(3= extrêmement sevère, 2=sevère, 1=moins sevère, 0=pas prendre en compte)



Conférence Européenne
des Directeurs des Routes
Conference of European
Directors of Roads

Niveaux d'eau plus fréquemment et plus gravement bas.

Augmentation du débit hivernal des rivières dans les Alpes et le sud-est de la France.

Gravité du risque 2

Inondations soudaines.

Glissements de terrain.

Sape du terrain.

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

PNACC 2011-2015.

Identifié comme un risque majeur.

« Plan submersions rapides » (Plan de réaction aux inondations subites), 2010, Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement.

Mesures prises

Intégration de l'adaptation au changement climatique dans la transposition de la directive sur les inondations ; cartographie des risques d'immersion pour le littoral et les territoires inondés en 2013.

Recueil des données

Météo-France

Centre de géosciences, MINES Paris Tech : développement d'un modèle hydrométéorologique, utilisation de la chaîne Safran-Isba-Modcou (SIM).

Besoin de recherche

Traiter les effets du changement climatique sur l'hydrologie ; de nombreux projets de recherche fournissent des données : RexHYSS, CYPRIM, IMAGINE2030, CLIMSEC, EXPLORE2070.

Inondations

Probabilité 2

Les inondations subites pourraient égaler être égalé ou dépasser les niveaux actuellement enregistrés dans les régions méditerranéennes.

Gravité du risque 2

En zones méditerranéennes.

Inondations dues à une percée brutale de lac glaciaire.

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

PNACC 2011-2015.

Mesures prises

Études pilotes sur l'impact du changement climatique sur la gestion du risque d'inondation.

Recueil de données

Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI).

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement.

Sécheresse

Probabilité 3

De hauts niveaux d'évaporation plus une réduction de la pluie et de la neige entraîneraient un dessèchement plus intense et rapide du sol ainsi qu'une recharge moins importante de la nappe phréatique.

Gravité du risque 3

Niveaux des eaux souterraines plus bas → expansion des sols/de l'argile, inquiétudes quant à la stabilité de certaines structures.

Risque de feux de forêts.

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ? PNACC 2011–2015.

Recueil des données

Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), <http://www.argiles.fr>

Besoin de recherche

Étudier le comportement des matériaux qui subissent le changement climatique, notamment eu égard aux effets des cycles de température et d'humidité ; gel/dégel, humidité/sécheresse, etc.

Glissements de terrain

Probabilité 1

Gravité du risque 2

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

PNACC 2011–2015.

Identifié comme un risque majeur.

Mesures prises

Surveiller les grands sites.

Recueil des données

BRGM, <http://www.bdmvt.net/>

Avalanches

Probabilité 1

Deux hypothèses sont avancées : un grand nombre d'avalanches de fonte, et une réduction du nombre d'avalanches à basse et moyenne altitude.

Gravité du risque 1

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

PNACC 2011–2015, identifié comme un risque majeur.

Recueil de données

Cemagref <http://www.avalanches.fr>

Météo-France, Pôle Grenoblois Risques Naturels (PGRN)

Intensité des chutes de neige

Probabilité 2

Modification des services touristiques en région montagneuse.
Recharge des glaciers et des réserves d'eau en été.

Gravité du risque 2

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

PNACC 2011–2015.

Recueil de données

Météo-France.

Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)

Variation du niveau de la mer

Probabilité 3

Gravité du risque 2

Érosion des routes en régions côtières. 864 agglomérations côtières (590 000 hectares) affectés par la hausse du niveau de la mer.

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Oui, PNACC (2011–2015).

« Plan Submersions rapides » (Plan de réaction aux inondations subites), 2010, Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement.

Mesures prises

29 plans de protection contre les risques liés à l'érosion côtière ont été approuvés.

46 plans de protection contre la hausse du niveau de la mer ont été approuvés.

Intégration de l'adaptation au changement climatique dans la transposition de la directive sur les inondations ; cartographie des risques d'inondation pour le littoral et les territoires inondés en 2013.

Recueil des données

Météo-France

GIEC - Les experts du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (Expert Group on Climate Change), rapport 2007

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement.

Besoin de recherche

Modélisation à haute résolution afin de prévoir l'évolution du niveau de la mer dans les zones côtières, au bord de la Méditerranée.

Évaluer l'efficacité des protections naturelles et artificielles.



Autriche

Températures élevées

Probabilité 2

Gravité du risque 2

Températures voisines de 0

Probabilité 3

Gravité du risque 2

Vent

Probabilité 1

Gravité du risque 1

Tempêtes

Probabilité 1

Gravité du risque 1

Intensité de la pluie

Probabilité 2

Débit accru des rivières

Probabilité 1

Gravité du risque 2

Probabilité

(3= le risque est sur, 2=risque probable, 1=peu probable, 0=improbable)

Gravité du risque

(3= extrêmement sévère, 2=sévère, 1=moins sévère, 0=pas prendre en compte)



Conférence Européenne
des Directeurs des Routes
Conference of European
Directors of Roads

Inondations

Probabilité 3

Gravité du risque 2

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ? Cartographie du risque d'inondation et mesures subséquentes.

Sécheresse

Probabilité 3

Gravité du risque 2

Mesures prises

Utilisation, sur les versants, d'une végétation résistante à la sécheresse.

Glissements de terrain

Probabilité 2

Gravité du risque 2

Avalanches

Probabilité 2

Gravité du risque 1

Intensité des chutes de neige

Probabilité 2

Gravité du risque 3

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ? Investissements supplémentaires dans l'équipement de dégivrage de la neige.

Recueil des données

Les services appliqués de gestion hivernale (dégivrage de la neige et application de sel de dégel) sont documentés dans une base de données basée sur GIS (piloteage orienté sur la performance/LOS : outil de gestion et de contrôle orienté sur la performance).

Variation du niveau de la mer

Probabilité 0

Gravité du risque 0



Hongrie

Températures élevées

Probabilité 3

Toutes les évaluations ont conclu que les températures augmenteraient à chaque saison et que le nombre de jours caniculaires croîtrait.

Gravité du risque 2

L'augmentation de la température va dépasser la moyenne mondiale.

Températures voisines de 0

Probabilité -

Gravité du risque -

Vent

Probabilité 2

La vitesse du vent va augmenter légèrement dans la partie orientale du pays, tandis qu'aucun changement significatif ou une légère diminution sont prévus dans les autres régions.

Gravité du risque 1

La gravité n'est pas intense en soi, mais même une légère augmentation de la vitesse du vent peut avoir des effets graves si au même moment les précipitations augmentent significativement (cette combinaison négative va devenir plus fréquente dans tout le pays).

Tempêtes

Probabilité 3

La fréquence de survenue simultanée de fortes pluies et de vents plus rapides (phénomène caractéristique des tempêtes) va augmenter dans tout le pays.

Gravité du risque 2

La gravité peut être influencée par l'augmentation régionale de la vitesse du vent.

Intensité de la pluie

Probabilité 3

Les précipitations moyennes vont diminuer, mais tandis que les épisodes pluvieux seront eux aussi moins nombreux, il va en résulter des pluies plus intenses dans tout le pays.

Gravité du risque 2

La gravité peut être influencée par l'augmentation régionale de la vitesse du vent.

Débit accru des rivières

Probabilité 3

Il peut augmenter temporairement vu l'augmentation des tempêtes et fortes chutes de pluie. Il peut également être influencé par les changements de débit survenus dans tout le bassin hydrographique (situé en partie hors des frontières nationales).

Gravité du risque 2

Inondations

Probabilité 3

Il peut augmenter temporairement vu l'augmentation des tempêtes et fortes chutes de pluie. Il peut également être influencé par les changements de débit survenus dans tout le bassin hydrographique (situé en partie hors des frontières nationales).

Gravité du risque 2

Sécheresse

Probabilité 3

Les précipitations estivales vont diminuer, provoquant des sécheresses en particulier dans le sud et l'est du pays.

Gravité du risque 1

Glissements de terrain

Probabilité 2

L'intensité croissante des pluies se traduira probablement par un plus grand nombre de glissements de terrain.

Avalanches

Pas applicable.

Intensité des chutes de neige

Probabilité 3

Les chutes de neige vont devenir plus intenses du fait de l'augmentation des précipitations hivernales et de la diminution du nombre d'épisodes neigeux.

Gravité du risque 2

Variation du niveau de la mer

Néant.



Italie

Températures élevées

Probabilité 3

Conformément à des études du CNR-ISAC³⁵, les températures moyennes annuelles ont augmenté d'environ 1,4°C en Italie au cours des 50 dernières années.

³⁵ Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del Consiglio Nazionale delle Ricerche (Institut des sciences de l'atmosphère et du climat auprès du Conseil national italien de la recherche).

L'analyse des frises chronologiques accomplie par l'ISPRA³⁶ pour la période 1961-2008 révèle une augmentation de la température d'environ 1°C entre 1981 et 2008. La température moyenne enregistrée en Italie ces dernières décennies est supérieure à la moyenne mondiale.³⁷

Gravité du risque 2

Recueil des données

Base de données ISAC-CNR : séries historiques de paramètres météorologiques en Italie. La base de données comprend des mesures thermométriques, pluviométriques, barométriques et celles de la couverture nuageuse. SINANET-SCIA : système national destiné à recueillir, traiter et diffuser les données climatologiques présentant un intérêt pour l'environnement.

Besoin de recherche

Effets sur la chaussée routière, sur les joints (indirectement, frais d'entretien indirects).

Températures voisines de 0

Probabilité 2

La tendance aux chutes de neige en zones alpines connaît une diminution générale bien que non significative ; dans les Apennins, cette réduction ne s'applique qu'aux stations situées à plus de 900 – 1 000 mètres tandis que les autres, celles du sud en particulier, enregistrent généralement une hausse de l'incidence de la neige. La diminution est plus évidente en Sardaigne et en Sicile³⁸.

Gravité du risque 1/2

- 1 En zones alpines.
- 2 En zones apennines.

Mesures prises

Des « Plans neige » ont été ébauchés.

Recueil de données

Service météorologique de l'Aéronautique militaire, Centre national de météorologie et de climatologie aéronautique (CNMCA) Aineva—Association interrégionale neige et avalanches

³⁶ Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Institut supérieur pour la protection et la recherche environnementales).

³⁷ L'augmentation de la température moyenne est significative partout entre l'automne 1970 et l'été 1980, tandis qu'entre 1961 et 2006, elle est significative dans le nord en hiver et dans le centre et le sud au printemps.

³⁸ M. Fazzini, A. Giuffrida, G. Frustaci et col. (2005), *Analyse des chutes de neige sur l'Italie péninsulaire au cours des 20 dernières années : premiers résultats.*

Probabilité

(3= le risque est sur, 2=risque probable, 1=peu probable, 0=improbable)

Gravité du risque

(3= extrêmement sévère, 2=sévère, 1=moins sévère, 0=pas prendre en compte)



Conférence Européenne
des Directeurs des Routes
Conference of European
Directors of Roads

Vent

Probabilité 1

Gravité du risque 1

Tempêtes

Probabilité 2

Gravité du risque 1

Recueil des données

Service météorologique de l'aéronautique militaire.

Intensité de la pluie

Probabilité 2

Légère diminution des précipitations et changement important dans le calendrier de ces dernières, avec une diminution du nombre de jours de pluie, une augmentation de l'intensité de la pluie et de la durée maximale des périodes sèches.

Des séries chronologiques continues sont disponibles mais toutefois trop courtes.

Data collection

Base de données ISAC-CNR : séries historiques de paramètres météorologiques en Italie.

La base de données comprend des mesures thermométriques, pluviométriques, barométriques et celles de la couverture nuageuse.

Service météorologique de l'aéronautique militaire.

Besoin de recherche

Influence sur les paramètres de conception des systèmes de drainage, et sur les coûts d'entretien.

Débit accru des rivières

Probabilité -

Gravité du risque -

Recueil des données

ISPRA SINTAI : Système d'information pour la protection des eaux en Italie – Le système SINTAI est conçu et entretenu par le Département Protection des eaux marines et intérieures de l'ISPRA.

Besoin de recherche

Influence sur les paramètres de conception.

Inondations

Probabilité 2

Gravité du risque 2

IRPI (Institut de recherche pour la protection hydrogéologique).

Autorités des bassins de rivières (Autorità di Bacino).

Sécheresse

Probabilité 1

Ce phénomène est particulièrement évident dans les régions méridionales et sur les îles ; là-bas, la sécheresse du sol a augmenté depuis 1900 mais surtout ces dernières décennies, tant en termes d'étendue des territoires affectés que d'intensité de la sécheresse. Les régions arides, semi-arides et subhumides sèches affectent actuellement 47 % de la Sicile, 31,2 % de la Sardaigne, 60 % des Pouilles et 54 % de la Basilicate.

Gravité du risque 1

Recueil des données

Projet ISPRA – SIDES – Désertification.

Le projet SIDES (système intégré d'informations destiné à surveiller, évaluer et atténuer la désertification de pans du territoire italien particulièrement affectés) s'est fixé pour objectif de mettre en place un système d'information destiné à analyser et évaluer différents types de données et d'informations nécessaires pour étudier la désertification.

Glissements de terrain

Probabilité 2

Gravité du risque 2

Recueil des données

IFFI – Inventaire des glissements de terrain en Italie : il fournit un panorama détaillé de la répartition des glissements de terrain en Italie.

IRPI (Institut de recherche pour la protection hydrogéologique).

Avalanches

Probabilité -

Gravité du risque -

Intensité des chutes de neige

Probabilité 2

IRPI (Institut de recherche pour la protection hydrogéologique).

Il est prévu que les précipitations hivernales connaissent une augmentation comprise entre 5 et 25 %, qu'elles soient de plus en plus caractérisées par des pluies plutôt que par de la neige, et qu'elles diminuent de 5 à 40 % pendant l'été.

La haute sensibilité de la couverture neigeuse aux changements de température pourrait se traduire par une réduction générale de cette couverture caractérisée par une fonte au début du printemps. On estime qu'une augmentation de 1 °C de la température pourrait réduire à quelques semaines la permanence de la couverture neigeuse, et ceci même à de plus hautes altitudes.

En même temps, cela va également hausser l'altitude à laquelle la neige tend à se manifester.

Gravité du risque 2

Variation du niveau de la mer

Probabilité 1

La mer Méditerranée, donc aussi les mers italiennes, n'ont pas le même comportement projeté que les océans.

Gravité du risque 1

Recueil des données

ISPRA – Service des marées – Réseau national des marées.



Espagne ³⁹

Températures élevées

Probabilité 3

Les modèles climatiques montrent une tendance à l'augmentation des températures dans la péninsule ibérique au cours du siècle prochain. Le réchauffement est plus important dans l'intérieur que dans les régions côtières et sur les îles.

Nombre croissant de jours caniculaires extrêmes dans la péninsule, en particulier en été.

Gravité du risque 2

Dans certaines régions d'Espagne, ce risque sera grave en été. Il sera moins grave dans le nord de l'Espagne.

L'augmentation moyenne des températures est plus élevée en été qu'en hiver.

Recueil des données

L'Agence nationale espagnole de météorologie (AEMet) recueille toutes les données météorologiques nationales.

En Espagne, la Direction générale de la circulation recueille des données météorologiques au bord des autoroutes et des routes.

Sur certaines routes, la Direction générale des routes entretient des stations météorologiques.

Besoin de recherche

Effet sur les états de la chaussée.

Températures voisines de 0

Probabilité 2

Les modèles climatiques montrent une tendance à l'augmentation des températures dans la péninsule ibérique au cours du siècle prochain.

Gravité du risque 1

Risque grave uniquement en certains endroits à l'intérieur des terres de la péninsule ibérique et dans les cordillères. Sur la presque totalité du territoire espagnol, ce problème est moins grave ou inexistant.

Mesures prises

Protocole d'entretien hivernal.

Recueil de données

Comme pour les « hautes températures ».

Besoin de recherche

Effet sur les états de la chaussée.

Vent

Probabilité 1

L'intensité du vent est susceptible de changer, ceci selon la saison.

Gravité du risque 1

Le vent peut ne pas être particulièrement intense, mais il peut y avoir occasionnellement des vents violents.

Recueil des données

Comme pour les « hautes températures ».

Tempêtes

Probabilité 2

Leur fréquence et/ou leur intensité est susceptible de changer.

³⁹ Information recueillie à partir l'Évaluation préliminaire des impacts du réchauffement climatiques en Espagne (Ministère espagnol de l'environnement, des affaires rurales et maritimes, 2005). Une évaluation personnelle a été effectuée pour quantifier la probabilité et la gravité du risque conformément aux informations fournies dans le présent document.

Probabilité

(3= le risque est sur, 2=risque probable, 1=peu probable, 0=improbable)

Gravité du risqué

(3= extrêmement sevère, 2=sevère, 1=moins sevère, 0=pas prendre en compte)



Conférence Européenne
des Directeurs des Routes
Conference of European
Directors of Roads

Gravité du risque **1**

Recueil de données

Comme pour les « hautes températures ».

Intensité de la pluie

Probabilité **2**

Tendance générale à une diminution des pluies.
Fortes pluies susceptibles de survenir plus souvent.

Gravité du risque **1**

La pluviosité annuelle moyenne va diminuer, en particulier au printemps, et elle sera moins forte en été.

Recueil de données

Comme pour les « hautes températures ».

Besoin de recherche

Effet de fortes pluies sur les systèmes de drainage.

Analyse des périodes de retour des fortes pluies conformément aux scénarios de changement climatique pour le 21^e siècle.

Débit accru des rivières

Probabilité **2**

La fréquence des fortes pluies et inondations va s'accroître, synonyme d'un débit d'écoulement en hausse. Néanmoins et d'une manière générale, le débit des rivières pourra diminuer du fait de la diminution des précipitations.

Gravité du risque **1**

L'intensité des inondations et des fortes pluies va probablement augmenter, de sorte que le débit d'écoulement va faire de même dans ces cas-là (et non pas d'une manière générale).

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

La directive 2007/60/CE sur l'évaluation et la gestion des risques d'inondation va bientôt être transposée en législation espagnole.

Mesures prises

Directives visant la conception de ponceaux et de conduits de drainage appropriés.

Recueil des données

Des confédérations hydrographiques recueillent les informations sur les débits dans les bassins des rivières.

Besoin de recherche

Prédiction des précipitations et de leur distribution spatio-temporelle.

Inondations

Probabilité **2**

Les sites les plus vulnérables se situent près des zones urbaines et touristiques, en particulier sur le versant méditerranéen.

La fréquence et l'intensité des inondations va augmenter dans le bassin méditerranéen.
Dans le bassin du versant atlantique, la fréquence pourra diminuer, mais pas l'intensité.

Gravité du risque **1**

Les inondations vont probablement augmenter d'intensité. On s'attend uniquement à ce que les inondations soient graves sur certains sites seulement.

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

La directive 2007/60/CE sur l'évaluation et la gestion des risques d'inondation va bientôt être transposée en législation espagnole.

Mesures prises

Les communautés autonomes disposent de plans d'inondation :

- Amélioration des systèmes de protection par des mesures structurelles et non structurelles, et
- Contrôle législatif des plans urbains et industriels.

Recueil des données

La Direction générale espagnole de la protection civile gère un inventaire des inondations.

Les Confédérations hydrographiques saisissent des informations sur les inondations survenues dans les bassins des rivières.

Besoin de recherche

Recherche sur des simulations de modèles hydrologiques couplées à des modèles climatiques régionaux.

Reconstruction de séries d'inondations passées, et leur analyse.

Sécheresse

Probabilité **3**

Tendance générale à la sécheresse due à une baisse de la pluviosité et une hausse de la température.

Gravité du risque **2**

Les sécheresses vont devenir graves dans les années à venir.

Les zones les plus affectées sont les zones arides et semi-arides du versant méditerranéen.

Existe-t-il une stratégie permettant de maîtriser le problème ?

Plans d'action spéciaux en situation d'alerte grave, inclure la sécheresse dans les plans hydrologiques.

Mesures prises

Régulation de l'eau.

Recueil des données

L'Agence nationale espagnole de météorologie (AEMet) recueille les données météorologiques.

L'Observatoire national de la sécheresse rattaché au Ministère de l'environnement recueille des informations sur la sécheresse en Espagne.

Besoin de recherche

Recherche sur des simulations de modèles hydrologiques couplées à des modèles climatiques régionaux.

Glissements de terrain

Probabilité 2

L'augmentation des pluies torrentielles va également accroître le nombre de glissements de terrain.

Zones :

- Chaînes de montagne, en particulier dans les Pyrénées, la cordillère cantabrique et les cordillères bétiques, et
- Berges des rivières dans les bassins tertiaires.

Gravité du risque 1

La gravité est entachée d'incertitude, mais elle est susceptible de persister, bien que sur des zones restreintes.

Mesures prises

Reboisement à flanc de montagne et maintien d'espèces autochtones.
Contrôle de la nouvelle planification routière.
Réduire le risque de glissements de terrain par une planification adéquate des routes.

Recueil des données

Institut de géologie et des mines d'Espagne

Besoin de recherche

Relation entre les averses violentes et les glissements de terrain, amélioration de la base de données sur les glissements de terrain, rapport historique entre la variabilité du climat et les glissements de terrain, ramener à petite échelle les modèles de CC, améliorer les modèles hydrologiques et mécaniques des glissements de terrain.

Avalanches

Probabilité 2

Bien que l'on ne s'attende pas à une réduction des avalanches, la superficie des territoires où elles se produisent va probablement diminuer.

Dans les massifs montagneux : les Pyrénées, la cordillère cantabrique, les cordillères bétiques.

Gravité du risque 1

La gravité est entachée d'incertitude, mais elle est susceptible de persister, bien que sur des zones restreintes.

Mesures prises

Reboisement à flanc de montagne et maintien d'espèces autochtones.
Contrôle de la nouvelle planification routière.

Recueil des données

Le Directorate général espagnol de la protection civil a enregistré tous les incidents depuis 2000, y compris les avalanches.

Besoin de recherche

Développement d'une base de données sur les avalanches et de systèmes d'alerte précoce.

Intensité des chutes de neige

Probabilité 2

Avec la hausse des températures, la fréquence des chutes de neige va probablement décroître.

Gravité du risque 1

Il est prévu que la gravité va diminuer à long terme. Toutefois, dans les massifs montagneux, un risque grave va persister. Dans d'autres régions d'Espagne, le risque sera moins important voire inexistant.

Mesures prises

Protocole de l'entretien hivernal.

Recueil de données

Comme pour les « hautes températures ».

Besoin de recherche

Prédiction des précipitations et de leur distribution spatio-temporelle.

Variation du niveau de la mer

Probabilité 2

Une hausse du niveau de la mer est attendue dans le nord de l'Espagne, avec une baisse ou une stabilisation attendue en Espagne orientale et méridionale (bien qu'un affaissement local puisse masquer cet effet).

Probabilité

(3= le risque est sur, 2=risque probable, 1=peu probable, 0=improbable)

Gravité du risqué

(3= extrêmement sevère, 2=sevère, 1=moins sevère, 0=pas prendre en compte)



Conférence Européenne
des Directeurs des Routes
Conference of European
Directors of Roads

Gravité du risque 1

Risque moins grave dans le sud et l'est de l'Espagne bien que la subsidence puisse accroître ce risque.
Risque grave dans le nord de l'Espagne.

Mesures prises

Stabilité des côtes maintenue en stabilisant les dunes de sable

Recueil des données

Direction générale des côtes (Ministère de l'environnement).

Besoin de recherche

Base de données sur l'historique des niveaux

Inventaire des infrastructures susceptibles d'être affectées par un changement de niveau de la mer.

Effets du changement de niveau de la mer et de la houle.

Annexe 2

Récapitulatif des travaux en cours sur l'adaptation au changement climatique

Annexe 2

État des travaux sur l'adaptation au changement climatique

Niveau national

	 Norvège	 Finlande	 Suède	 Royaume-Uni	IE	D K
Disposez-vous, dans votre pays, de bonnes projections du changement climatique ?	<p>Projections pour 2071-2100 formulées en rapport avec la période de modélisation 1961-1990.</p> <p>Les scénarios climatiques régionaux proviennent du programme RegClim, tous deux basés sur A2, B2, et A1B.</p> <p>* Au départ, le travail était basé sur un rapport de l'Institut météorologique publié en 2007. * Ces mêmes données ont été nouvellement traitées en 2009 et un nouveau rapport a été publié, intitulé <i>Le climat en Norvège en 2100</i> (en norvégien).</p> <p>La Norvège est divisée en cinq zones de températures et huit zones de précipitations.</p>	<p>En Finlande, nous avons principalement utilisé les scénarios A2, B1, et A1B provenant des scénarios SRES de l'IPCC (Nakićenović et col. 2000).</p> <p>Projet ACCLIM</p> <p>Modèles climatiques régionaux (Jylhä et col. 2008). Autres études : Gregow et col. 2008, FINNADAPT (Ruosteenoja et col. 2005) et quelques études plus anciennes.</p>	<p>En Suède, nous avons utilisé principalement les scénarios A2 et B2 de SRES (IPCC, 2000).</p> <p>Les modèles climatiques mondiaux utilisés sont HadAM3H et ECHAM4/OPYC3. Le modèle climatique régional utilisé est le RCA3 provenant du Centre Rossby auprès de l'Institut météorologique et hydrologique suédois.</p>	<p>Le Royaume-Uni utilise les <i>UK Climate Projections</i> (Projections climatiques) (<i>UKCP09</i>). Ces projections sont présentées pour trois scénarios futurs différents représentant des émissions élevées, moyennes et réduites de gaz à effet de serre (GES). Les types d'informations climatiques fournies sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Données climatiques observées (Informations historiques du vingtième et du vingt-et-unième siècles sur la température, les précipitations, la tempétoosité, les températures à la surface de la mer et le niveau marin) ; - Projections du changement climatique (pour la température, les précipitations, la pression barométrique, la nébulosité et l'humidité), et - Projections marines et côtières (pour la hausse du niveau marin, les marées de tempête, la température à la surface et sous la surface de la mer, la salinité, le courant et les vagues). 		

	 Norvège	 Finlande	 Suède	 Royaume-Uni	IE	D K
<p>Y a-t-il prise d'une initiative politique pour s'adapter au changement climatique ?</p>	<p>1) Initiative conjointe de plusieurs ministères, portail Web pour informer sur le changement climatique :</p> <p>http://www.regjeringen.no/en/dep/md/kampanjer/engelsk-forside-for-klimatilpasning.html?id=539980</p> <p>2) Action nationale dirigée par le Ministère de l'environnement pour évaluer la vulnérabilité et proposer des actions correctives.</p>	<p>Stratégie nationale de la Finlande visant l'adaptation au changement climatique en 2005.</p> <p>Politique pour le changement climatique (ILPO) 2009 Ministère des transports et de la communication</p>	<p>Le rapport final émanant de la Commission suédoise sur le climat et la vulnérabilité <i>Sweden facing climate change—threats and opportunities</i> (La Suède face au changement climatique – Menaces et opportunités) (SOU 2007:60)</p> <p>http://www.sweden.gov.se/sb/d/574/a/96002</p>	<p>Le Climate Change Act 2008 (Loi sur le changement climatique) fait du Royaume-Uni le premier pays du monde à créer un cadre à long terme et juridiquement contraignant pour réduire les émissions de carbone.. Il a également créé un cadre dans lequel rendre le Royaume-Uni apte à s'adapter au changement climatique.</p>		
<p>Votre pays dispose-t-il d'une stratégie/d'un plan national(e) d'adaptation au changement climatique ?</p>	<p>Pas encore. Toutefois, l'analyse de vulnérabilité mentionnée plus haut pourrait conduire à une stratégie d'adaptation climatique au niveau national. La Norvège ne dispose pas encore d'un plan d'adaptation, mais une analyse poussée de la vulnérabilité de la société et de son besoin de s'adapter aux conséquences du changement climatique a été réalisée (par un comité spécialement désigné à cette fin) et a fait l'objet d'un rapport en novembre 2010.¹</p>	<p>La stratégie nationale d'adaptation au changement climatique (2005) est coordonnée par le Ministère de l'agriculture et des forêts avec la participation de tous les ministères et institutions pertinents.²</p> <p><i>La politique, liée au changement climatique, du Ministère des transports et des communications, ILPO (2009).</i>³</p>		<p>En août 2010, le gouvernement a énoncé les principes de sa démarche d'adaptation dans une réponse à l'enquête du Comité d'audit environnemental (Environmental Audit Committee - EAC), <i>Adapting to climate change (Adaptation au changement climatique)</i> (publiée en mars 2010). La réponse du gouvernement (PDF 315 Ko) et le rapport original de l'EAC (1,5 Mo) sont tous deux disponibles.</p> <p>Le gouvernement central dirige la politique d'adaptation intérieure via le Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) (Ministère de l'environnement, de l'alimentation et des affaires rurales).</p>		

1) L'analyse de vulnérabilité couvre tous les secteurs de la société norvégienne, elle met l'accent sur la santé humaine et la sécurité, sur l'infrastructure physique et les bâtiments, le commerce, l'industrie, l'environnement naturel et les industries primaires. Le changement climatique vers la fin du siècle est examiné par exemple sur la base de projections climatiques pour la période trentenaire de 2070 à 2100. Le secteur des transports figure tout naturellement dans l'enquête (et l'infrastructure physique est l'un des domaines focalisés). Jusqu'à présent, l'analyse n'a pas eu d'impact direct et formel sur le secteur routier.

En outre, le secteur routier n'a pas spécialement influencé l'issue de l'analyse. Le secteur routier (et en général celui des transports) s'est avéré d'une manière générale robuste (résilient) non pas parce qu'il n'y a besoin d'aucune action ou adaptation, mais parce que ce secteur réunit les préalables pour s'adapter au changement climatique : ressources (matérielles et humaines), base de connaissances et cadre organisationnel.

Sujets que le plan mentionne relativement au transport et/ou au secteur routier :

- Enquêter sur les actifs vulnérables et bien documenter la vulnérabilité pour améliorer la priorisation ;
- Inclure l'adaptation climatique en tant que partie attitrée de toutes les procédures de travail (plans, contrats, enquêtes, règles de conception, etc.) ;
- Prioriser l'entretien et résorber les besoins d'entretien accumulés ; et
- Accroître et diffuser les connaissances sur les effets du changement climatique.

2) Secteurs inclus dans la stratégie : agriculture et production alimentaire, sylviculture, pêcheries, élevage de rennes et de gibier, ressources en eau, biodiversité, industrie, énergie, transport, utilisation des terres et les collectivités, construction, santé, tourisme, loisirs et assurances. La stratégie inclut des plans jusqu'en 2080 mais les plus importants ont été programmés pour les années 2006–2015.

Voici les plus importantes mesures à prendre jusqu'en 2015 :

- L'intégration de l'adaptation au changement climatique dans les processus routiniers de planification, de transposition et de développement ;
- Préparation à des événements extrêmes et évaluations des impacts du changement climatique incorporées dans la planification des investissements à long terme ;
- Amélioration et mise en place des systèmes d'observation et d'avertissement existants et nouveaux ;
- Exécution du Programme de recherche sur l'adaptation au changement climatique 2006–2010 (ISTO), et
- Préparatifs aux changements à venir dans l'environnement d'exploitation international.

3) Le Ministère des transports et communications joue un rôle important dans le plan, avec la participation de toutes les agences et installations sous-jacentes. Le programme couvrait la période 2009 – 2020 mais était basé sur la stratégie climatique et énergétique du gouvernement pour la période 2008 – 2050.

Voici les plus importantes mesures à prendre jusqu'en 2015 :

- Renouveler la flotte de véhicules ;
- Améliorer l'efficacité énergétique des transports ;
- Guider la croissance des volumes de trafic passagers dans les zones urbaines vers des modes de transport plus respectueux de l'environnement ;
- Recourir à la société de l'information et à la politique de communication pour aider la Finlande à atteindre ses objectifs de politique climatique ;
- Une décision sera prise en 2012 sur les méthodes d'orientation financière utilisées dans le secteur des transports, et
- Prendre des mesures pour s'adapter au changement climatique (explications plus détaillées : voir ci-dessous).

Au niveau des administrations routières nationales

	Norvège 	Finlande 	Suède 	Royaume-Uni 	IE	DK
<p>Quelles sont les principales problématiques en liaison avec le changement climatique et quelles zones sont les plus affectées dans votre pays ?</p>	<p>Accroissement du risque de glissements de terrain dans les régions ouest et nord. Précipitations plus importantes en particulier dans les régions ouest, mais surtout un risque d'inondations. Températures voisines de zéro plus fréquentes au nord et à l'intérieur des terres, craintes croissantes que les routes se détériorent pendant les périodes de dégel, et quant à la maîtrise de l'adhérence et aux chutes de rochers.</p>	<p>Les zones climatiques éligibles à l'entretien hivernal ont été réévaluées.</p> <p>La cartographie des zones à risques d'inondation est en cours. Le risque d'inondation n'est pas seulement dû au changement climatique ; des zones vulnérables existent aujourd'hui.</p>	<p>Une analyse nationale a signalé que la région sud-ouest de la Suède était la plus vulnérable vu la quantité de pluie, les inondations et la hausse du niveau marin.</p> <p>Une autre partie de la structure routière à risque est le système de drainage qui devra à l'avenir être capable de gérer de plus grandes quantités d'eau qu'aujourd'hui. Presque l'ensemble du pays affronte ce problème. Toutefois, le premier impact remarqué du changement climatique c'est, conformément aux scénarios qui ont été formulés, un événement météo extrême tel qu'une averse torrentielle. Cela affectera par exemple la stabilité des pentes et provoquera des inondations. Ce problème est commun à l'ensemble du pays. Autre problème, occasionné lui par la hausse des températures à long terme : la disparition des sols gelés ou permafrost. Dans le nord de la Suède, le sol gelé constitue un important facteur de portance.</p>	<p>Aspects clefs du changement climatique faisant problème à la Highways Agency :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modification des schémas de précipitation et accroissement des températures moyennes <p>Impact sur les activités :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Définir et gérer une stratégie de réseau et de planification ; - Conception et construction d'actifs neufs et de remplacement ; - Entretien et gestion des actifs existants ; - Fonction de gestion de la circulation, et - Gestion interne des activités. <p>Aucune variation régionale significative à prendre en compte</p>		

	Norvège 	Finlande 	Suède 	Royaume-Uni 	IE	DK
Détectez-vous des effets bénéfiques au changement climatique, et dans quels domaines ?	Moins de neige dans les régions de basse altitude , entretien hivernal plus facile dans certaines régions. Diminution des avalanches de neige à certains endroits.		Dans le sud de la Suède, l'entretien et l'exploitation des routes reviendront probablement moins cher pendant l'hiver. Si toutefois des pneus cloutés continuent d'être utilisés pendant l'hiver, l'usure de la chaussée va éliminer cet avantage en termes économiques.	Une hausse des températures moyennes pendant les mois d'hiver réduirait les activités d'entretien hivernal, donc la consommation de sel et ses effets subséquents sur l'environnement. Réduction des incidents routiers dus au verglas bien que la diminution des risques au voisinage de 0°C ne soit pas encore quantifiée. La surface de la route serait moins sujette au verglas, ce qui améliorerait la durabilité/l'état de la chaussée.		
Votre ARN possède-t-elle une stratégie d'adaptation au changement climatique ?	Pas encore.	Non, mais un plan à long terme dans lequel cette problématique constitue le principal objectif est en cours de préparation .	Pas encore.	La Highways Agency a publié en 2009 sa Climate Change Adaptation Strategy (Stratégie sur l'adaptation au changement climatique).		
Votre ARN a-t-elle calculé le coût des dommages dus au changement climatique, le coût des mesures d'adaptation et le coût d'une absence d'action ?	Pas encore.	Non.	En partie. Pendant les travaux de la Commission suédoise sur le climat et la vulnérabilité, les coûts liés aux glissements de terrain, aux inondations et à l'érosion ont été estimés. Elle a conclu que le coût va augmenter, passant d'environ 8 millions d'euros/an actuellement à env. 14-20 millions d'euros/an si aucune mesure n'est prise.	Aucun exercice d'estimation des coûts n'a eu lieu.		

	 Norvège	 Finlande	 Suède	 Royaume-Uni	IE	DK
<p>Y a-t-il une action concrète en cours relativement à l'adaptation au changement climatique ?</p>	<p>Le programme de recherche et de développement Climat et transport, 2007-2011. Objectifs : étudier l'effet du changement climatique sur le réseau routier et recommander des mesures correctives relativement à la planification, la conception, la construction, l'entretien et l'exploitation.</p> <p>www.vegvesen.no/klimaogtransport</p>	<p>Participation au programme ERA-NET ROAD : Les propriétaires de routes s'attaquent au changement climatique.</p> <p>Rendre la politique climatique plus efficace dans l'entretien des routes (projet ILMATIE ²⁸).</p> <p>Changement climatique et trafic marchandises (projet ITARA ³⁰).</p> <p>Cartographie des risques d'inondation.</p>	<p>Participation au programme ERA-NET ROAD : Les propriétaires de routes s'attaquent au changement climatique.</p> <p>Une méthode d'analyse des risques intitulée « Analyse des risques sur des tronçons de route choisis (vald vägsträcka) » est en cours pour le réseau routier dont la SRA est responsable. Cette analyse de risques sert à souligner les vulnérabilités, et les risques climatiques en font partie. Dans la partie analytique, l'accent a été placé sur ceci :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Risque de glissement de terrain et d'effondrement ; • Risque de dégâts sur les routes et les ponts à débit d'eau élevé ; • Risque d'inondation, et • Risques dus aux accidents impliquant des marchandises dangereuses 	<p>Le Climate Change Act 2008 (Loi sur le changement climatique) confère au gouvernement un ensemble de pouvoirs pour s'occuper de l'adaptation au changement climatique, y compris une attribution lui permettant de demander aux entreprises d'identifier leurs risques émanant du changement climatique et de mettre au point des mesures leur permettant de maîtriser ces risques. Ce pouvoir de décision ne s'applique ni aux départements centraux du gouvernement ni aux agences exécutives. Toutefois, la Highways Agency a été mise en évidence comme étant particulièrement exposée aux impacts du changement climatique, et comme ayant un rôle clef à jouer pour assurer que l'infrastructure britannique soit prête à s'adapter à ces impacts. Par conséquent, la Highways Agency s'est portée volontaire pour établir un rapport. L'Agency s'attend à ce que ce rapport ait pour rôle d'informer le Programme national d'adaptation et l'Évaluation des risques liés au changement climatique au Royaume-Uni. La démarche empruntée par l'Agency pour évaluer les risques liés au changement climatique consiste à détecter et comprendre les répercussions possibles du changement climatique afin que nous puissions planifier des interventions à temps pour protéger ces actifs que sont les grands axes, et contribuer à des trajets sûrs et fiables.</p>		

Contexte pour l'adaptation

	Norvège 	Finlande 	Suède 	Royaume-Uni 	IE	DK
<p>Veillez identifier la/les source(s) d'informations/base(s) de données sur les données routières en général.</p>	<p>Base nationale de données routières. (Ne contient pas de données sur les structures des chaussées routières.)</p> <p>Registre des structures des chaussées routières (de plus ancienne date).</p> <p>Base de données BRUTUS sur les ponts.</p>	<p>Base nationale de données routières ; certaines structures ont été incluses mais une faible proportion seulement a été inventoriée jusqu'à présent.</p> <p>Bases de données d'entretien, base de données d'état, base de données des ponts.</p>	<p>Base nationale de données routières (NVD). Des données sur les structures routières n'y figurent pas.</p> <p>Base de données BaTMan sur les ponts</p>	<p>En mai 2011, le gouvernement a publié le document intitulé Climate resilient infrastructure: Preparing for a changing climate (Infrastructure résiliente au climat. Préparatifs en vue d'un climat changeant), qui énonce comment il envisage d'adapter l'infrastructure dans les secteurs de l'énergie, des TIC, des transports et de l'eau aux impacts du changement climatique.</p> <p>Il défend la nécessité d'agir, identifie les entités devant agir, les défis se dressant face à l'action et les opportunités disponibles. Reconnaisant que l'infrastructure est largement financée et exploitée par le secteur privé, il énonce comment le gouvernement peut aider les tiers dans les travaux d'adaptation.</p>		
<p>Veillez identifier s.v.p. la/les principale(s) source(s) de données sur des événements passés liés au temps.</p>	<p>Une base nationale de données sur les glissements de terrain (www.skrednett.no) est en cours de réalisation. A l'avenir, les données sur les glissements de terrains ne seront pas enregistrées dans la base nationale de données routières.</p> <p>Nous travaillons aussi à améliorer l'accessibilité des</p>	<p>Une base de données sur les zones à risque d'inondation est en chantier.</p>	<p>Au niveau national, il existe une base de données recueillant tous les types d'événements importants liés au temps. La SRA ne dispose d'aucune base de données.</p>	<p>Rapport 2002 sur le programme britannique de lutte contre les impacts climatiques (UK Climate Impacts Programme 2002 Report - UKCIP02)</p> <p>Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC), 4^e rapport d'évaluation (2007). Ministère de l'environnement, de l'alimentation et des affaires rurales (Defra).</p> <p>Rapport Stern</p>		

	Norvège 	Finlande 	Suède 	Royaume-Uni 	IE	DK
	données relatives aux fermetures de routes (quelle que soit la raison) et à l'associer aux données météo et données d'inondation (voir l'Annexe 3, « Portail Web : Føre var »).					
Veuillez identifier s.v.p. la/les principale(s) source(s) de données météorologiques.	La coordination des bases de données provenant de l'Institut météorologique, des administrations routières et ferroviaires est en cours dans un but de meilleure accessibilité mais aussi de meilleure qualité des données.	Institut météorologique finlandais (FMI).	SMHI (Institut suédois de météorologie et d'hydrologie).	Office météorologique (Met Office).		
Quels sont les besoins de recherche et de développement dans ce domaine ?	On manque de données et de projections sur l'intensité des précipitations. Vu une forte incertitude, il n'existe pas de données calculées disponibles.	Pas indiqué		Il est nécessaire pour la Highways Agency d'actualiser l'évaluation des risques en utilisant les prédictions climatiques de dernière génération (UKCP09). Procéder au moins à un examen préliminaire des coûts engendrés par le changement climatique.		

Gestion et exploitation des routes

	Norvège 	Finlande 	Suède 	Royaume-Uni 	IE	DK
Est-on en train de réaliser ou planifier une étude des actifs vulnérables au changement climatique, et desquels s'agit-il ?	Une vaste étude des risques et de la sensibilité va être réalisée et démarrée en 2009 , mais en partant du point de vue général suivant : maintenir la circulation lorsque des tronçons de route sont fermés. Afin d'inclure la vulnérabilité au climat, « Climat et transport » contribue à ce travail en développant des directives visant l'évaluation des risques liés aux effets climatiques.	Non. Aucune.	Une méthode d'analyse des risques intitulée « Analyse des risques sur des tronçons de route choisis (vald vägsträcka) » est en cours pour le réseau routier dont la SRA est responsable. Une analyse initiale sera réalisée d'ici la fin 2010.	Voir l'Annexe B.1 « Calendrier de vulnérabilité » du document Climate Change Adaptation Strategy and Framework (Stratégie et cadre d'adaptation au changement climatique).		
Les mesures d'adaptation au climat font-elles partie des travaux d'exploitation et d'entretien quotidiens ?	Pas encore, mais certains changements positifs ont été notés depuis 2009.	Pas encore, mais elles produisent un effet direct sur l'entretien routier vu qu'il faut assurer le même niveau de service malgré des conditions de plus en plus difficiles. Un lent renouvellement des normes de conception a commencé. La gestion des risques a été affinée : comment maîtriser des conditions météo inattendues dans l'entretien quotidien - dégagement des routes après une tempête, rôles des différents officiels et intervenants.	Pas à un niveau acceptable.	Voir l'Annexe B.1 « Calendrier de vulnérabilité » du document Climate Change Adaptation Strategy and Framework (Stratégie et cadre d'adaptation au changement climatique).		

	Norvège 	Finlande 	Suède 	Royaume-Uni 	IE	DK
Disposez-vous d'outils pour évaluer le risque lié au changement climatique ?	En cours de développement, pour l'infrastructure existante : - Procédures d'évaluation des risques liés au changement climatique, pour identifier les actifs vulnérables sur le réseau routier. Portail Web Føre Var (en cours de développement, voir l'Annexe 3), évaluation des risques basée sur une utilisation accrue de données météorologiques.	Non.	La méthode d'analyse de risques intitulée « Analyse des risques sur un tronçon de route choisi (vald vägsträcka) » contient quelques outils. Les normes de conception traversent un lent processus de renouvellement ; une publication nouvelle intitulée Dimensionnement hydraulique inclut une carte de la Suède où figurent les variations d'un coefficient servant à calculer l'augmentation du ruissellement d'eau.			
Dans l'affirmative, s'agit-il d'outils spécifiques d'évaluation des risques liés au changement climatique développés et/ou mis en œuvre par votre pays/organisation ?				Highways Agency Adaptation Strategy Model – HAASM (Modèle de stratégie d'adaptation de la Highways Agency)		

	Norvège 	Finlande 	Suède 	Royaume-Uni 	IE	DK
Disposez-vous d'outils pour <i>gérer</i> le risque lié au changement climatique ?	<p>En cours de développement pour l'infrastructure existante :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Procédures pour gérer les actifs vulnérables : calcul de l'impact climatique, capacité effective et formulation de recommandations visant les réparations. <p>Portail Web Føre Var (en cours de développement, voir l'Annexe 3) planifier l'état de préparation sur la base d'une utilisation accrue des données météorologiques.</p>	<p>Nous disposons d'un outil de gestion des risques à un niveau stratégique, qui inclut l'adaptation au changement climatique. Au niveau des projets, des outils de gestion des risques sont utilisés mais n'incluent habituellement pas le risque de changement climatique vu qu'ils gèrent principalement les risques durant l'exécution du projet.</p> <p>L'outil de gestion des risques a cessé d'être un outil de l'ARN, mais certains centres de développement économique, de transport et de l'environnement (anciens districts) continuent de l'utiliser.</p>	<p>En cours de développement, pour l'infrastructure existante :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Outils permettant de dévier la circulation en cas de fermeture de tronçons routiers, et - Méthode servant à classifier les mesures d'adaptation requises identifiées par l'analyse des risques. 			
Dans l'affirmative, les outils d'évaluation sont-ils similaires ou identiques à ceux s'appliquant à d'autres zones à risques connues (risques sismiques par exemple) ?						
Disposez-vous d' <i>alternatives</i> pour gérer les effets du changement	Certaines mesures prises tendent à accepter, lorsque nécessaire, des dégâts maîtrisés.	Nous tolérons une dégradation de l'état du réseau routier si elle constitue une alternative. En	Non.	Non.		

	Norvège 	Finlande 	Suède 	Royaume-Uni 	IE	DK
climatique à long terme ?		outre nous nous sommes demandé par exemple si nous devions éclaircir la végétation sur les côtés de la route ou accepter de réparer les dégâts après les tempêtes. Jusqu'à présent, le dégagement anticipé ne semble pas bénéfique.				
Est-on en train de répercuter les impacts du changement climatique dans les directives de planification, de conception et de construction ?	Travaux en cours ; capacité de drainage, protection contre les glissements de terrain, contre l'érosion, directives d'inspection et d'entretien, etc. L'un des principaux objectifs du programme « Climat et transport » est de transposer les nouvelles connaissances dans les directives de la NPRA sur la planification, la conception, l'entretien et l'exploitation.	En général, seuls les changements météorologiques observés ont été pris en compte.	Très peu. La publication Hydraulic dimensioning (dimensionnement hydraulique) intègre une carte de la Suède mentionnant les variations d'un coefficient servant à calculer l'augmentation du ruissellement de l'eau.	Un plan de mesures d'adaptation est en cours de développement pour garantir que les impacts du changement climatique soient pris en compte dans la planification, la conception et la construction de l'infrastructure routière. Cela va figurer dans un rapport sur l'infrastructure critique au Royaume-Uni dont la publication est attendue pour 2012.		
Quels sont les besoins de recherche et de développement dans ce domaine ?	Meilleure connaissance de l'effet des données météo sur les survenues de glissements de terrain et d'avalanches : valeurs seuils pour la pluie, la neige, le gel, le dégel, etc.	Il faudrait actualiser les directives de conception du drainage. Notre stratégie inclut qu'il faudrait faire entrer cette problématique en ligne de compte entre autres dans les directives.	<ul style="list-style-type: none"> • Des spécifications de fonctionnalité basées sur les risques devraient être introduites pour tous les composants sur l'ensemble du réseau routier. • Il faudrait décider de critères régissant les niveaux de risques acceptés. • Il faudrait que le niveau de compétence augmente dans l'Administration des routes suédoise concernant les effets du changement climatique. 	Les besoins sont basés sur des cas individuels.		

Niveau national

	 France	 Autriche	 Hongrie	 Italie	 Espagne
<p>Disposez-vous, dans votre pays, de bonnes projections du changement climatique ?</p>	<p>Oui, le rapport Jouzel <i>et col.</i> présente le résultat de simulations climatiques pour la France basées sur les scénarios A2 et B2. Des simulations régionales ont été réalisées avec des modèles français développés par le Centre National de Recherches Météorologiques (modèle ARPEGE-Climat) et par l'Institut Pierre Simon Laplace/IPSL (modèle LMDz). Les résultats sont donnés pour la France métropolitaine et détaillés pour 5 grandes régions françaises. Les simulations du changement climatique dans les DOM-TOM seront documentées dans une mise à jour future. Les résultats de simulations pour d'autres scénarios à haute résolution spatiale sont attendus courant 2011.</p> <p>http://climat.meteofrance.com/chgt_climat/simulateur/</p> <p>http://climat.meteofrance.com/content/2009/10/21274-48.pdf</p>	<p>Les scénarios utilisés sont principalement les A1B.</p> <p>Projections du changement climatique basées sur les résultats de PRUDENCE et ENSEMBLES. Des modèles climatiques régionaux ont été évalués dans les projets reclip:more et reclip:century</p> <p>www.foresight.ait.ac.at/reclip</p>	<p>Scénarios régionaux disponibles pour différentes périodes et en différentes résolutions ¹</p>	<p>Des projections sur base scientifique sont disponibles pour l'Italie.</p> <p>Les modèles globaux découlent principalement du programme CMIP3 (Projet 3 d'intercomparaison des modèles couplés 3 ; Meehl et col., 2007) Le modèle provenant de CMCC (Gualdi et col., 2008) est lui aussi utilisé.</p> <p>Ce sont principalement des scénarios SRES B1, A1B et A2 (2007) de l'IPCC qui sont utilisés.</p> <p>L'ensemble le plus récent de projections sur le changement climatique à partir de modèles régionaux découle de PRUDENCE (Coppola and Giorgi, 2010).</p>	<p>Le Plan national d'adaptation au changement climatique, publié en 2006 et développé moyennant des programmes de travail. Le premier programme de travail décrit les projets à accomplir dans le contexte du plan. L'un de ces projets porte sur la génération de scénarios de changement climatique en Espagne.</p> <p>Conformément au Premier rapport de surveillance de 2008, des modèles régionaux existants sont utilisés tout comme les résultats des projets européens PRUDENCE et STARDEX (5^e Projet cadre de l'UE). Outre cela, de nouveaux modèles régionaux seront développés au cours des trois à quatre prochaines années. Les informations globales issues du rapport AR4-IPCC seront utilisées en suivant les indications du :</p> <p>Programme pour la génération de scénarios régionaux de changement</p>

	France 	Autriche 	Hongrie 	Italie 	Espagne 
					climatique (2006). Les études afférentes à l'évaluation préliminaire des impacts en Espagne dus à l'effet du changement climatique ont pris en compte les scénarios A2 et B2, à partir des scénarios d'émission SRES (Special Report on Emission Scenarios) de l'IPCC. En outre, certains modèles régionaux ont été utilisés tels que le PROMES développé par un groupe de recherche espagnol (Gallardo, 2001)
Y a-t-il prise d'une initiative politique pour s'adapter au changement climatique ?	De nombreuses organisations françaises gèrent des programmes de recherche portant sur les conséquences du changement climatique, sur la vulnérabilité et l'adaptation dans presque tous les secteurs. Un Observatoire National des Effets du Réchauffement Climatique (ONERC) a été créé en 2001. Il recueille et diffuse des informations provenant d'études sur le changement climatique et sur des événements climatiques extrêmes. Il recommande	En 2008, le gouvernement autrichien a décidé de créer une Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique. Stratégie climatique nationale. Différents <u>projets scientifiques</u> politiquement motivés et cofinancés : <ul style="list-style-type: none"> • Projet national StartClim (www.austroclim.at/ind ex.php?id=45) • Projet FloodRisk • Projet Interreg AdaptAlp 	Plusieurs décrets ont été publiés pour aborder l'adaptation au changement climatique (et aussi son atténuation). Voir, pour les plus importants, la note en bas de page (les parties traitant l'adaptation sont en italiques). ²	Conférence nationale sur le changement climatique , septembre 2007, focus sur l'adaptation, Ministère de l'environnement, de la tutelle du territoire et de la mer, avec le soutien de l'Institut pour la protection et la recherche environnementale (ISPRA, anciennement APAT). Le ministère s'est engagé à ébaucher une stratégie nationale durable d'adaptation et de protection du territoire et a proposé les 13 premières mesures d'adaptation	1) L'Office espagnol du changement climatique est responsable de la politique relative à ce dernier. Il fait partie du Ministère de l'environnement et des affaires rurales et maritimes. 2) En Espagne, la principale politique d'adaptation au changement climatique est le Plan national d'adaptation au changement climatique (2006, Ministère de l'environnement et des affaires rurales et maritimes).

	France 	Autriche 	Hongrie 	Italie 	Espagne 
	aussi aux pouvoirs publics des mesures préventives et d'adaptation. En 2009, un deuxième rapport sur l'adaptation au changement climatique s'est penché sur le coût de ce dernier.	(www.adaptalp.org) : influence du changement climatique à l'échelle régionale <ul style="list-style-type: none"> • Alp-Water-Scarce (www.alpwaterscarce.eu) : disponibilité de l'eau dans les Alpes. • Interreg IIIB ClimChAlp (www.climchalp.org) : technologies d'adaptation de la forêt. • Programme Interreg AMICA (www.amica-climate.net) • Projet Interreg IVB CLISP : adaptation par planification spatiale dans l'espace alpin, • et d'autres projets. 		durable. (Aucune mesure concrète ni officielle jusqu'à présent). Le Comité interministériel de planification économique (CIPE) présidé par le Ministère de l'économie a pour tâche d'approuver le programme national visant à réduire les émissions de GES. ³	
Votre pays dispose-t-il d'une stratégie/d'un plan national(e) d'adaptation au changement climatique ?	La stratégie d'adaptation nationale (2006) énonce que l'adaptation devait viser à : <ol style="list-style-type: none"> Protéger les gens et les biens en agissant sur la sécurité et la santé publiques ; Tenir compte des problématiques sociales et éviter les risques inacceptables ; Limiter les coûts et tirer 	Pas encore. En 2008, la décision de créer une Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique figurait dans le programme gouvernemental. Travaux en cours à l'heure actuelle.	Le décret parlementaire n° 29/2008 (III. 20.) sur la Stratégie nationale relative au changement climatique a été adopté en 2008. La Stratégie nationale relative au changement climatique s'applique à la période 2008-2025 pour laquelle trois principaux objectifs ont été définis : <ul style="list-style-type: none"> - Réduire les 	L'Italie n'a pas de Stratégie/Plan d'adaptation national(e). Malgré l'absence actuelle de stratégie, certaines mesures d'adaptation ont déjà été exécutées dans le domaine de la protection environnementale, de la prévention des risques naturels, de la gestion durable des ressources naturelles et de la	Le Plan national d'adaptation au changement climatique (2006, Ministère de l'environnement et des affaires rurales et maritimes) développé par le biais de programmes de travail. ⁵ Les Programmes de travail sont les suivants : PT 1 : <ul style="list-style-type: none"> • Génération de scénarios de changement climatique

	France 	Autriche 	Hongrie 	Italie 	Espagne 
	<p>le meilleur parti des avantages, et iv. Protéger l'héritage naturel.</p> <p>En France, le Plan National d'Adaptation aux effets du Changement Climatique (PNACC, 2011-2015) a pour but de planifier des mesures d'adaptation en assurant la cohésion des politiques publiques d'adaptation.</p> <p>L'Annexe 3 revient en détails sur le PNACC.</p>		<p>émissions de GES ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - S'adapter aux conséquences inévitables du changement climatique, et - Sensibiliser le public au changement climatique afin de modifier les motivations humaines. ⁶ 	<p>protection sanitaire, qui pourraient être bénéfiques elles aussi à l'adaptation au changement climatique. Elles vont des cadres juridiques à la surveillance des impacts précoces et aux systèmes d'alerte précoces déclenchant des mesures pratiques. D'une manière générale, ces mesures visent plus à réduire la vulnérabilité à la variabilité actuelle du climat et aux conditions météo extrêmes (adaptation réactive) qu'à préparer aux effets potentiellement indésirables du changement climatique projeté (adaptation proactive). ⁴</p>	<p>en Espagne, et</p> <ul style="list-style-type: none"> • Évaluation du changement climatique. Impacts sur les ressources en eau, le littoral et la biodiversité. <p>PT 2 :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Évaluation sectorielle des impacts, vulnérabilité et adaptation au changement climatique ; • Transcription en législation, dans différents secteurs, de l'adaptation au changement climatique ; • Mobilisation des parties prenantes pertinentes, et • Mise en place d'indicateurs d'impacts.

1) Commentaire sur des scénarios régionaux en Hongrie

Période de prévisions : 2011-2030 (s'inscrivant dans la période 1951-2050). Période de référence : 1961-1990. Caractéristiques météorologiques : température et précipitation moyennes. Modèle : REMO, Scénario : A1B.

Période de prévisions : 2021-2050. Période de référence : 1961-1990. Caractéristiques météorologiques : températures et précipitations moyennes, fréquence des extrêmes dans les modèles de températures et de précipitations : ALADIN-Climate et REMO. Scénario : A1B.

Période de prévisions : 2071-2100. Période de référence : 1961-1990. Caractéristiques météorologiques : températures et précipitations moyennes, fréquence des extrêmes dans les modèles de températures et de précipitations : Modèles climatiques régionaux disponibles dans le projet PRUDENCE et dans ALADIN-Climate. Scénario : Variable, A1B, A2, B2.

2) Décrets parlementaires récents en Hongrie

Le décret parlementaire n° 29/2008 III. 20.) sur la Stratégie nationale relative au changement climatique a été adopté en 2008. La Stratégie nationale relative au changement climatique a trois principaux objectifs :

- Réduire les émissions de GES ;
- S'adapter aux conséquences inévitables du changement climatique, et
- Sensibiliser le public au changement climatique afin de modifier les motivations humaines.

Le décret parlementaire n° 60/2009 (VI. 24.) visant la préparation de la Loi sur la protection climatique a été adopté en 2009. Ce décret a donné pouvoir au Conseil national sur le développement durable de préparer le projet de loi et a également défini les principaux objectifs de la loi. La Loi sur la protection climatique n'a pas encore été adoptée.

Le décret parlementaire n° 96/2009 (XII. 9.) sur le Programme environnemental national couvrant la période 2009-2014 a été adopté en 2009. Le Programme environnemental national inclut un programme d'action sur le changement climatique. Ce programme d'action a les principaux objectifs suivants : réduire les émissions de GES, améliorer les économies d'énergie et l'efficacité énergétique, lier plus intensément les GES en accroissant et améliorant la couverture végétale, atténuer les effets écologiques et sociaux indésirables en accroissant la capacité d'adaptation et en prévenant les dégâts, en protégeant la couche d'ozone stratosphérique et en sensibilisant aux problèmes climatiques.

Le décret gouvernemental n° 1054/2007 (VII. 9.) sur la Stratégie nationale relative au développement durable a été adopté en 2007. La stratégie inclut un chapitre sur la préparation au changement climatique.

3) Commentaire sur l'initiative politique en Italie :

Le premier programme (Programme national de confinement des émissions de dioxyde de carbone) a été approuvé en 1994 dans le but de stabiliser les émissions de CO₂, en l'an 2000, au niveau de 1990. Plus tard, le programme a été perfectionné et actualisé (Délibérations du comité interministériel CIPE de 1997 et 1998) ; en 2002, lorsque le Protocole de Kyoto a été ratifié, une stratégie nationale d'ensemble a été approuvée pour atteindre la cible définie par ce même protocole (Délibération CIPE n° 123/2002). Le soutien financier et les instruments législatifs servant à exécuter cette stratégie sont identifiés par la loi de finance et alloués aux organismes centraux et locaux sur la base de leurs compétences respectives.

La Délibération CIPE n° 123/2002 a également établi un Comité technique interministériel (CTE). Au CTE siègent des représentants du Ministère de l'économie et des finances, du Ministère du développement économique, du Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et de la politique forestière, du Ministère de l'infrastructure et des transports, du Ministère de l'éducation, des universités et de la recherche, du Ministère des affaires étrangères et du Ministère des affaires régionales. Le CTE a pour tâche principale de surveiller la tendance des émissions, le stade d'exécution des politiques et mesures identifiées dans la stratégie nationale d'ensemble, et s'il y a lieu d'identifier d'autres mesures potentielles permettant d'atteindre l'objectif du Protocole de Kyoto. Sur la base de l'analyse accomplie, le CTE peut proposer au CIPE d'actualiser la stratégie nationale d'ensemble. C'est le Ministère de l'environnement, de la tutelle de la terre et de la mer qui assume le leadership du CTE. En 2009, le CIPE a décidé dans sa délibération n° 16/2009 d'améliorer le cadre institutionnel en reconstituant le CTE à l'échelon des directeurs généraux et en lui intégrant des représentants du cabinet du premier ministre.

- 4) L'adaptation accomplie est la plus développée dans les domaines de la santé humaine et de la protection du littoral, dans l'agriculture, la lutte contre la désertification et la protection des ressources en eau. **Un premier effort visant à quantifier les coûts prévisionnels de certaines mesures d'adaptation** à l'étude ou exécutées en Italie couvre quatre domaines vulnérables : les écosystèmes des Alpes et des glaciers, les zones côtières, les zones arides et côtières et celles menacées par la désertification, plus les zones enclines aux inondations et glissements de terrain.
Documents préparés pour la Conférence nationale sur le changement climatique.
Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare—Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (APAT), 2007. *Gli eventi preparatori della Conferenza – sintesi dei lavori*. ISBN 978-88-448-0399-5.
Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare—Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (APAT), 2008. *Sintesi dei lavori – Conferenza Nazionale 2007*. ISBN 978-88-448-0344-5.
APAT-FEEM, 2008. *Cambiamenti climatici e strategie di adattamento in Italia. Una valutazione economica*. A cura di C. Carraro. Collana su 'Ambiente e Sviluppo'. Ed. Il Mulino.
- 5) Plan national espagnol d'adaptation au changement climatique (PNACC) :
Les secteurs couverts par le PNACC sont les suivants : biodiversité, ressources en eau, forêts, agriculture, zones côtières, chasse et pêche en eau douce, zones montagneuses, sols, pêche et écosystèmes marins, transport, santé humaine, industrie et énergie, tourisme, politiques financières et des assurances, planification urbaine et construction.
Bien que les différents scénarios inclus dans le PNACC portent jusqu'à l'horizon 2100, le plan est mis en œuvre via des programmes de travail déterminant à la fois les activités et projets à exécuter et leurs calendriers respectifs. Le premier programme de travail a été approuvé en 2006 et a duré jusqu'à fin juin 2010. Le deuxième programme de travail du PNACC est en cours d'exécution. Il a été adopté en 2009 pour une période de quatre ans.
Le secteur des transports est intégré dans le PNACC bien que n'étant pas considéré comme un secteur prioritaire dans ce plan. Ce secteur n'a donc pas encore été spécifiquement inclus dans aucun des programmes de travail exécutés par le PNACC.
Le PNACC montre que le secteur des transports ne semble pas sérieusement affecté par l'augmentation des températures bien qu'il soit affecté par des changements dans les précipitations, le vent et les schémas de distribution des bancs de brouillard. En outre, il pourrait être nécessaire selon le PNACC de modifier les ouvrages d'infrastructure tels que les ponts et les pistes. Par ailleurs, les impacts peuvent être hautement significatifs, en particulier dans les ports en raison de la hausse du niveau marin et de changements dans d'autres paramètres liés au climat.
Il convient de mentionner que l'administration publique a encouragé un projet de recherche inclus dans le Plan de R&D&I 2008-2011. Ce projet porte sur la caractérisation de l'écosystème marin espagnol afin d'optimiser l'exploitation portuaire et la navigation maritime. Le projet peut être considéré comme une première étape en ce sens et peut aider à prendre le secteur des transports en compte au sein du PNACC.
Le PNACC ne prend qu'une ligne d'action en compte pour évaluer les risques, la vulnérabilité et l'adaptation en liaison avec le secteur des transports. Cette ligne d'action consiste à cartographier la vulnérabilité des systèmes de transport terrestres, aérien et maritime en termes de sécurité de l'infrastructure.

- 6) Secteurs couverts par le plan hongrois d'adaptation au changement climatique : préservation de la nature, environnement humain et soins de santé, gestion des eaux, agriculture (culture, élevage), forêts, aménagement et planification de l'espace, aménagement urbain, et l'environnement bâti. L'infrastructure de transport est intégrée dans la stratégie. On s'attend à ce qu'augmente la probabilité de perturbations dans l'exploitation de l'infrastructure routière (qui fait partie de « l'infrastructure critique ») et conséquemment dans le domaine des services publics. Il faudrait planifier de nouveaux tracés routiers bénéficiant aux critères de préservation de la nature. Afin d'améliorer la perméabilité écologique, il est nécessaire de construire des passages écologiques (tunnels et ponts pour la faune) franchissant les grands axes et les autoroutes, de planter des plantes arbustives natives et des enfilades d'arbres sur leurs côtés. Il faudrait réviser les normes de construction, les directives et règlements ; il faudrait accomplir les expériences et calculs nécessaires à cette fin. Il faudrait procéder à des analyses de risques complexes sur « l'infrastructure critique » (réseau routier inclus).

Au niveau des administrations routières nationales

	 France	 Autriche	 Hongrie	 Italie	 Espagne
<p>Quelles sont les principales problématiques en liaison avec le changement climatique et quelles zones sont les plus affectées dans votre pays ?</p>	<p>Certains impacts du changement climatique sur les services et l'infrastructure de transport ont été décrits, mais le sujet requiert une étude approfondie.</p> <p>Une augmentation du nombre de cycles gel/dégel, de l'entretien hivernal, l'érosion de la surface de la chaussée dans le sud de la France et l'érosion côtière sont les impacts attendus.</p> <p>Il faut faire la distinction entre les dommages résultant d'événements climatiques extrêmes et les risques découlant du changement climatique. Les premiers peuvent requérir des outils et mesures spécifiques tandis que l'atténuation de ces derniers peut passer par une remise à niveau des normes ou des opérations d'entretien.</p>	<p>Hausse de température plus forte que la moyenne mondiale.</p> <p>Décalage des précipitations de l'été vers l'hiver avec un volume annuel plus ou moins constant et un nombre plus élevé de situations météorologiques extrêmes.</p> <p>Zones de basse altitude près des grandes rivières et routes proches des cours d'eau dans les Alpes : risque d'inondation accru.</p> <p>Régions de montagne : risque accru d'avalanches et de chutes de rochers.</p>	<p>Des températures élevées contribuent à la déformation des chaussées en bitume.</p> <p>Les zones de basse altitude sont les plus affectées et elles bénéficient généralement d'un climat plus chaud.</p> <p>Des pluies fortes ou permanentes peuvent avoir des conséquences différentes et des zones d'impact différentes.</p> <p>Des coulées de boue ou de débris risquent de se produire en zones collinaires. Les débits accrus des cours d'eau et rivières peuvent endommager les ponceaux, les ponts voire les routes elles-mêmes principalement sur le réseau de routes secondaires où le système de drainage est moins développé.</p> <p>Les eaux d'inondation s'accumulent principalement dans les zones de basse altitude et risquent d'y</p>	<p>L'Italie est très vulnérable aux inondations et glissements de terrain. Les glissements de terrain sont omniprésents en Italie, ils représentent le plus désastre naturel le plus fréquent et responsable du plus grand nombre de victimes après les tremblements de terre. Par conséquent, les glissements de terrain constituent un problème majeur quant à la sécurité des populations et l'endommagement des zones résidentielles, à l'infrastructure et aux réseaux de services.</p> <p>Les systèmes côtiers et les zones de basse altitude sont déjà enclins à l'érosion et il est prévu que leurs risques s'accroissent au cours des décennies à venir. Les zones particulièrement à risques sont les régions de l'Adriatique. Les inquiétudes clefs portent sur la hausse du niveau marin, l'érosion côtière, des changements dans les tempêtes et inondations, et la perte d'habitat.</p>	<p>On constate une augmentation significative des inondations (en particulier dans le bassin méditerranéen) et des glissements de terrain (dans les chaînes montagneuses et sur les bords des rivières en bassins tertiaires). En outre, il y a une érosion du sol et un risque de désertification, principalement dans l'intérieur et le sud de l'Espagne. Une hausse du niveau marin et une régression de la ligne côtière sont également attendues.</p>

	France 	Autriche 	Hongrie 	Italie 	Espagne 
			<p>endommager les routes. Les tempêtes peuvent se produire partout, mais les problèmes de circulation (chutes d'arbres, congères, dunes de sable, etc.) surgissent principalement dans les zones sans forêt, laquelle aurait sinon réduit la vitesse du vent.</p>	<p>La fonte de glaciers et la disparition du permafrost en zones montagneuse sont responsables d'un risque accru d'avalanches et de chutes de rochers. Les principaux effets du changement climatique sur le système de transport peuvent inclure ceux-ci :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Altérations de la stabilité et de la résistance du système et des infrastructures de transport, ainsi que changements dans le choix de la modalité de transport directement dépendante d'une hausse de température, ce qui affecte indirectement la qualité d'ensemble du transport, et - Inaccessibilité ou perturbation possibles du réseau de transport, dues à la hausse du niveau marin et à des précipitations plus fréquentes et intenses, principalement en liaison avec les inondations. 	
Déterminez-vous des effets bénéfiques au	Probablement l'indice de gel pour l'entretien hivernal.		Certains avantages (moindre endommagement des	Non.	Des technologies plus efficaces et des énergies renouvelables seront

	France 	Autriche 	Hongrie 	Italie 	Espagne 
<p>changement climatique, et dans quels domaines ?</p>			<p>structures dû au gel, diminution des accidents dus au verglas) peuvent découler d'un raccourcissement de la période de gel hivernal et seront constatés dans tout le pays.</p>		<p>utilisées. Les véhicules respectueux de l'environnement seront favorisés.</p>
<p>Votre ARN possède-t-elle une stratégie d'adaptation au changement climatique ?</p>	<p>Oui. L'ARN française a, dans le cadre du PNACC, défini une stratégie d'adaptation au changement climatique. Elle consiste en ceci :</p> <ul style="list-style-type: none"> i. Passer en revue et actualiser toutes les directives techniques ; ii. Évaluer l'impact sur la demande de transport et ajuster le service fourni, et iii. Définir des méthodologies permettant d'identifier et réduire la vulnérabilité du système de transport et des infrastructures. <p>L'Annexe 3 (1.5.3) revient en détails sur le PNACC.</p>	<p>Pas encore.</p>		<p>Pas encore.</p>	<p>En Espagne, la principale politique d'adaptation au changement climatique est le Plan national d'adaptation au changement climatique (2006, Ministère de l'environnement et des affaires rurales et maritimes).</p>
<p>Votre ARN a-t-elle calculé le coût des dommages dus au changement climatique, le</p>	<p>Certains coûts ont été calculés (des études ont été réalisées pour estimer les coûts de la hausse du niveau marin et des vagues de chaleur).</p>	<p>Pas encore.</p>		<p>Non.</p>	<p>Pas encore.</p>

	France 	Autriche 	Hongrie 	Italie 	Espagne 
coût des mesures d'adaptation et le coût d'une absence d'action ?					
Y a-t-il une action concrète en cours relativement à l'adaptation au changement climatique ?	Oui, des actions qui ont été définies comme faisant partie du PNACC. Voir à l'Annexe 3, section 1.5.3, l'exemple du PNACC.	Non.		Un certain nombre d'administrations italiennes participent, dans le cadre du Programme Espace Alpin , à des projets focalisés sur l'adaptation au changement climatique dans le secteur des transports, dont les suivants : - AlpCheck, http://progetto-alpcheck.regione.veneto.it - iMONITRAF!, http://www.imonitraf.org - TRANSITECTS, http://www.transitects.org	Participation au programme ERA-NET ROAD : « Les propriétaires de routes s'attaquent au changement climatique » .

Contexte d'adaptation

	France 	Autriche 	Hongrie 	Italie 	Espagne 
<p>Veillez identifier la/les source(s) d'informations/base(s) de données sur les données routières en général.</p>	<p>Base nationale de données routières. Indice de qualité des chaussées. Indice de qualité des ponts.</p>	<p>Informations en ligne sur le trafic. Capteurs/caméras montrant en ligne les conditions météo et l'état de la route, informations - sur base SIG - sur l'infrastructure technique, la végétation et les services appliqués.</p>	<p>Entreprise nationale de gestion des routes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Base nationale de données routières (données techniques), et - Centre d'information sur la circulation routière (état du trafic et conditions météo) <p>Centre de coordination pour le développement des transports</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inventaire des actifs, et - Applications SIG. 	<p>Les organisations chargées d'administrer les différentes sections du réseau routier communiquent leurs données au Ministère de l'infrastructure et des transports qui résume chaque année les informations les plus importantes dans les Comptes rendus des transports nationaux.</p>	<p>Il existe un certain nombre de bases de données relatives aux routes espagnoles ; elles sont gérées par la Direction générale espagnole des routes et la Direction générales des routes dans les Communautés autonomes. Elles incluent des informations sur le réseau routier, les ponts, les tunnels, la sécurité routière, etc.</p>
<p>Veillez identifier s.v.p. la/les principale(s) sources de données sur des événements passés liés au temps.</p>	<p>Il peut exister des données mais elles ne sont ni centralisées ni recueillies de façon à permettre une évaluation du risque de changement climatique.</p>	<p>Base SGI (LOS) de données sur les services appliqués, alimentée par les capteurs/caméras enregistrant en ligne les conditions météo et l'état des routes.</p>		<p>SCIA est le système national permettant de recueillir, traiter et diffuser les données climatiques présentant un intérêt environnemental, et de fournir des indicateurs représentant les états du climat et son évolution.</p> <p>http://www.scia.sinanet.apat.it/scia.asp</p> <p>Un inventaire national des glissements de terrain a été dressé (Projet IFFI -</p>	<p>La Direction générale de la circulation possède des informations sur l'entretien hivernal des routes.</p> <p>Relativement aux inondations, la Direction générale espagnole de la protection civile possède un inventaire des inondations et les Confédérations hydrographiques recueillent des informations sur les inondations survenues dans leurs bassins.</p>

	France 	Autriche 	Hongrie 	Italie 	Espagne 
				<p>Inventario dei fenomeni franosi in Italia). Cet inventaire identifie et cartographie les glissements de terrain en usant de méthodes standardisées et partagées. Il constitue aussi un outil important pour évaluer le risque de glissement de terrain et planifier l'affectation du territoire.</p> <p>ISPRA - Service marégraphique national</p> <p>Le Réseau marégraphique national livre des informations sur les mesures et analyses systématiques des données climatiques marines, sur l'état des côtes et le niveau de la mer, sur la publication systématique d'éléments observés et traités, et sur leur cartographie.</p> <p>http://www.mareografico.it/</p>	<p>L'Agence nationale espagnole de météorologie (AEMet) possède des informations sur les tempêtes, pluies, chutes de neige, etc. Concernant les routes, la Direction générale de la circulation et la Direction générale des routes recueillent des données météorologiques sur certaines de ces routes.</p> <p>Rattaché au Ministère de l'environnement, l'Observatoire nationale de la sécheresse saisit toutes les informations sur les vagues de sécheresse en Espagne.</p> <p>L'Institut espagnol de géologie et des mines possède un inventaire des glissements de terrain.</p> <p>En ce qui concerne d'autres événements liés au temps, la Direction générale de la protection civile a enregistré tous les incidents survenus depuis 2000, par exemple des avalanches, feux et tremblements de terre.</p>

	France 	Autriche 	Hongrie 	Italie 	Espagne 
<p>Veillez identifier la/les principale(s) source(s) de données météorologiques .</p>	<p>Météo-France, IPSL.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Prévisions météo basées sur un institut national étudiant le climat et le temps ; • Capteurs pour l'enregistrement en ligne des conditions météo, et • Statistiques hydrologiques provenant d'un office hydrographique autrichien. 	<p>Service météorologique hongrois.</p>	<p>Le Service météorologique de l'aéronautique militaire constitue la première source de données météorologiques.</p> <p>(http://www.meteoam.it/)</p> <p>Des données météorologiques sont également recueillies par certaines agences environnementales régionales et d'autres institutions.</p>	<p>En Espagne, l'Agence étatique de météorologie (AEMet) s'occupe de l'observation météorologique de l'Espagne et des archives de données.</p> <p>En liaison avec les routes, la Direction générale de la circulation et la Direction générale des routes recueillent également des données météo sur les autoroutes et les routes.</p>
<p>Quels sont les besoins de recherche et de développement dans ce domaine ?</p>	<p>Définir de bons indicateurs des impacts du changement climatique sur l'infrastructure, et organiser le recueil de données afin d'évaluer le coût des dégâts et de proposer des mesures d'adaptation appropriées.</p>			<p>* Améliorer l'harmonisation des méthodes servant à recueillir et traiter les données.</p> <p>* Intensifier au niveau national et local la recherche sur la modélisation climatique.</p>	-

Gestion et exploitation des routes

	France 	Autriche 	Hongrie 	Italie 	Espagne 
Est-on en train de réaliser ou planifier une étude des actifs vulnérables au changement climatique, et desquels s'agit-il ?	Oui, mais pas en détail. Problématiques critiques opposant la fermeture de routes et la remise à niveau de normes.	Non. Pas encore.		Non. Aucun.	Non. Non.
Les mesures d'adaptation au climat font-elles partie des travaux d'exploitation et d'entretien quotidiens ?	Directement liées au changement climatique : pas encore. Mais les risques météorologiques sont toujours pris en compte dans les procédures d'entretien.	Les normes de conception des routes sont constamment adaptées en utilisant des statistiques hydrologiques à long terme actualisées.		Non	<p>L'un des rôles de la Direction générale des routes consiste à contrôler l'exploitation du réseau routier national. Il inclut l'entretien du réseau routier en général et l'entretien hivernal des routes en particulier.</p> <p>En liaison avec cela, il existe un Protocole de coordination des mesures couvrant les phénomènes météorologiques extrêmes. Son but est de renforcer les systèmes de coordination entre les différents organismes composant l'Administration générale de l'État lorsque se produisent des chutes de neige et d'autres phénomènes météorologiques extrêmes.</p>

	France 	Autriche 	Hongrie 	Italie 	Espagne 
Disposez-vous d'outils pour <i>évaluer</i> le risque lié au changement climatique ?	Pas encore. L'outil GeRiCi a été développé et testé (outils d'évaluation des risques et de gestion focalisés sur l'infrastructure), voir l'Annexe 3. Une méthodologie générale d'évaluation de la vulnérabilité va être développée.	Non. Une petite partie d'un outil général de planification des risques.		Non. Non.	Le principal outil est le Plan national d'adaptation au changement climatique (2006, Ministère de l'environnement et des affaires rurales et marines). Il existe également des plans nationaux sur les inondations et les zones sismiques en général, mais ils ne sont pas liés au changement climatique. En outre, il existe des plans développés par chaque Communauté autonome.
Dans l'affirmative, s'agit-il d'outils spécifiques d'évaluation du changement climatique développés et/ou mis en œuvre par votre pays/organisation ?				Non.	
Disposez-vous d'outils pour <i>gérer</i> le risque lié au changement climatique ?	Pas encore. L'outil GeRiCi a été développé et testé (outils d'évaluation des risques et de gestion focalisés sur l'infrastructure), voir l'Annexe 3.	Non.			Le principal outil est le Plan national d'adaptation au changement climatique (2006, Ministère espagnol de l'environnement et des affaires rurales et marines). Il existe également des plans nationaux sur les inondations et les zones sismiques en général, mais ils ne sont pas liés au changement climatique. En

	France 	Autriche 	Hongrie 	Italie 	Espagne 
					outre, il existe des plans développés par chaque Communauté autonome.
Dans l'affirmative, les outils d'évaluation sont-ils similaires ou identiques à ceux s'appliquant à d'autres zones à risques connues (risques sismiques par exemple) ?				Non.	
Disposez-vous d' <i>alternatives</i> pour gérer les effets du changement climatique à long terme ?	Pas encore. C'est lié à la mise en œuvre du plan d'action et à la priorisation.			Non.	Non.
Est-on en train de répercuter les impacts du changement climatique dans les directives de planification, de conception et de construction ?	Pas encore, la mise à jour des directives est l'une des mesures planifiées dans le cadre du PNACC.			Non.	Non.
Quels sont les besoins de recherche et de développement dans ce domaine ?	Développement méthodologique pour évaluer et gérer les risques de changement climatique.				Les impacts du changement climatique doivent être transposés dans les directives espagnoles visant la planification, la conception, la construction et l'entretien ³ .

3) Besoins de recherche tels que listés par l'Espagne, mais d'intérêt général :

Il existe un besoin de recherche dans les domaines suivants :

- Prédiction des précipitations, de la température et de leur distribution spatio-temporelle ;
- Amélioration générale de la base de données ;
- Simulations de modèles hydrologiques couplés à des modèles climatiques régionaux adaptés aux bassins atlantique et méditerranéen ;
- Développement d'une base de données sur les avalanches ;
- Effet des hautes températures sur les états de la chaussée ;
- Effet de fortes pluies sur les systèmes de drainage ;
- Amélioration de la base de données sur les glissements de terrain et une meilleure estimation des dommages liés aux glissements de terrain ;
- Relation entre les averses violentes orages et les glissements de terrain ;
- Relation entre la variabilité passée du climat et les glissements de terrain ;
- Réduction à petite échelle des situations prédites dans les modèles de changement climatique ;
- Amélioration des modélisations hydrologiques et mécaniques des glissements de terrain ;
- Base de données sur l'historique des niveaux de la mer ;
- Effets du changement de niveau de la mer et de la houle, et
- Inventaire des infrastructures susceptibles d'être affectées par un changement de niveau de la mer.

Annexe 3

Exemples de travaux d'adaptation et de bonnes pratiques pertinents pour s'adapter au changement climatique

1.5.3

Plan d'adaptation au climat	Pratique actuelle
Thème : Infrastructure de transport	France
Domaine d'application : Infrastructure de transport	
Bénéfique aux domaines suivants : Travail d'adaptation	
Aspects du changement climatique inclus : Tous les paramètres climatiques et effets associés	
Calendrier : Vers la fin de ce siècle	
Résumé : Le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC) a été lancé en 2011. Le plan a été développé après concertation d'un vaste choix d'experts et de parties prenantes, et il contient environ deux cent recommandations. Voici les tâches les plus importantes relatives aux problématiques des transports : <ul style="list-style-type: none"> • Actualiser les directives techniques et les plans d'urgence ; • Promouvoir la recherche sur toutes les innovations techniques permettant de réagir mieux et à moins de frais aux problèmes du changement climatique ; • Accroître la communication et sensibiliser les parties prenantes ; • Développer une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité et des risques, et • Maîtriser les conséquences de la hausse du niveau marin. 	
Publications : Le plan français « Plan National d'Adaptation au Changement Climatique » (PNACC), pour la période 2011-2015. http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-Plan-national-d-adaptation,22978.html http://www.developpement-durable.gouv.fr/The-national-climate-change.html	

En 2010, la France a défini un Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC). Des actions listées dans le plan ont été mises en œuvre depuis le début de l'année 2011.

1. Recommandations découlant d'une concertation nationale à grande échelle sur l'adaptation au changement climatique

Dans un premier temps, une vaste concertation à l'échelle nationale, régionale et dans les DOM-TOM a été réalisée sur la question de la thématique d'adaptation au changement climatique. En 2010, cinq groupes (formés de représentants élus, de syndicats d'employés et d'employeurs, d'ONG et de l'administration) s'ajoutant aux experts et citoyens ayant répondu à un appel sur Internet ont été mobilisés pour discuter sur ce thème.

Ceci a conduit à formuler 202 recommandations sur la biodiversité, les ressources en eau, les risques naturels, la santé, l'agriculture, l'énergie, l'infrastructure, le tourisme, la planification, la finance, la gouvernance, l'information et la recherche. Les recommandations 115 à 121 traitent des problématiques de transport (voir les détails plus loin). Elles ont été organisées autour des cinq points suivants.

1.1. Actualisation des procédures et directives existantes

A l'échelle territoriale pertinente, évaluer, analyser et adapter les plans d'urgence et les ressources afin de coordonner les acteurs intégrés dans les systèmes infrastructurels et de transport.

Lister et adapter les directives techniques traitant de la construction, l'entretien, l'utilisation et la sécurité des réseaux de transport en France métropolitaine et dans les DOM-TOM.

1.2. Soutien de la recherche

Promouvoir la recherche scientifique sur les matériaux et structures qui pourraient apporter des solutions aux problématiques du changement climatique et sur les moyens ou solutions techniques permettant de réagir mieux et à coûts inférieurs aux problèmes du changement climatique. Étudier les conséquences du changement climatique sur la demande de transport et la nécessité d'adapter le service fourni.

1.3. Communication et conscience des parties prenantes

Éduquer, communiquer et informer – sur les conséquences du changement climatique et les mesures conçues pour réaliser l'adaptation – le grand public, les usagers et les différentes parties prenantes se préoccupant des systèmes de transport.

1.4. Développer une évaluation des risques et de la vulnérabilité.

Définir une méthodologie par laquelle accomplir un diagnostic de vulnérabilité des systèmes infrastructurels et de transport qui pourrait être fourni aux autorités locales, aux gestionnaires de réseau et aux entreprises de transport.

Énoncer la vulnérabilité du réseau de transport à l'échelle spatiale pertinente, en tenant compte de l'évolution de l'environnement, des structures, des fournitures en énergie, en eau et en équipements de sécurité.

Évaluer la vulnérabilité des infrastructures aéroportuaires en France métropolitaine ainsi que dans les DOM-TOM.

Développer des stratégies globales et territoriales pour trouver des réponses adaptées et progressives permettant d'affronter les problématiques du changement climatique. Identifier les éléments qui doivent être priorités. Développer si possible des modes alternatifs de fourniture de services.

1.5. Maîtriser les conséquences de la hausse du niveau marin

Développer des outils d'analyse et d'évaluation pour les zones côtières.

- Modéliser les effets de la houle et de l'érosion côtière.

- Dessiner une carte tenant compte de ces effets et de l'efficacité respective des protections artificielles et naturelles (digue, dune de sable, mangrove, récif corallien, zones mouillées retenue, etc.) pour protéger la côte, les estuaires et infrastructures de transport en France métropolitaine et dans les DOM-TOM.

- Développer une modélisation de la houle et de l'érosion côtière afin d'identifier les zones qui pourraient être submergées.

Développer des outils d'évaluation de l'efficience :

- Évaluer l'efficacité des protections artificielles et naturelles susmentionnées destinées à protéger la côte, les estuaires et les infrastructures de transport en France métropolitaine et dans les DOM TOM.
- Évaluer le rôle des cordons littoraux concernant les effets de la houle. Analyser leurs effets (érosion) et l'aggravation de leurs impacts.

2. Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC)

Pendant la première moitié de 2011, la France a élaboré son premier Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC). Ce plan est institué par l'article 42 de la loi du 03 août 2009 dite « Grenelle 1 ». Il entrera immédiatement en application pour une période de cinq ans. Il s'agit d'un plan national et non pas d'un plan public : il a certes été rédigé par l'État mais sur la base d'une vaste concertation.

Il va réunir des conseils sur des sujets aussi divers que la défense contre les inondations, l'adaptation des zones côtières, le développement des forêts, les problématiques de l'eau et l'adaptation économique. Pour les transports, le plan vise à fournir ceci aux opérateurs publics, propriétaires et gestionnaires de réseaux :

- Des informations, études et résultats de recherche pour tirer au clair l'impact du changement climatique et pour fournir des paramètres et chiffres climatiques. Ces données permettront de vérifier des directives techniques et d'effectuer des évaluations de vulnérabilité ;
- Des outils méthodologiques permettant aux parties prenantes d'évaluer leurs responsabilités eu égard au changement climatique et de prendre les mesures nécessaires pour s'adapter. Si nécessaire, l'État, qui s'occupe de la standardisation, qui a le pouvoir d'élaborer des règlements, et qui est soutenu par ses institutions et son réseau technique, s'investira dans la révision des directives techniques françaises et européennes (Eurocodes).

Le plan cible également ceci :

- Lister les directives techniques traitant de la construction, l'entretien, l'utilisation et la sécurité des réseaux de transport, et
- Encourager l'évaluation de la vulnérabilité des systèmes de transport et la définition de stratégies d'adaptation en fournissant des données et outils méthodologiques.

Il faut noter que les effets d'une augmentation de température, d'une hausse du niveau de la mer et de changements dans les précipitations se réfèrent aux données climatiques moyennes en France, mais les effets pourraient aussi avoir de l'importance à l'échelle régionale et locale.

1.6.1.a

<p>SWAMP Prévention des eaux de tempête – Méthodes pour prédire l'inondation des chaussées routières ou près de celles-ci dans les zones de basse altitude</p>	<p>Projet de R&D ERA-NET ROAD</p>
<p>Défi relevé lié au changement climatique : Outil SIG (Système d'information géographique) pour analyser et prédire les inondations des routes</p>	
<p>Objectif du travail : Le résultat de la première étape du projet est une directive générale sur la façon d'identifier les sites occasionnant la majorité des problèmes sur les routes existantes ou à proximité ; ces sites également appelés points bleus sont ceux où des inondations se produisent suite à des précipitations extrêmes. Le résultat de la seconde étape du projet est une directive pas-à-pas portant sur l'inspection, l'entretien et la réparation du système de drainage identifié comme pouvant constituer un point bleu.</p>	
<p>Bénéfique aux domaines suivants : Toutes les administrations routières</p>	
<p>Calendrier : Cycle continu</p>	
<p>Résumé : Le projet SWAMP cible une problématique critique : déterminer les parties les plus vulnérables du réseau routier et comment les préparer aux inondations. Les incertitudes inhérentes aux prédictions du climat futur sont importantes. La communauté de recherche sur le climat est convaincue qu'il va y avoir un changement, mais admet la difficulté de quantifier exactement les changements par exemple en termes d'ampleur et de fréquence des chutes de pluie. Toutefois, les inondations ont toujours émaillé l'histoire et continueront de le faire. Par conséquent, identifier et améliorer les tronçons routiers vulnérables aux inondations revêt une grande importance indépendamment de la gravité du changement climatique. Les zones proches de routes tendant à s'inonder s'appellent des « points bleus » dans les rapports du projet SWAMP (terme utilisé par analogie aux « points noirs », sites d'accidents graves sur le réseau routier). Compte tenu des grandes distances franchies par les routes, il serait très utile de disposer d'un outil aidant efficacement à trouver les tronçons vulnérables. En conséquence, le projet SWAMP a eu pour objectifs de 1) déterminer la structure et les exigences d'un modèle permettant d'identifier les points bleus, et de 2) produire des directives sur la façon de réduire la vulnérabilité des points bleus aux inondations.</p>	
<p>Publications : The Blue Spot Concept (Le concept des points bleus), rapport de l'Institut des routes danoises 181-2010 Background Report (Rapport sur le contexte), rapport de l'Institut des routes danoises 182-2010.</p>	

[The Blue Spot Model Report](#) (*Rapport sur le modèle des points bleus*), rapport de l'Institut des routes danoises 183-2010.

[Inspection and Maintenance Report](#) (Rapport sur l'inspection et l'entretien), rapport de l'Institut des routes danoises 184-2010

Blue spot konceptet rapport 185 (Rapport sur le concept des points bleus, version en danois), 2010.

Contact :

Coordinateur de projet : [Institut des routes danoises, Danemark.](#)

Méthode des Points bleus

Le principal produit du projet est la méthode Point bleu.

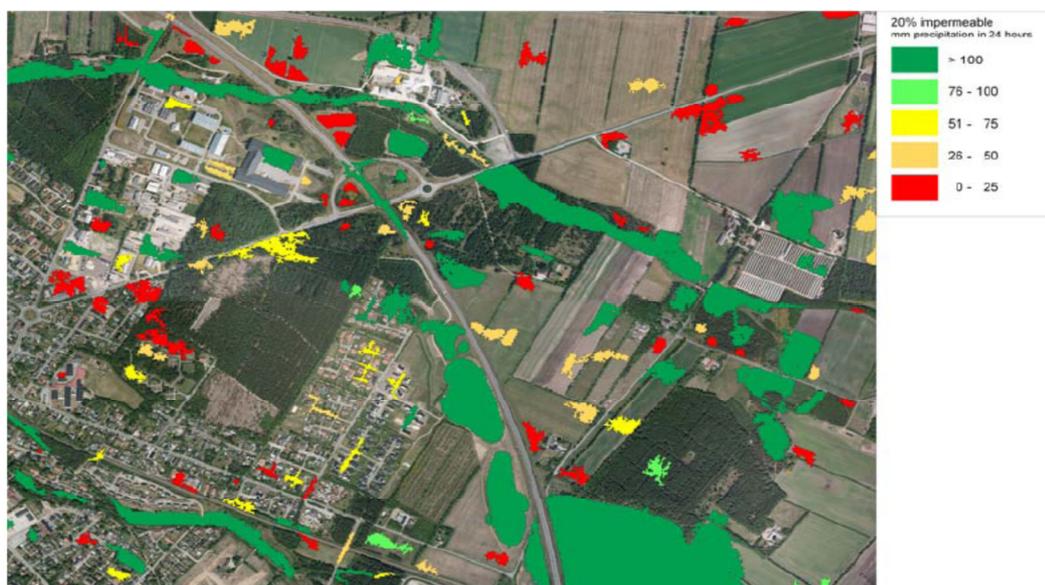
Cette étude examine trois événements/processus pouvant provoquer une inondation des routes :

- L'eau s'accumule dans les dépressions vu que le système de drainage n'offre pas une capacité suffisante (ou qu'il n'y a aucun système de drainage !) ; Les zones de drainage contributrices peuvent être celles de captage en amont ainsi que celles de drainage direct de la route ;
- Le débordement de rivières provoqué par une capacité insuffisante en aval, et
- L'inondation de zones de basse altitude due à la montée du niveau marin.

Une méthode est proposée permettant d'identifier les zones du réseau routier sensibles aux inondations. Nous les appelons « points bleus ». Elles sont définies comme des zones où l'on s'attend à des inondations en cas de pluies extrêmes. Les points peuvent être identifiés sur une base empirique, mais de nouveaux points bleus vont apparaître sur le réseau routier au fur et à mesure que les précipitations vont s'accroître.

L'analyse est divisée en trois niveaux, chaque niveau aidant à fournir une meilleure vue d'ensemble du risque d'inondation réel. Au fur et à mesure que les connaissances s'améliorent, le nombre de zones à risques diminue progressivement.

La figure ci-dessous montre un exemple d'analyse de niveau 2 qui évalue la sensibilité à la pluie de différentes dépressions du terrain. L'analyse de niveau 1 examine uniquement l'altitude de ces dépressions et le niveau 3 applique un modèle hydrodynamique aux réservoirs de surface et aux dépressions.



1.6.1.b

<p>Carte des points bleus</p> <p>Prévention des eaux de tempête – Méthodes pour prédire l'inondation des chaussées routières ou près de celles-ci dans les zones de basse altitude</p>	<p>Développement de pratiques</p> <p>Danemark</p>
<p>Défi relevé lié au changement climatique :</p> <p>Accroissement du risque d'inondation dû à de plus fortes précipitations et à une hausse du niveau de la mer.</p>	
<p>Objectif du travail :</p> <p>Cartographier des zones particulièrement enclines aux inondations.</p>	
<p>Bénéfique aux domaines suivants :</p> <p>planification, exploitation, entretien et réparation.</p>	
<p>Calendrier :</p> <p>Cycle continu</p>	
<p>Résumé :</p> <p>Les travaux décrits ici sont un projet démonstratif dans le cadre du programme de R&D SWAMP également décrit à la section 3.6.1.</p> <p>L'une des visées de SWAMP était de développer des directives sur la façon d'identifier les sites, appelés « points bleus », occasionnant la majorité des problèmes sur les routes existantes ou à proximité, c'est-à-dire là où des inondations se produisent suite à des précipitations extrêmes.</p> <p>Le projet de démonstration décrit ici montre les données et procédures nécessaires pour développer une carte basée sur la méthode des points bleus. La même méthode peut servir à développer la carte des inondations du Danemark, activité planifiée pour dans un avenir proche.</p>	
<p>Publications :</p> <p>The Blue Spot Concept (Le concept des points bleus), rapport de l'Institut des routes danoises 181-2010</p> <p>Background Report (Rapport sur le contexte), rapport de l'Institut des routes danoises 182-2010.</p> <p>The Blue Spot Model Report (Rapport sur le modèle des points bleus), rapport de l'Institut des routes danoises 183-2010.</p> <p>Inspection and Maintenance Report (Rapport sur l'inspection et l'entretien), rapport de l'Institut des routes danoises 184-2010</p>	
<p>Contact :</p> <p>Coordinateur de projet : Institut des routes danoises, Danemark.</p>	



Le rectangle rouge délimite la zone d'étude, laquelle est traversée par 875 km de routes nationales.

Données utilisées dans l'analyse

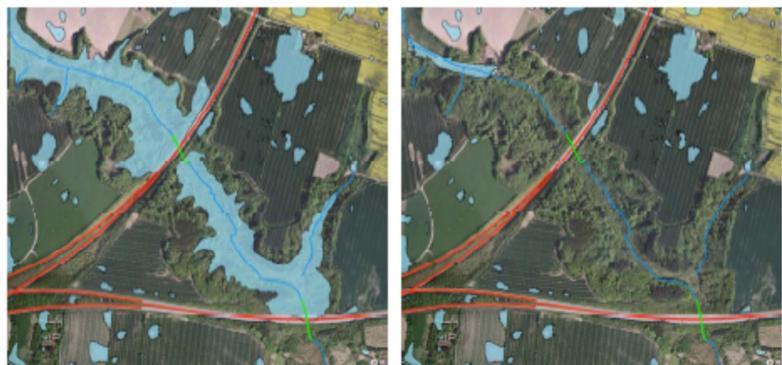
Obtenues par balayage laser, les données d'altitude d'une grande partie du Jutland central servent de base au calcul des zones à risque d'inondation. Le balayage laser livre un modèle grossier du terrain appelé modèle de surface numérique (Digital Surface Model – DSM) et incluant les bâtiments, la végétation, etc. Le modèle DSM est ensuite modifié pour faire disparaître les bâtiments et la végétation. Le résultat est un modèle numérique du terrain (Digital Terrain Model – DTM). Les ponts, tunnels, viaducs et voies navigables n'apparaissent pas toujours avec une information signalant la présence d'un passage par dessous dans le modèle de terrain. Il est par conséquent nécessaire d'évaluer si l'eau peut franchir librement ou non ces ouvrages. Aux fins de cette évaluation, les couches GIS

utilisées contiennent des informations sur les emplacements des ponts sur le réseau de routes nationales danoises. En outre, il existe des cartes montrant l'emplacement des cours d'eau, et des photos aériennes servent à évaluer les ponts et moyens de passage par dessous.

Les données d'altitude ont été fournies par la Direction des routes danoises, en 75 carrés de 10x10 km chacun. Ces données de grille sont disponibles à une échelle de 1,6 x 1,6 m (couramment utilisée au Danemark) et avec une précision en altitude de 10-25 cm sur des surfaces bien définies. L'analyse est accomplie à la plus haute résolution des détails, égale à la densité des données de balayage LIDAR (grille de 1,6 x 1,6 m). Pour effectuer l'analyse dans ce projet, il a fallu diviser le modèle de terrain complet (75 x 10 x 10 km = 7 500 km²) en trois parties. C'était nécessaire pour des raisons de vitesse des calculs et de limitations du logiciel utilisé. Là où les routes nationales traversent les limites du partage, les résultats sont imprécis.

Traitement des données

Les zones à risques sont identifiées uniquement sur la base des dépressions du terrain. Le classement en relation avec les précipitations, la superficie du bassin, les états du sol et le transport possible par les systèmes de drainage n'est donc pas inclus. Seules les dépressions présentant un volume d'eau minimum 10 m³ sont incluses dans l'étude. Toutes les dépressions sont remplies d'eau et, en calculant la différence de hauteur comparée au terrain d'origine et la distribution spatiale des dépressions, il est possible de calculer le volume total de la dépression. Les ponts au dessus des pièces d'eau, les routes ou voies ferrées demeurent dans le MNT. D'où la nécessité de retirer les ponts lorsqu'on modélise les inondations. Si les ponts ne sont pas retirés, ils apparaissent comme des « digues » où l'eau est susceptible de s'accumuler et de créer ainsi de faux points bleus. Pour vérifier cette couche DTM-GIS, les informations d'une base de données sur les emplacements des ponts sur les routes nationales danoises ont été utilisées. En outre ont été appliquées des cartes montrant l'emplacement des fleuves et rivières, ainsi que des orthophotographies.



Points bleus avant de retirer la barrière dans le MNT, autour de la route à grande circulation de Sønderjyske et de l'autoroute Taulov (à gauche). Distribution des points bleus après ajout d'un passage souterrain dans le MNT (à droite).

Les ponts et d'autres franchissements de rivières et ruisseaux vont également apparaître sous forme d'obstacles dans le modèle de terrain. Ces barrières sont également supprimées. Un exemple de l'effet qu'a l'inclusion de ces passages en dessous est illustré par la figure ci-dessous. Dans la partie gauche de la figure, l'autoroute semble faire obstacle à la rivière. Cela a été rectifié dans l'image de droite : l'obstacle a été retiré manuellement dans le MNT et la rivière peut passer. Ce retrait manuel risque toutefois d'introduire une erreur. La rivière par exemple risque de déverser plus d'eau que l'orifice de passage sous le pont ne peut en admettre. Dans ce cas, un point bleu potentiel serait supprimé.

L'effet de la hausse du niveau marin est évalué en utilisant le MNT et un chiffre de niveau d'eau représentant le niveau de la mer. Le modèle de terrain peut fournir des informations sur les endroits où de l'eau de mer peut pénétrer à l'intérieur des côtes, s'accumuler et provoquer des inondations néfastes. Pour calculer et visualiser les résultats a été développée une méthode qui se sert des installations présentes dans le logiciel d'environnement ArcGIS d'ESRI (www.esri.com). En outre ont été développés un certain nombre d'autres outils analytiques, dont des programmes ajoutés pour le desktop ArcGIS, et des programmes brevetés qui facilitent le maniement de gros volumes de données.

1.6.1.c

Registre national des inondations	Pratique actuelle Royaume-Uni
Domaine d'application : Améliorer la réaction d'urgence post-inondation.	
Bénéfique aux domaines suivants : Planification et conception	
Aspects du changement climatique inclus : Inondations	
Calendrier : En cours	
Résumé : <p>La Highways Agency a déjà identifié des autoroutes et grands axes vulnérables aux inondations, et a recruté des gestionnaires de la planification d'urgence. Cette agence a lancé le Registre national des inondations en 2009 et entame des programmes pour fournir un meilleur accès d'urgence aux autoroutes. L'Équipe de résilience nationale accomplit une tâche de coordination nationale pour la Highways Agency en gérant le Registre national des risques.</p> <p>Au Royaume-Uni, la Highways Agency a répondu à l'étude Pitt (en réponse aux inondations graves de 2007) en passant par des Forums de résilience locale pour examiner plus profondément la vulnérabilité des autoroutes et des grands axes. Résultat : ils améliorent leur Stratégie d'assistance aux clients en situation d'urgence pour fournir une assistance d'urgence fondamentale aux automobilistes immobilisés.</p> 	
Publications : Learning lessons from the 2007 floods - The Pitt Review (Enseignements tirés des inondations de 2007 – L'étude Pitt)	

Contact :

ha_info@highways.gsi.gov.uk

Étude de cas : La Highways Agency et les inondations de 2009 dans le Cumbria

En novembre 2009, le Cumbria a été la cible de pluies extrêmes qui ont contribué à l'une des pires inondations survenues ces dernières années au Royaume-Uni. Des maisons ont été évacuées et leurs habitants provisoirement relogés dans des centres d'assistance locaux mis en place par les services d'urgence. En outre, des routes avaient été fermées et des ponts gravement endommagés, coupant ainsi à de nombreuses petites villes l'accès à l'infrastructure locale (magasins, écoles, hôpitaux).

Les inondations du Cumbria s'étaient produites en bonne partie sur le réseau routier local exploité par les autorités locales, et sur des tronçons du grand axe polyvalent géré par le fournisseur de services du Domaine 13 de la Highways Agency. La M6, qui traverse le Cumbria, a largement échappé aux inondations et le trafic a continué d'y circuler sur les quatre chaussées pendant l'événement.

La Highways Agency faisait partie du Groupe de redressement infrastructurel qui incluait nos fournisseurs de services, le Cumbria County Council (et ses fournisseurs de services), les services d'urgence, l'armée, les compagnies de distribution et les conseils de district.

En novembre 2009, l'Agence avait offert l'assistance suivante au Council :

- Ingénieurs géotechniques ;
- Hydrauliciens (modélisation des inondations et impact - solutions potentielles) ;
- Relevés topographiques ;
- Gestionnaires de projet ;
- Véhicules/Équipement ;
- Unités d'éclairage/Générateurs ;
- Accès à la chaîne d'approvisionnement de la Highways Agency.

Le Council avait accepté l'offre de véhicules, de machinisme industriel et d'unités d'éclairage/générateurs, mais il ne lui a pas été nécessaire de recevoir le reste de l'assistance offerte. L'Agence avait fourni au Council une unité d'inspection du dessous des ponts (un équipement de grande dimension et spécialisé), capable de donner d'accès à la partie inférieure des ponts. Cet équipement en provenance de Brighton a été livré sur place dans les 12 heures qui ont suivi la demande et y est resté pendant une semaine.

1.6.1.d

<p>Ajustage des règles de conception pour les adapter au changement climatique</p>	<p>Pratique actuelle Danemark, Norvège, Suède</p>
<p>Domaine d'application : Design et dimensionnement du drainage dans les petites zones de captage</p>	
<p>Bénéfique aux domaines suivants : Assurer la capacité de drainage, protection anti-inondation</p>	
<p>Aspects du changement climatique inclus : Plus de pluie et épisodes pluvieux plus intenses</p>	
<p>Calendrier : 30-50 ans, ce qui correspond à la vie utile des systèmes de drainage</p>	
<p>Résumé : Plusieurs pays ont ajusté leurs règles de conception du drainage pour tenir compte de pluies plus intenses et, d'une manière générale, d'un ruissellement plus important. Le changement climatique accroît l'importance qu'il revêt de mesurer les volumes de ruissellement et d'analyser les fréquences des inondations. Toutefois et dans la plupart des cas, la capacité nécessaire sera calculée à partir des niveaux de précipitation et d'hypothèses concernant les propriétés de la surface. Dans la suite du texte, les ajustages des normes de drainage sont définis par ceci :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ajustage des périodes de retour des précipitations ; - Introduction de facteurs climatiques ou similaires ; - Source de données sur les précipitations et leur intensité, et - Exigences visant les dimensions minimum. 	

Danemark

Dans ce pays, les normes de conception du drainage ont été révisées en 2009 (Vejdirektoratet, 2009. Vejkonstruktioner, Avvandingkonstruktioner).

Des mises à jour ont été publiées pour les périodes de retour d'événements critiques et un facteur de sécurité climatique a été introduit.

- Pour la conception des canalisations, ponceaux et bassins sur les routes les plus importantes, la période minimum de retour de niveaux d'eau critiques (qui par exemple dépassent le niveau de la chaussée routière) est fixée à 25 ans.
 - En outre, des inondations exigeant d'utiliser intégralement toute la section de passage des ponceaux ne devraient pas se produire plus d'une fois par an.

- Les précipitations de dimensionnement sont basées sur des séries de données allant jusqu'à 2005. Pour compenser la hausse future des précipitations, un facteur d'incertitude a été introduit. Les valeurs recommandées pour le facteur climatique proviennent de directives publiées par la Société danoise des ingénieurs, Comité de la pollution de l'eau (directives SVK n° 29). Les valeurs sont les mêmes que celles décrites plus haut dans les directives norvégiennes : 1,3 lorsque les calculs de ruissellement sont basés sur une période de retour de 10 ans et 1,4 pour une période de 100 ans.
- Indépendamment du facteur climatique est ajouté un autre facteur tenant compte des incertitudes qui découlent des statistiques et méthodes. Ce facteur de modélisation devrait normalement se situer dans la plage 1,1-1,5 basée sur la qualité des données disponibles.

Norvège

Des spécifications révisées visant la conception des structures de drainage dans le réseau routier norvégien sont présentées dans la plus récente édition du *Manuel 018* (publié en janvier 2011). Voici les problématiques les plus importantes :

- La période de retour servant au dimensionnement a été allongée ; 100 ans dans la plupart des cas. Les calculs de ruissellement sont basés sur des méthodes statistiques utilisant des données de la plus haute qualité disponible. Des chiffres de précipitation actualisés ont été téléchargés du portail Web eklima.no.
- Des plans d'itinéraires d'inondation alternatifs devraient être envisagés lorsque les conséquences d'un échec dépassent le niveau de risque acceptable.
- Révision de l'exigence visant les dimensions minimum absolues des ponceaux, ceci suivant la catégorie de route.
- Focus croissant sur les structures existantes compte tenu des critères de conception les plus récents et des changements d'affectation possibles des terres dans les zones de captage.
- Il faut majorer le ruissellement, calculé pour les petites zones de captage sur la base de mesures des précipitations, d'un facteur climatique K_f permettant de compenser le changement climatique attendu :

$$Q = C \times i \times A \times K_f$$

- Le facteur climatique affecté aux structures présentant une vie utile nominale de 100 ans reçoit la valeur 1,3 lorsque les calculs du ruissellement sont basés sur une période de retour décennale et 1,4 pour une période de 100 ans.
- Le coefficient de ruissellement, C , augmente en fonction de la période de retour : de 10 % pour une période de retour de 25 ans, de 20 % pour une de 50 ans et de 25 % pour une de 100 ans.
- Pour les zones de captage plus importantes, l'utilisation de différentes méthodes alternatives est encouragée pour réduire les incertitudes. Des mesures supplémentaires devraient être envisagées :
 - A des fins de calibration, les mesures du ruissellement sur une période plus courte peuvent être comparées aux longues séries de mesure provenant d'une autre zone de captage. Ceci permet de convertir les statistiques à long terme à la zone de captage en question.
 - Mesure des précipitations à court terme pour comparaison avec les mesures du ruissellement

Suède

Les règles suédoises de conception du drainage figurent dans le document VVMB 310 Hydraulisk dimensionering (Dimensionnement hydraulique) 2008:61.

- Les précipitations de dimensionnement étant basées sur des valeurs historiques, un facteur compensant la hausse anticipée des précipitations futures a été introduit (voir la carte à droite).
- Les périodes minimum de retour devraient généralement être de 50 ans. Il faudrait réaliser une analyse des risques de tous les projets.
- Pour tenir compte de conséquences exceptionnellement graves, il faudrait que les chiffres d'inondation sur 50 ans soient majorés de 20 %, donnant une période de retour d'approximativement 200 ans.

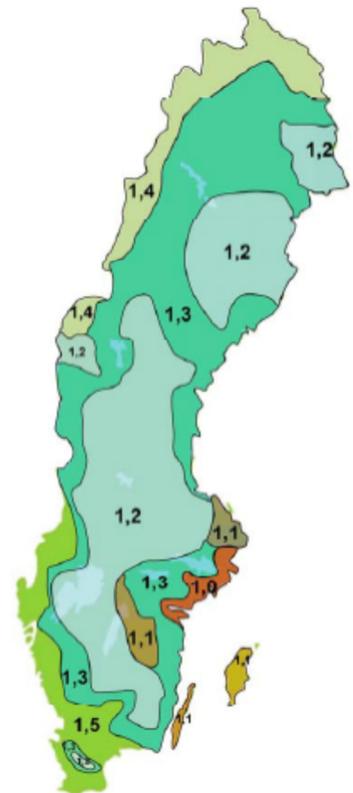


Figure : Distribution géographique du facteur climatique de précipitation en Suède.

1.6.1.e

Catastrophe des boues rouges en 2010	Survenue en Hongrie
Défi relevé lié au changement climatique : Fortes pluies, inondation	
Bénéfique aux domaines suivants : Planification, plans d'urgence	
Calendrier : climat actuel et défis futurs	
Résumé : Cet événement n'a pas été provoqué par des conditions climatiques et en particulier pas par un changement climatique. Toutefois, des inondations engendrées par des précipitations intenses ont fait empirer la situation. Cet événement sert d'exemple d'effets environnementaux incontrôlables dans un climat plus humide.	
Publications :	
Contact :	

Le 4 octobre 2010, dans la ville d'Ajka, un angle d'un réservoir de boues rouges se rompt à côté de l'usine d'alumine et environ 1 million de mètres cubes de déchets liquide se répandent aux alentours. La vague de boues forme une vague de un à deux mètres de hauteur, noyant la moitié du village de Kolontár, un tiers de la ville de Devecser et une petite partie du village de Somlóvásárhely, endommageant respectivement 50, 250 et 20 maisons. Cette boue extrêmement alcaline (pH de 13) a provoqué la mort de 10 personnes soit par noyade, soit par brûlures chimiques du corps. Environ 150 personnes atteintes de brûlures chimiques ont été transférées à l'hôpital ou ont reçu des soins médicaux.

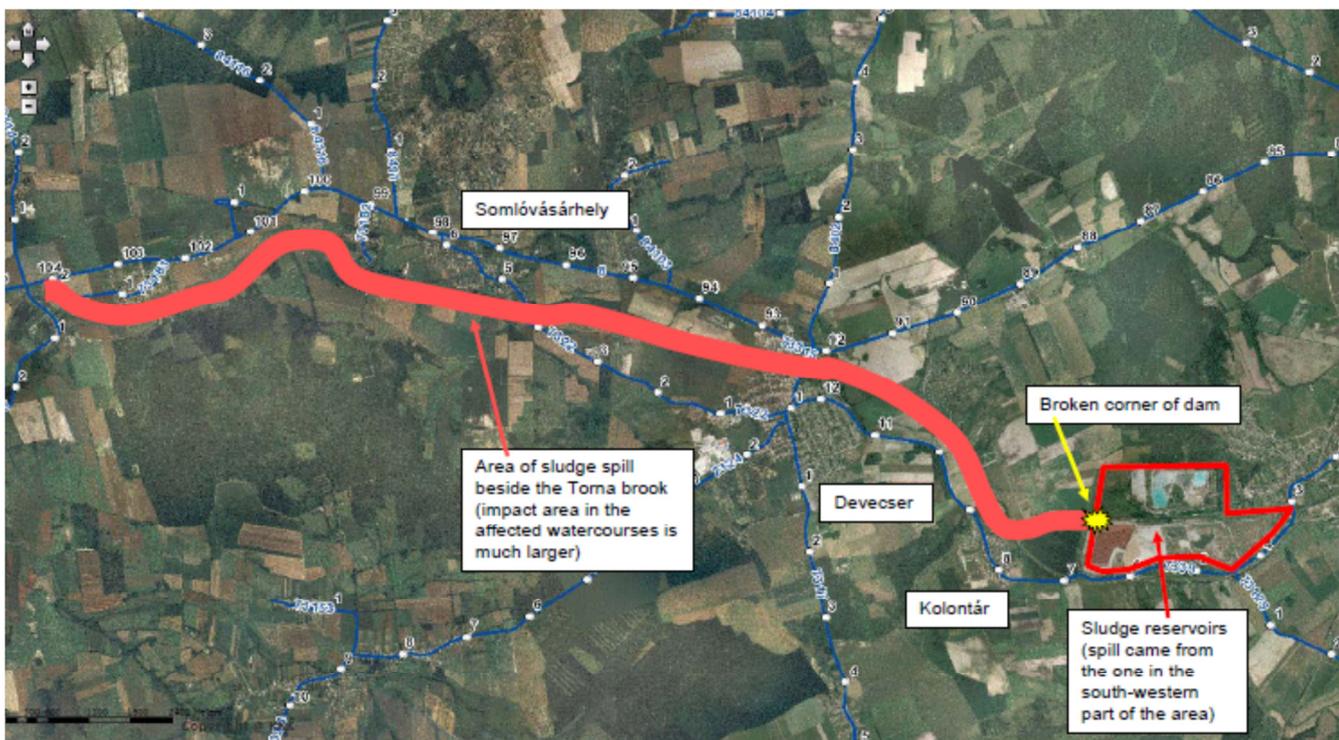
Le flux de boue a emprunté les cours d'eau, provoquant une pollution grave de certaines eaux de surface. Toute vie aquatique a été éliminée du ruisseau Torna ainsi que dans la rivière Marcal en aval du confluent du Torna. Dans les rivières plus importantes comme la Rába et le Danube, le pH n'a grimpé que jusqu'à 9-10 vu la plus forte dilution du liquide alcalin, mais même cette concentration inférieure a suffi pour tuer une partie de la population de poissons. Le liquide alcalin présent dans un autre réservoir a été neutralisé avec des acides un jour après la rupture du réservoir puis lâché dans le Torna afin de diluer l'eau polluée. Cette intervention a permis de réduire l'impact sur la Rába et le Danube. La régénération de ces cours d'eau sera un processus naturel susceptible de prendre des années.

La boue a inondé environ 10 km² de terres. La pollution par les métaux lourds n'était pas importante ; les chiffres de rejet étaient inférieurs aux seuils. Le principal effet sur les sols a été celui de la haute alcalinité, laquelle a éteint toute vie dans la terre végétale.

Il faut régénérer plus de 2 millions de mètres cubes de sols dévastés, raison pour laquelle un échange de sol n'est pas une solution viable. Une méthode en deux étapes a été appliquée : d'abord un traitement acide pour neutraliser le pH du sol, suivi d'une infusion de bactéries pour faire redémarrer l'activité microbologique des sols. Pendant une certaine période, aucune culture pour l'alimentation humaine ou de plantes fourragères pour le bétail ne sera pratiquée.

Après l'inondation, la boue sédimentée a été nettoyée et retirée des surfaces contaminées puis transportée vers des réservoirs.

Les routes n'ont été affectées qu'à une certaine distance de la rupture du réservoir, elles n'ont donc pas été significativement endommagées. Un nettoyage superficiel a toutefois été nécessaire. Le remblai de chemin de fer se trouvait lui plus près du lieu du sinistre et a subi de plus gros dégâts (par endroits, il a été emporté par les boues).



Il est difficile voire impossible de dire dans quelle mesure la météo a contribué au désastre.

Ce dernier s'est produit après une phase de temps inhabituellement pluvieux. Les conditions météorologiques ne sont aucunement la cause de l'accident. Quoiqu'il en soit, les réservoirs contenant des substances dangereuses (en quantité aussi élevée et si près de lotissements) auraient dû être conçus, entretenus et exploités d'une façon rendant impossible un événement aussi funeste. Il est probable toutefois que les conditions météorologiques aient aggravé les conséquences. Les pluies abondantes de 2010 ont du ajouter une contrainte à la portance du réservoir, donc aux couches d'argile et de sol sous-jacentes.

Cet exemple montre bien toute la dangerosité dont une technologie industrielle peut s'assortir lorsqu'elle n'est pas flanquée de mesures protectrices suffisantes aussi dans des conditions météo extrêmes.

1.6.2.a

Modélisation du risque de glissements de terrain	Projet de R&D Norvège
<p>Défi relevé lié au changement climatique :</p> <p>Outil d'évaluation des risques Il permet d'évaluer le risque de glissements de terrain et d'avalanches indépendamment de l'historique de glissements et d'avalanches.</p>	
<p>Objectif du travail :</p> <p>Développer une façon de décrire le risque émanant des glissements de terrain et avalanches qui ne soit pas basée sur des événements historiques mais sur les analyses de facteurs physiques qui affectent la probabilité que des glissements de terrain et des avalanches se produisent, et sur des facteurs qui décrivent les conséquences possibles. Des facteurs climatiques peuvent être pris en compte. Cette modélisation se trouve encore en phase d'étude.</p>	
<p>Bénéfique aux domaines suivants :</p> <p>Comparaison des risques de glissement de terrain et d'avalanche, avec inclusion de facteurs climatiques dans l'évaluation des risques.</p>	
<p>Calendrier :</p> <p>Il tient compte des projections climatiques aussi lointaines qu'on le désire, par exemple en accroissant le niveau de précipitations.</p>	
<p>Résumé :</p> <p>Dans le modèle de risques, il est possible d'inclure tous les types de glissements de terrain et d'avalanches en développant une arborescence de défauts où des facteurs décrivent le déclenchement de glissements de terrain et d'avalanches. Les arborescences de défauts comprennent des facteurs décrivant le terrain exposé, des paramètres géologiques, des conditions météo et d'autres éléments. Tous ces facteurs reçoivent une notation et une pondération contribuant au chiffre de risque calculé pour un tronçon routier particulier.</p> <p>Les conséquences sont exprimées en rapport avec la densité de la circulation et avec les conséquences pour les usagers de la route.</p>	
<p>Publications :</p> <p>Heidi Bjordal et Jan Otto Larsen, Norwegian Public Roads Administration (NPRA), Oslo, Norvège : <i>Avalanche risk in a changing climate - Development of a landslide and avalanche risk model</i> (Risque d'avalanche dans un climat changeant – Développement d'un modèle de risques de glissement de terrain et d'avalanche), Atelier international de Davos sur les sciences de la neige (2009).</p> <p>Deux rapports disponibles en norvégien à l'adresse www.vegvesen.no/klimaogtransport</p>	
<p>Contact : Heidi Bjordal, NPRA, heibjo@vegvesen.no</p>	

Des températures hivernales plus élevées réduiront les chutes de neige dans les régions de basse altitude et les côtes. Dans certaines zones, une réduction de la fréquence des avalanches de neige est déjà observable. D'un autre côté, l'intensification des précipitations et la fréquence croissante des tempêtes hausseront la probabilité d'avalanches neigeuses en zones montagneuses de plus haute altitude, là où les basses températures persisteront. Ces effets pourraient aussi déclencher des avalanches tout en accroissant la masse/le volume et en donnant des parcours de descente plus longs que ceux déjà enregistrés.

Afin d'améliorer la base sur laquelle étudier comment les changements de temps affecteront le risque de glissement de terrain et d'avalanche, il a été décidé de développer un modèle de risque de glissement de terrain et d'avalanche. L'une des conditions présidant au développement du modèle consistait à aller au-delà des statistiques et à créer un outil utilisable indépendamment de l'endroit où les glissements de terrain, chutes de rochers et avalanches se sont jusqu'à présent produits. Ceci donnera un modèle résistant mieux aux variations climatiques qui pourraient accroître les risques dans certaines zones et les réduire dans d'autres. Dans le modèle de risques, les glissements de terrain et les avalanches sont décrits par des facteurs affectant leur probabilité.



Ces facteurs représentent le terrain exposé, les conditions géologiques, la météo et d'autres paramètres. Chacun d'eux reçoit une note et un facteur de pondération qui concourent au chiffre total de risque sur un tronçon routier particulier. Les conséquences sont décrites de façon similaire avec des facteurs représentant la densité du trafic, celle du trafic poids lourds, la présence de piétons, l'importance de la route et la durée du nouveau passage par une route de contournement. Ce modèle de risque servira d'abord à comparer le niveau de risque de différents tronçons routiers. Il servira par la suite à développer une proposition de classification de la probabilité et des conséquences. Enfin et pour évaluer le changement climatique, le modèle pourra servir à examiner les changements, intervenus dans le risque, imputables aux variations climatiques.

Pour le moment, le modèle est testé sur 8 à 10 tronçons routiers exposés aux glissements de terrain et avalanches dans différentes zones géographiques et climatiques, afin de voir comment il reflète les différences, et de déterminer s'il faut poursuivre les travaux sur le modèle de calcul.

1.6.2.b

Système d'alerte aux glissements de terrain et aux avalanches.	Projet de R&D Norvège
Défi relevé lié au changement climatique : Un nombre croissant d'incidents liés à la météo et au climat requiert une meilleure collaboration et un plus grand effort pour éviter qu'il y ait des victimes.	
Objectif du travail : La Direction des ressources en eau et en énergie (NVE) met en place des services avertissant du risque d'avalanches au niveau régional, dans le but de réduire le nombre d'accidents, de victimes et de dégâts provoqués par les avalanches sur les routes, les voies ferrées et près des bâtiments. Un service complet sera mis en place avant l'hiver 2012-2013 ; il est basé sur une période d'essai continue entre 2010 et fin 2012.	
Bénéfique aux domaines suivants : Tourisme, routes et voies ferrées, sécurité publique.	
Calendrier : Données dynamiques / Situation actuelle. Bénéfiques à l'adaptation aux changements climatiques.	
Résumé : Les groupes ciblés par l'enquête sont les gens voyageant sur terrain d'avalanche, les municipalités, la police, les groupes de sauvetage, l'armée, les stations de ski et les autorités s'occupant des transports. L'Institut météorologique de Norvège (www.met.no) va émettre des bulletins d'avalanche au nom de la NVE. Le bulletin sera préparé moyennant une coopération entre la NVE, met.no , l'Administration publique des routes norvégiennes, l'Administration nationale des chemins de fer ainsi qu'avec des entreprises consultantes. Les partenaires contribuent au projet en partageant des données, des méthodes et des heures de travail. Deux portails norvégiens en chantier sur le Web, Vegvær (partage des données météorologiques) et FøreVar (données d'incidents et cartes des alertes), sont basés sur une démarche de partage libre des données. Les observations provenant d'observateurs rémunérés et de bénévoles seront partagées entre partenaires collaborant, et tous les enregistrements vont contribuer à une meilleure prévision. Ce projet de R&D s'inspire de méthodes appliquées en Suisse, au Canada et aux USA. En Norvège toutefois, il a ceci de spécifique que les régions couvertes par ce service sont vastes et difficiles à évaluer. Le petit nombre de stations météo au kilomètre carré requiert de faire participer des observateurs additionnels et une coopération à grande échelle.	
Publications : Pour un supplément d'informations sur les alertes aux avalanches, voir le site www.nve.no/avalanche.alert .	
Contact : Administration norvégienne des routes publiques, Tore Humstad, tohums@vegvesen.no	

Observations ponctuelles



1) Observations de l'activité des avalanches et évaluations des risques pratiquées depuis une certaine distance (c'est-à-dire depuis des routes/villages), par les entrepreneurs de travaux routiers, compagnies de chemins de fer, municipalités et par des observateurs locaux



2) Mesures de la neige et observation du temps, pratiqués par :
a) Les habitants locaux tels que les fermiers, gardiens de parcs et les employés des municipalités, ou par
b) Un réseau coordonné de stations météorologiques officielles et automatiques propriétés de l'Institut météorologique, des administrations routière et ferroviaire



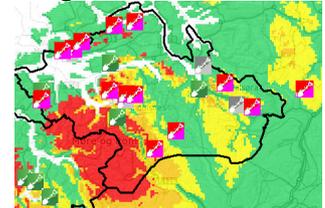
3) Tests de stabilité du manteau neigeux sur terrain d'avalanche, pratiqués par des experts en avalanches mais aussi par des guides de montagne, skieurs, et gardiens de parc ayant reçu une formation de base.

Modèles et outils

Modèles de prévisions météorologiques



Grilles d'observation du temps, avec seuils de danger



Système d'enregistrement en ligne (www.nve.no/regobs)

Groupe d'experts en avalanches

Prévision et alerte régionales

Skredvarsel for regional testvarsling Romsdalen-Trollheimen

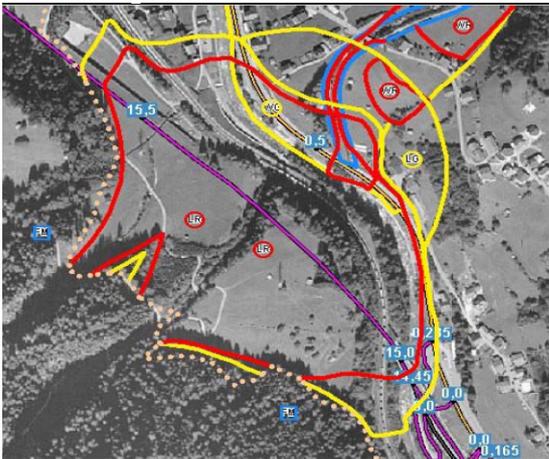


1.6.2.c

Planification des zones dangereuses	Pratique actuelle Autriche
<p>Domaine d'application : En Autriche le long des grandes rivières, dans leurs environs, dans les cours d'eau exposés aux coulées de débris et dans les zones à risques d'avalanche.</p>	
<p>Bénéfique aux domaines suivants : Combinaison optimale d'une protection active et passive contre les risques naturels, avec prise en compte du contexte économique. Outil servant à trouver le tracé convenant le mieux à la nouvelle infrastructure relativement aux risques naturels.</p>	
<p>Aspects du changement climatique inclus : L'évaluation des risques naturels tient compte de leurs évolutions probables imputables au changement climatique (diminution par exemple de la stabilité des rochers de montagne provoquée par la fonte du permafrost). L'horizon temporel est suffisamment long pour couvrir également les événements rares et très graves.</p>	
<p>Calendrier : Les risques naturels selon une perspective à long terme (jusqu'à 150 ans) sont pris en compte.</p>	
<p>Résumé : Le long des rivières importantes, dans leurs environs, le long des cours d'eau exposés au coulées de débris, de chutes de rochers et d'avalanches, là où il n'est pas possible de déplacer les lotissements et d'autres formes d'utilisation des sols dans des zones en majorité non exposées, on tente de protéger ces zones avec un dispositif technique adéquat protégeant contre les risques naturels, et en même temps de prendre ces zones dangereuses en compte pendant la phase de planification. La planification des zones à risques vise à combiner de façon optimale une protection active et passive contre les risques naturels en faisant entrer le contexte économique en ligne de compte. Les plans des zones à risque sont développés d'une façon telle que le niveau de risques soit apparent en chaque endroit et que ses limites soient clairement déterminées, qu'au-delà de cette limite certaines formes d'utilisation des terres ne soient plus justifiables (il s'agit principalement de la construction de bâtiments où des gens séjournent en permanence ou temporairement). La planification est évaluée et adaptée après chaque événement important et selon une périodicité pluriannuelle régulière. Les mesures de protection sont planifiées sur la base de plans des zones à risques. Elles peuvent être subdivisées en mesures permanentes et temporaires.</p>	
<p>Publications :</p>	
<p>Contact : Klaus Gspan, ASFINAG klaus.gspan@asfinag.at</p>	

En Autriche, la planification des zones à risques a commencé au milieu des années 1970. C'est un institut ministériel autrichien qui s'en charge et fournit au public une vue générale des risques possibles (chutes de rochers, glissements de terrain, avalanches et inondations) assortie d'un degré de risque. La planification est évaluée et adaptée après chaque événement majeur et selon une périodicité pluriannuelle régulière. En termes de planification future, non seulement entrent en ligne de compte comme par le passé les événements déjà très fréquemment survenus mais aussi maintenant ceux moins fréquents (environ une fois tous les 150 ans) mais plus graves. Le principal critère conduisant à prendre un événement en compte est la menace fondamentale qu'il fait peser sur la vie et les biens (« catastrophe » ou « désastre » sont les termes communément utilisés).

Des plans des zones à risque sont développés de telle manière que le niveau de risques soit apparent en chaque endroit et que ses limites soient clairement déterminées, qu'au-delà de cette limite certaines formes d'utilisation des terres ne soient plus justifiables (il s'agit principalement de la construction de bâtiments où des gens séjournent en permanence ou temporairement).



Les zones à risques sont marquées en cinq couleurs différentes. Voici les zones les plus pertinentes :

Zone rouge : cette zone est menacée par des risques naturels à un point tel qu'une utilisation permanente (habitat ou circulation) est impossible ou possible mais au prix d'investissements de haut niveau.

Zone jaune : cette zone est menacée par des cours d'eau exposés à des coulées de débris et des avalanches à un point tel qu'il compromet une utilisation permanente (habitat ou circulation).

Zones brunes facultatives : il s'agit des zones où des risques naturels existent en raison de mouvements de masses (chutes de rochers et de pierres, coulées de boue).

Exemple de planification d'une zone à risque. Les cartes des zones à risques sont dressées au 1:5 000^e. Source : www.tiris.at (système de géo-information basé sur le Web, pour la province autrichienne du Tyrol).

Les mesures de protection sont planifiées sur la base de plans des zones à risques. Elles peuvent être subdivisées en mesures permanentes et temporaires. Nature possible des mesures permanentes :

- Mesures techniques empêchant les glissements de terrain, chutes de rochers ou avalanches dans la zone même de leur déclenchement, ou empêchant d'endommager l'infrastructure ;
- Mesures de protection de la forêt comprenant la phase d'entretien, de soins et de récupération des forêts assemblées et mixtes, et
- Mesures de planification spatiale (« planification des zones à risques »).

Exemples de mesures temporaires : avertissements, barrages routiers, évacuation et déclenchement artificiel d'avalanches.

Responsable de la planification et de la construction des grands axes autrichiens, l'ASFINAG étudie aussi la planification des zones à risque lorsqu'elle planifie le tracé d'une nouvelle route. Pendant la phase de planification, une simulation détaillée de tous les risques probables dans la zone pertinente est accomplie. Les nouvelles simulations sont basées sur un modèle de paysage aujourd'hui créé sur la base de balayages laser.

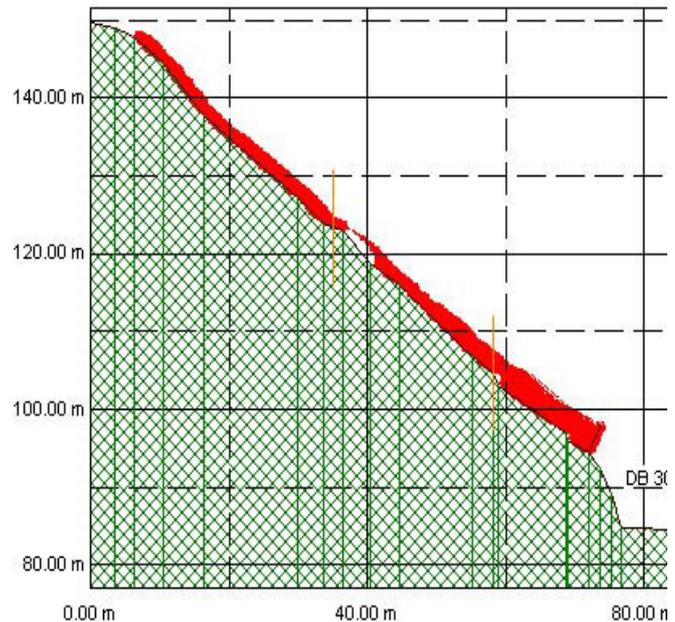
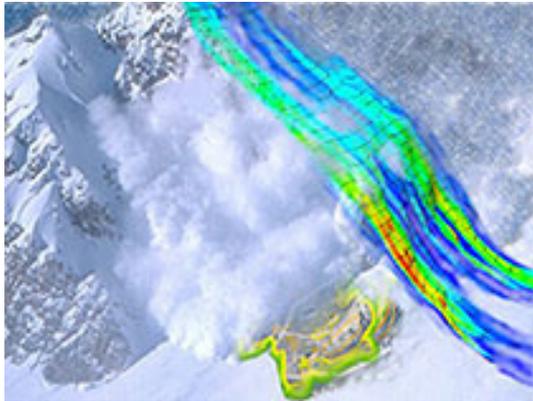
1.6.2.d

Simulation et pronostic des risques naturels	Pratiques courantes et R&D Autriche
Domaine d'application : Monde entier. Des exemples en provenance d'Autriche sont donnés.	
Bénéfique aux domaines suivants : Le recours aux modèles de simulation contribue significativement à améliorer les mesures de protection et le pronostic d'événements dangereux.	
Aspects du changement climatique inclus : Des projets de R&D étudient des facteurs du changement climatique et leur influence sur les risques naturels.	
Calendrier :	
Résumé : Le recours aux modèles de simulation contribue significativement à améliorer les mesures de protection et le pronostic d'événements dangereux. Un logiciel fiable est présenté. Un pronostic et un programme de documentation autrichiens sont présentés. Les projets de R&D GALAHAD, RIMES et PARAmount sont brièvement décrits.	
Publications :	
Contact : Klaus Gspan, ASFINAG klaus.gspan@asfinag.at	

Simulation

L'utilisation en général de modèles de simulation pour les avalanches et en particulier de **SamosAT** contribue significativement à améliorer les mesures de protection. En plus des méthodes conventionnelles (chroniques, etc.), ils servent à planifier les zones dangereuses. SamosAT (successeur de SAMOS99 qui a été essayé et testé) permet de calculer les avalanches en trois dimensions.

Pour modéliser les coulées de boues et de débris ainsi que les mouvements de masses, l'Université de Vienne utilise avec succès les programmes PFC2D et PFC3D (Particle Flow Code) de simulation 3D d'éléments distincts.



À gauche : simulation d'avalanche avec SamosAT

À droite : résultat d'une simulation avec le programme « Chute de rocher ». La zone rouge montre la zone d'influence stoppée par un système de protection (filet) pour empêcher les rochers de tomber sur la route (B 416).

Pronostic

Système de diagnostic avalanche (Avalanche Diagnosis System – ADS)

ADS aide les décideurs à évaluer le risque d'avalanches. Des méthodes mathématiques servent à analyser les données météo et sur le manteau neigeux, et à calculer le risque d'avalanches. Toutes les informations importantes dont la météo, la couverture neigeuse, les avalanches et le risque calculé d'avalanches convergent dans l'ADS et s'affichent en clair.

Les données actuelles disponibles sous forme numérique peuvent être automatiquement importées dans l'ADS. Au démarrage du programme, la situation actuelle et les évolutions des jours passés s'affichent. Ensuite, l'utilisateur peut saisir les données de couverture neigeuse impossibles à relever automatiquement, et documenter les événements. L'interprétation de la décision et les informations additionnelles sont également stockées dans la base de données.

Base de données autrichienne des avalanches destructrices

La base de données sur les avalanches destructrices enregistre celles qui ont provoqué des victimes ou des dégâts matériels. Ceci permet de différencier les avalanches-catastrophes des avalanches dites « accidentelles » ou « avalanches impliquant des touristes ». Les avalanches-catastrophes peuvent endommager des zones urbaines (résidentielles ou bâtiments commerciaux et industriels) et l'infrastructure de transport. Les « avalanches accidentelles » ou « avalanches impliquant des touristes » se produisent lorsque des skieurs et des alpinistes les subissent sur terrain découvert. La base de données autrichienne des avalanches sert de base à virtuellement l'ensemble du domaine de recherche, et aussi de moyen d'orientation quant aux mesures de lutte active et passive composant la gestion des risques naturels et des crises.

Projets de R&D

Le projet communautaire de R&D GALAHAD (Techniques avancées de surveillance à distance destinées à atténuer les risques émanant des glaciers, des avalanches et des glissements de terrain) est un projet de recherche spécifiquement ciblé sous l'ombrelle de FP6-2004-Global-3. GALAHAD s'attache à atténuer les risques liés aux glissements de terrain, aux avalanches et aux glaciers, en développant des techniques de surveillance avancées et en perfectionnant les méthodes et outils de prévision. Le projet GALAHAD vise à développer des fonctionnalités innovantes et fondamentales à conférer aux techniques de surveillance à distance, à savoir l'interférométrie radar SAR à synthèse d'ouverture basée au sol et dérivée d'applications satellitaires, plus le balayage laser terrestre pour améliorer la fiabilité, la précision et l'utilité en opérations des mesures et la capacité de prévision offerte par les outils d'interprétation.

RIMES : Gestion des risques liés au changement climatique et des risques naturels
Changement climatique et gestion des risques naturels dans le secteur énergétique

Objectifs à atteindre :

- Identifier les facteurs du changement climatique et leur influence sur les risques naturels et
- Développer une méthode standardisée de gestion intégrée des risques dans le secteur énergétique, y compris un potentiel d'analyse des dégâts/de la vulnérabilité du système et une comparaison des mesures de protection possibles (permanentes et temporaires)

PARAMount (« imProved Accessibility: Reliability and security of Alpine transport infrastructure related to mountainous hazards in a changing climate » (Accessibilité améliorée : fiabilité et sécurité de l'infrastructure de transport alpine référées aux risques de montagne dans un climat changeant)) :

Ce projet de recherche vise à améliorer les stratégies de gestion des risques pour protéger l'infrastructure en adaptant les outils et pratiques existants au secteur des transports (coulées de débris, avalanches, chutes de rochers).

1.6.3.a

<p>Chaussées à mélange bitumineux et hautes températures : l'expérience espagnole dans les années 1970</p>	<p>Pratique actuelle Espagne</p>
<p>Domaine d'application : Chaussées routières pour régions exposées à de fortes chaleurs.</p>	
<p>Bénéfique aux domaines suivants : Gestion des chaussées lorsque les mélanges d'enrobés bitumineux antérieurement utilisés souffrent, en raison de la chaleur, d'un orniéage excessif.</p>	
<p>Aspects du changement climatique inclus : Adaptation à des températures extrêmes plus fréquentes et plus élevées.</p>	
<p>Calendrier : Différences régionales. Il s'agit déjà d'un challenge pour l'Europe du nord.</p>	
<p>Résumé :</p> <p>Dans les années 1970, l'Espagne utilisait déjà une technique établie et à maturité, celle des enrobés bitumineux à chaud. Graduellement, les chaussées ordinaires ont cessé d'être du macadam compacté à sec, enrobés ou non de gravillons. Elles ont été remplacées par des chaussées consistant en des mélanges bitumineux sur couches à bases d'agrégats d'une granulométrie continue ou, là où le trafic poids lourds était plus intense, par des chaussées posées sur du grave-ciment. Cette option a été particulièrement développée depuis la crise pétrolière de 1973.</p> <p>Toutefois, un problème inattendu a commencé à se manifester avec les chaussées à enrobés bitumineux, et avec une fréquence préoccupante : l'orniéage. Une fois le problème apparu, l'ARN espagnole a engagé des efforts considérables pour le résoudre vu qu'il affectait un kilométrage important du réseau routier national.</p> <p>Pour cette raison, il fallait procéder à une étude systématique des enrobés bitumineux utilisés et de leurs paramètres de formulation. Le problème fut résolu en 1975 en modifiant les spécifications des enrobés, ce qui incluait entre autres changements de recourir à des granulométries d'agrégats craignant moins les variations des paramètres impliqués, de restreindre l'utilisation de liant bitumineux, de recourir à des bitumes d'asphalte plus durs, de hausser les pourcentages de matériaux de charge ou les exigences visant les agrégats pour accroître la friction interne.</p> <p>Toutefois, la résolution du problème des ornières a eu quelques effets collatéraux qui ont persisté jusqu'au tournant du siècle. Les mélanges résistants à l'orniéage se sont avérés trop rigides, moins résistants à la fatigue et, surtout, ils se sont avérés vieillir relativement vite. En Espagne, la durabilité des enrobés bitumineux s'est avérée plus courte que celle des enrobés utilisés dans d'autres pays. Depuis les changements de spécifications en 1975 et au cours des 30 années qui ont suivi, il a été possible d'identifier les chaussées d'asphalte espagnoles à l'œil nu car elles diffèrent de celles d'autres pays non seulement par le grand nombre de fissures mais aussi et surtout par leur teinte plus pâle vu qu'elles contiennent moins de bitume d'asphalte que leurs homologues dans d'autres pays européens.</p>	
<p>Publications : <i>Los pavimentos en las carreteras españolas del siglo XX (Les chaussées des routes espagnoles au 20^e siècle – en espagnol)</i>, M. A. del Val, Revista de Obras Públicas (Revue de travaux publics), n° 3,482, novembre 2007.</p>	
<p>Contact :</p>	

Il faudrait noter que la technologie utilisée en Espagne ces années-là provenait de l'Asphalt Institute américain. Toutefois, les conditions régnant spécifiquement en Espagne signifiaient qu'il aurait fallu adapter cette technologie importée avant de l'appliquer aux routes espagnoles. Ces conditions comprennent en particulier les hautes températures atteintes l'été en Espagne, associées à des traits spécifiques au réseau routier du pays :

Déclivités croissantes et

- Longs tronçons routiers escarpés ;
- Véhicules présentant de fortes charges à l'essieu (13 tonnes à l'essieu) ;
- Pression des pneus dépassant celles autorisées dans d'autres pays ; et
- Augmentations importantes du trafic poids lourds.

Dans certains cas, la présence dans la chaussée de couches de base traitées avec du béton créent un effet d'enclume qui accélère l'orniérage.

1.6.3.b

Évaluer le coût des impacts, sur l'infrastructure de transport, des vagues de chaleur liées au changement climatique	Projet de R&D France
Défi relevé lié au changement climatique : Hausse de la température, en particulier températures estivales plus élevées	
Objectif du travail : Quantifier les coûts (à l'ordre de grandeur près) des températures élevées sur le réseau de transport.	
Bénéfique aux domaines suivants : Gestion des risques, pour l'infrastructure, liés au changement climatique Étudier s'il est nécessaire d'ajuster les règles de conception des chaussées	
Calendrier : Coût estimé pour maintenant et à l'horizon 2100	
Résumé : Une évaluation des dommages imputables aux vagues de chaleur a été réalisée en 2008.	
Publications : <i>Source : Rapport du groupe de travail interministériel – Groupe Infrastructures de transport et cadre bâti. Rapport de la seconde phase. Partie III – Rapports des groupes sectoriels (en français) Paris 2009.</i>	
Contact : andre.leuxe@developpement-durable.gouv.fr	

Vu la disponibilité de données, les débats se concentrent sur les grands réseaux infrastructurels nationaux de la métropole gérés par l'État. De la sorte, 1,2 % seulement de la longueur totale du réseau routier français a été pris en compte ; ce tronçon représente plus d'un quart de la circulation totale sur les routes françaises.

La hausse de la température moyenne fait perdre sa rigidité au matériau bitumineux et réduit sa résistance à la fatigue. Lorsque la température moyenne augmente et que les vagues de chaleur s'allongent, les formes de dégradation observées sont le fluage et les coulées. Une fissuration par le fond due au séchage du sol a également été observée.

En France les couches de recouvrement des routes sont de conception uniforme (elles sont similaires au nord et au sud du pays). La couche de surface diffère toutefois et a besoin d'être adaptée à différents types de climats. Le changement climatique devrait en tout cas conduire à surclassifier la couche superficielle afin d'anticiper les conséquences de vagues de chaleur plus fréquentes. L'impact économique du changement de formulation ne semble pas significatif.

Le changement climatique pourrait avoir un effet négligeable sur les routes sauf sur celles empruntées par 300 à 750 camions par jour. L'altitude est importante elle aussi, car le gel joue dans la chaussée un rôle au moins aussi important que les hautes températures.

Selon le groupe de travail expert, les perturbations observées en France à la suite de la vague de chaleur de 2003 ont été trop faibles et les incertitudes quant à leurs causes trop grandes pour justifier des changements dans les spécifications visant la construction et l'entretien des chaussées. Toutefois, les effets du sol séchant (ceux en argile notamment), en cas de changement climatique et de vagues de chaleur répétitives, perturberaient l'entretien des chaussées, et requerraient des réparations d'un ordre de grandeur complètement différent de celui observé en 2003. On manque d'expérience et de données sur un seuil de température extrême en termes de conséquences pour la structure des routes à fort trafic poids lourds, sur les effets répétitifs des vagues de chaleur ou sur une succession de périodes excessivement chaudes.

Une estimation du coût moyen des routes (10 M €/km) et du coût de réhabilitation (250 000 €/km, suivant l'état du réseau) est fournie. Le coût historique moyen est le coût de reconstruction, mais il y a de fortes fluctuations de coûts entre régions géographiques différemment exposées à des climats chauds et au trafic poids lourds. L'estimation du coût des vagues de chaleur, basée sur un pourcentage dérivé du cas britannique (15 % du budget d'entretien annuel pour réparer les dégâts dus aux vagues de chaleur) conduit à une plage comprise entre 64 et 70M € par année à vagues de chaleur, et à des frais généraux maximaux cumulés atteignant, en 2100, entre 1,7 et 3,5 Md€ (hypothèses du groupe de travail relativement aux vagues de chaleur répétitives). Comme mesure de précaution prenant en compte les effets futurs de la sécheresse sur les structures des sols, il est possible que cet agrégat soit multiplié par deux ou trois.

1.6.4.a

Exigences visant la performance de la chaussée et la rectification suite au changement climatique [P2R2C2]	Projet de R&D ERA-NET ROAD
Défi relevé lié au changement climatique : Détérioration des chaussées routières due au changement climatique.	
Objectif du travail : <ul style="list-style-type: none"> • Étudier, depuis les Alpes en direction du nord, les différences possibles d'humidité (d'eau) dans les chaussées des routes européennes en conséquence du changement climatique ; • Estimer les conséquences possibles pour le comportement de la chaussée et celui du matériau de la couche de forme, et pour l'ensemble des besoins afférents à la chaussée ; • Accomplir cette étude pour un ensemble de types de chaussées représentatives et de zones climatiques représentatives ; • Évaluer les incertitudes pour permettre d'évaluer les risques/la vulnérabilité ; • Définir des options permettant de réagir aux changements, et • Accomplir des analyses coûts-bénéfices pour permettre aux propriétaires de route de déterminer les options les mieux adaptées à leurs situations. 	
Bénéfique aux domaines suivants : Concepteurs de chaussées et ceux qui les entretiennent.	
Calendrier : Le changement anticipé du climat en Europe sur une période de 110 ans, entre le climat moyen de 1960-1990 et le climat moyen de 2070 de 2100, a été estimé en recourant à deux scénarios (de rejets), A2 et B2, et à deux démarches informatiques.	
Résumé : Des études bibliographiques, évaluations des matériaux, conceptions des chaussées sur ordinateur et calculs des flux d'infiltration ont été réalisés pour déterminer les effets possibles des changements d'état de l'eau et de la température sur des constructions de chaussées typiques. L'augmentation de la température et des précipitations va provoquer un orniérage, un désenrobage ainsi qu'une fissuration partant du sommet de la chaussée. La diminution du gel aura des effets bénéfiques sauf sur les routes où l'on compte sur le gel pour conférer de la portance. Dans les zones de basse altitude et côtières, la montée des nappes phréatiques peut constituer un défi. Réactions nécessaires : modifier les exigences quant aux matériaux et les critères de conception, prévoir une capacité de drainage suffisante, des systèmes autonettoyants et faciles à inspecter, et stabiliser les chaussées non scellées.	

Publications :

Neuf rapports de projets à télécharger de cette adresse :

<http://www.nottingham.ac.uk/~evzard/P2R2C2>

Contact :

Professeur Andrew Dawson, coordinateur de projet, Université de Nottingham, Royaume-Uni.

Le projet a été accompli en combinant un examen de la documentation, une évaluation en laboratoire des matériaux, des études sur ordinateur de la performance structurelle et hydrologique offerte par la chaussée, et en développant des recommandations transposables, par les propriétaires nationaux de routes, en spécifications et guides de conception propres.

Le changement anticipé du climat en Europe sur une période de 110 ans, entre le climat moyen de 1960-1990 et le climat moyen de 2070-2100, a été estimé en recourant à deux scénarios (de rejets), A2 et B2, et à deux démarches informatiques. L'impact possible des changements climatiques qui en résultent a ensuite été estimé pour un ensemble de chaussées et une infrastructure liée à la chaussée situées au nord des Alpes afin de déterminer les conséquences pour les propriétaires de routes.

Les prédictions relatives au changement climatique ont révélé de considérables variations locales, mais aussi annoncé les principales manifestations du changement climatique dans la région étudiée. En voici le résumé : des étés plus chauds sur la lisière sud de la zone étudiée, des hivers plus courts loin dans le grand nord, avec des périodes plus longues, dans une grande partie des pays nordiques et adjacents, pendant lesquelles la surface de la chaussée ne gèle pas. De très fortes augmentations de la pluviosité, de l'ordre de 20 à 30 %, sont anticipées sur les zones côtières atlantiques de la Norvège et de l'Écosse, proportionnellement aux niveaux de pluviosité actuels. En outre, des précipitations accrues dans les Alpes et une pluviosité plus intense sont attendues dans la plupart des zones.

Les **effets** possibles attendus **sur les chaussées sont les suivants :**

- Dans les zones où la pluviosité reste inchangée, les matériaux de couche de forme et les couches d'agrégats devraient en moyenne être plus secs, ce qui constitue une certaine amélioration. Même dans les zones plus humides, l'intensité accrue de la pluviosité est susceptible de se traduire généralement par un plus fort ruissellement, donc de ne pas provoquer de dégâts.
- La hausse de la température et de la pluviosité constituera un défi pour les asphaltes. Il faut s'attendre à ce que des matériaux soient moins durs, donc plus enclins à l'orniérage et au désenrobage. Une fissuration descendante accrue, partant du sommet de la chaussée, est hautement probable.
- La longueur de la période de gel va diminuer loin dans le nord et le dégel printanier sera plus court, fait synonyme à la fois de problèmes et d'avantages. Sur une grande partie du territoire nordique et en direction du sud, les chaussées cesseront complètement de geler certaines années. Pendant la saison hivernale, les périodes au cours desquelles les couches superficielles de la chaussée ne gèleront pas vont devenir courantes.
- Dans les régions littorales et de basse altitude, les nappes phréatiques risquent de monter en raison d'endroits où les eaux d'inondation s'accumulent, ou en raison de la hausse des niveaux marins.

Toutefois, le cycle de vie de la chaussée est bien plus court que la période au cours de laquelle le changement climatique influera de façon statistiquement fiable sur la performance de la chaussée. Ceci permettra de l'adapter graduellement au changement climatique lors de campagnes futures à grande échelle de réhabilitation de la chaussée.

Réactions requises

L'équipe de recherche s'est rendue compte que les vastes changements climatiques anticipés requerraient des réactions importantes et bien pesées. Ceci n'empêche pas que ces adaptations puissent être accomplies de façon économique. Elles consistent en ceci :

- Formulations routinières des matériaux, utilisables lors du prochain chantier de reconstruction ;
- Adoption de nouveaux critères de conception visant la température et la périodicité des crues de tempête ;
- Obtenir suffisamment de systèmes de drainage autonettoyants et faciles à inspecter ;
- Refaire la surface de « chaussées perpétuelles » avec des matériaux résistant mieux à l'orniérage et rebelles au désenrobage, et
- Stabilisation de nombreuses chaussées non scellées dans le centre et le sud des pays nordiques, ou les recouvrir de couches liées.

Toutefois, le fait de se concentrer sur ces questions techniques ne constituera probablement ni un problème important, ni un vaste challenge économique, comparé à la réponse que les ingénieurs routiers devront nécessairement apporter aux plus vastes impacts sociaux, économiques, techniques et politiques sur les chaussées au cours des 110 prochaines années, et dont le contenu relève de la conjecture.

1.6.4.b

ROADEX « Faire de l'accessibilité une réalité »	Projet de R&D Initiative européenne
Défi relevé lié au changement climatique : Focalisation sur les problématiques générales de gestion de l'état de la route sous climats rudes.	
Objectif du travail : Échange et coopération techniques entre districts routiers situés sur la périphérie nord de l'Europe. Développement et démonstration de technologies nouvelles.	
Bénéfique aux domaines suivants : Toutes les administrations routières	
Calendrier : Cycle continu	
Résumé : Le projet ROADDEX est cofinancé par le Northern Periphery Programme (Programme pour la périphérie nord). Depuis 1998, quatre projets successifs se sont attelés aux problèmes spécifiques de routes desservant des collectivités exposées à des climats et conditions rudes, et ont produit des extraits spécifiquement conçus pour améliorer l'état des routes rurales dans la périphérie nord de l'Europe. Bien non ciblé à l'origine sur le changement climatique, le projet porte englobe différents défis liés au changement climatique. ROADDEX IV comprend un sous-projet s'occupant du changement climatique. Ce sous-projet inclut aussi l'étude des meilleures pratiques. Le rapport du projet inclura une check-list complète des risques et actions.	
Publications : Plusieurs rapports et modules de e-learning en ligne, voir www.roadex.org	
Contact : Responsable du sous-projet sur le changement climatique : Ron Munro, Munroconsult Ltd, Park Terrace, Brora, KW9 6ND, Écosse Représentant finlandais dans le projet : Eira Järviluoma, Centre de développement économique, des transports et de l'environnement, Laponie, Finlande	

Projet pilote ROADDEX, 1998-2001

Le projet ROADDEX a démarré en 1998 sous forme de projet pilote visant à « Créer un échange et une coopération techniques efficaces entre les districts routiers de la périphérie nord-européenne ».

Ce projet a réuni le réseau de partenaires ROADDEX en provenance de Finlande septentrionale, de Norvège, d'Écosse et de Suède, et lancé cette collaboration. Deux sous-projets ont été choisis pour prouver que partager des informations relatives aux routes pouvait fonctionner dans toute la région périphérique nord. Il s'agit du :

- Sous-projet A, Gestion de l'état de la route, et
- Sous-projet A, Entretien hivernal.

Principaux objectifs de ces deux sous-projets :

- Minimiser les différences entre normes d'entretien hivernal des différents pays voisins ;
- Réduire le nombre de retards engendrés sur les routes de la périphérie nord par les restrictions de tonnage ;
- Réduire l'impact environnemental et
- Accroître l'accessibilité pour les usagers de la route.

Le projet s'est spécialement focalisé sur les « routes à faible circulation », c'est-à-dire les routes dont le trafic est inférieur à 500 véhicules par jour. Le succès du projet pilote a conduit les partenaires à solliciter un second projet, « ROADEX II ».

ROADEX II », 2002-2005

Ce projet visait à développer des moyens de parvenir à des « pratiques interactives et innovantes de gestion des routes à faible circulation ».

Le projet a lancé une recherche fondamentale sur les problèmes spécifiques de routes desservant des collectivités exposées à des climats et conditions rudes, et produit des extraits spécifiquement conçus pour améliorer l'état des routes rurales dans la périphérie nord de l'Europe :

- Nouvelles techniques de surveillance, nouvelles méthodes d'étude et nouvelles analyses pour identifier les tendances dans l'état des routes ;
- Nouvelle conception des routes et nouvelles méthodologies d'entretien spécialement adaptée aux climats, conditions du sol et densités de trafic en Europe septentrionale, et
- Nouvelles politiques et nouveaux protocoles pour le monde politique et les décideurs, afin d'accorder plus de poids et de fonds aux routes rurales.

ROADEX III, 2006-2007

Ce projet a eu pour objectif de « diffuser, transférer et exploiter les nouvelles connaissances ROADEX dans toute la périphérie nord ». Voici quelques exemples de ce travail de diffusion :

- Le nouveau site Web www.roadex.org pour partager les informations recueillies ;
- Des manuels pratiques pour les ingénieurs, dans les 6 langues des partenaires, et
- Un package de formation par e-learning sur la « déformation permanente ».

ROADEX IV, FAIRE DE L'ACCESSIBILITÉ UNE RÉALITÉ, 2009-2012

Ce projet sur trois ans vise à modifier la construction et l'entretien des routes rurales dans toute la périphérie nord, en démontrant ce qui devient possible lorsqu'on utilise les nouvelles technologies ROADEX.

Les projets démonstrateurs des méthodes ROADEX seront réalisés dans les zones partenaires locales soutenues par un nouveau « Service conseil ROADEX » suprarégional et un Centre de connaissances. Par leur biais, les administrations routières seront capables de voir en direct les avantages et économies de coûts accessibles, et d'encourager ainsi leur adoption par leurs organisations. La recherche et le développement conjoints se poursuivront aussi dans les domaines du changement climatique, de l'élargissement des routes et sur les problématiques sanitaires pouvant résulter de routes mal entretenues.

1.6.4 c

Enquête sur les problèmes de gonflement de surfaces par le gel	Projet de R&D Finlande
Défi relevé lié au changement climatique : Vu le changement climatique, les problèmes de gonflement par le gel risquent de devenir plus fréquents dans les zones aux conditions hivernales antérieurement stables. Les problèmes de couche superficielle notamment sont plus fréquents l'hiver du fait que la période sans gel s'est allongée.	
Objectif du travail : Ce travail a pour objectif de spécifier les matériaux et facteurs provoquant le gonflement par le gel. L'étude vise également à déterminer comment identifier ces facteurs et présente des actions préventives.	
Bénéfique aux domaines suivants : Entretien, reconstruction et construction des routes en gravier.	
Calendrier : Dynamique. Des problèmes se manifestent déjà, mais deviendront plus fréquents dans un avenir proche.	
Résumé : L'étude a été publiée en décembre 2008 par l'Administration routière finlandaise. Elle a été réalisée en coopération avec Sito Oy Tampere, l'Université technique de Tampere et avec Destia. L'étude s'est déroulée en trois étapes : 1. Enquête de terrain : cartographier l'échelle du problème dans la région de Vaasa et de Häme ; 2. Tester les matériaux problématiques en laboratoire, et 3. Recommander des actions de gestion. Les matériaux prélevés sur les routes problématiques avaient tous en commun ceci : une forte teneur en biotite (mica) et une rigidité diélectrique élevée. Le matériau présentait aussi une faible résistance à l'usure. D'autres facteurs provoquant le gonflement par le gel et qui ont été examinés dans cette étude sont l'épaisseur et le profil de la couche de roulement. Sur la base de cette étude, les auteurs et le groupe de travail ont recommandé quelques actions essentielles.	
Publications : Taina Rantanen, Kari Pylkkänen, Teuvo Kasari; Étude des problèmes de gonflement par le gel (en finnois uniquement) ; Tiehallinnon selvityksiä 12/2008, ISSN 1457-9871; ISBN 978-952-221-047-0 http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/3201092-v-pintakelirikkoselvitys.pdf	
Contact : Anne Valkonen, Centre pour le développement économique, les transports et l'environnement Pirkanmaa ; PL 297, 33101 Tampere, Finlande. Tél. +358 40 5797939	

Résultats de l'étude

Modèle pour prévenir les problèmes de gonflement de surface par le gel :

A Problèmes existants

- 1 Identifier les problèmes avec l'aide d'études visuelles
- 2 Actions portant sur les problèmes identifiés : améliorer le profil dans le cadre de l'entretien, rétrécir la route, autres actions d'entretien

B Prévenir les problèmes

- 1 Choix du matériau
- 2 Amélioration du drainage
- 3 Amélioration du profil
 - Supprimer les bourrelets latéraux
 - Largeur maximale 6-6,5 m
 - Dévers minimum 4-5 %



Figure 1 : Problèmes de gonflement de surface sur une route en gravier

Sur la base de cette étude, les auteurs et le groupe de travail ont recommandé quelques actions essentielles :

- Concevoir correctement le profil et l'entretien du profil ;
- Garantir que le système de drainage superficiel demeure fonctionnel
- Inventaire du problème de gonflement par le gel moyennant une échelle à trois niveaux, et
- Les contrats devraient inclure des exigences visant la résistance à l'usure et la qualité des fractions de fines dans les zones à problème de gonflement.

Recommandations sur les matériaux dans les documents contractuels :

- 1 Facteur d'aspiration par tube < 16
- 2 Pourcentage maximal de minéraux mous 30 %
- 3 Valeur requise au test du broyeur à boulets : 22, ou valeur équivalente au test MicroDeval : 15.
- 4 Nouvelle plage standard pour la courbe granulométrique, en particulier pour la quantité de matériau filtrant (< 2 %)

1.6.5.a

Vulnérabilité de l'infrastructure de transport aux risques côtiers	Projet de R&D France
Défi relevé lié au changement climatique : Hausse du niveau de la mer	
Objectif du travail : Identifier les zones de basse altitude pouvant être impactés par les inondations côtières Simulation de l'effet du changement climatique en étudiant les conséquences de la hausse du niveau marin.	
Bénéfique aux domaines suivants : Gouvernement et gestionnaires de réseaux infrastructurels : planification de la nouvelle infrastructure, évaluation des risques et entretien de l'infrastructure existante.	
Calendrier : Anticipation. Projections pour simuler la situation dans un contexte de changement climatique.	
Résumé : En 2007-2009, un groupe interdépartemental a évalué en France les impacts du changement climatique, l'adaptation et les coûts associés. Dans ce contexte a été évaluée la vulnérabilité des infrastructures à la hausse du niveau marin et à la submersion. Les zones de basse altitude ont été identifiées et cartographiées le long des côtes de France métropolitaine. Ensuite, les réseaux routiers et ferroviaires ont été ajoutés sur la carte. L'infrastructure de transport linéaire qu'impacterait un niveau marin du siècle a été estimée mesurer près de 17 000km.	
Publications : Pons, F. ; Roux, I.; Desiré, G.; Boura, C.; Perherin, C.; Roche, A., <i>Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux</i> , CETMEF, 2009. Le Cozannet, G., Lenôtre, Nacass, P.; N.; Colas, S.; Perherin, C., Vanroye C; Hajji, C.; Poupat, B.; Azzam C. Chemitte, J.; Pons, F., <i>Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France pour les risques côtiers</i> ; rapport du groupe de travail « Risques naturels, assurances et adaptation au changement climatique », BRGM RP 57141. Avril 2009.	
Contact : guy.desire@developpement-durable.gouv.fr	

La vulnérabilité de l'infrastructure de transport aux risques littoraux a été évaluée via deux démarches parallèles :

- Identification dans toute la France des zones pouvant être impactées par des inondations côtières (zones situées en dessous des maxima de niveau marin enregistrés sur un siècle) et simulation de l'effet du changement climatique dans ces zones, et
- A l'échelle de la région Languedoc-Roussillon, évaluation des conséquences de la submersion permanente de zones, laquelle pourrait entraîner la destruction d'une partie des actifs préexistants.

Dans les deux cas, la cartographie des zones à risques a été enrichie de données sur les infrastructures routières et ferroviaires.

Détermination des zones de basse altitude

La vulnérabilité des zones littorales est déterminée en cartographiant les zones de basse altitude. Les « basses terres » correspondent aux zones topographiques situées en dessous des maxima de niveau actuels sur cent ans. L'impact du changement climatique sur l'étendue de ces zones vulnérables est identifié en cartographiant les zones situées en dessous des maxima de niveaux +1 m sur cent ans. Ceci simule les zones potentiellement inondées par un événement du siècle si le niveau de la mer monte d'un mètre.

Trois scénarios sont identifiés pour évaluer l'impact, sur les basses terres, de la hausse du niveau de la mer : une hausse équivalente au « niveau du siècle – 1 mètre », au « niveau du siècle » et au « niveau du siècle + 1 m ». Les aménagements du littoral et les barrages sur estuaires ne sont pas inclus dans l'étude.

Infrastructure de transport

Les données routières et ferroviaires provenant des bases correspondantes ont été utilisées pour intégrer des infrastructures dans la carte. En outre, les zones présentant un intérêt écologique ont été prises en compte en incluant les zones d'eaux peu profondes (étangs, marais) que peuvent franchir les routes ou voies ferrées, et sont souvent incluses dans le zonage écologique.

Les routes sont priorisées et classées en autoroutes, grands axes, routes principales, etc. Les voies ferrées sont identifiées en différents tronçons de voies : voies TGV, voies principales, autres voies et triages. Sur les tronçons de route et de voies ferroviaires identifiés viennent se superposer les zones de basse altitude aux trois niveaux marins du siècle.

Résultats

Sur toutes les côtes de France métropolitaine, l'infrastructure de transport linéaire impactée par des niveaux marins du siècle mesure presque 17 000 km.

Certaines régions sont plus affectées que d'autres.

	Emplacement des structures :		
	En dessous du niveau marin du siècle -1 m	Entre le niveau marin du siècle -1 m et le niveau marin du siècle	Entre le niveau marin du siècle et le niveau marin du siècle +1 m
2.1. Grands axes % du kilométrage routier <i>national</i>	160 1,30%	301 2,50%	355 2,90%
Routes nationales % du kilométrage routier <i>national</i>	79 0,70%	148 1,30%	198 1,70%
2.2. Routes départementales	2074	3314	4338
2.3. % du kilométrage routier <i>national</i>	0,50%	0,90%	1,10%
2.4. Autres	7032	11559	15522
2.5. % du kilométrage routier <i>national</i>	1,12%	1,84%	2,47%
2.6. Voies ferrées	812	1482	1967
2.7. % du kilométrage ferroviaire <i>national</i>	2,16%	4,80%	6,3%

Tableau : Infrastructures routières et ferroviaires nationales (en km) situées en zones de basse altitude

1.6.6 a

Résilience hivernale	Pratique actuelle Royaume-Uni
Domaine d'application : Examiner à quel point la Highways Agency est préparée à gérer des conditions hivernales adverses.	
Bénéfique aux domaines suivants : Exploitation du réseau, y compris l'accessibilité à ce dernier et la sécurité des usagers de la route.	
Aspects du changement climatique inclus : Conditions hivernales adverses, y compris les températures voisines de zéro et l'intensité des chutes de neige.	
Calendrier : En cours	
Résumé : <p>En octobre 2010 a été publié un rapport* indépendant sur la résilience de l'infrastructure de transport anglaise aux fortes intempéries hivernales. Ce rapport reconnaît les succès de la Highways Agency dans ce domaine.</p> <p>Consécutivement aux hivers rigoureux de ces dernières années, les textes d'orientation sur le traitement des routes ont été actualisés. Notre parc moderne de véhicules épandeurs de sel prémouillé consomme environ 25 % moins de sel que la flotte de véhicules qu'il remplace. On s'attend par conséquent à ce que l'agence consomme moins de sel au cours des années à venir.</p> <p>Le 1^{er} décembre 2010, le Secrétaire d'État a demandé à David Quarmby CBE de réaliser un audit urgent sur la façon dont en Angleterre les autorités routières et opérateurs de transport, Highways Agency incluse, parvenaient à maîtriser la survenue de fortes intempéries hivernales inopinément précoces.</p> <p>En dépit de conditions météorologiques rigoureuses en 2010, la vaste majorité de notre réseau est restée ouverte. 24 heures sur 24, notre flotte hivernale et nos prestataires de services ont salé et chassé la neige là où c'était nécessaire. Lorsque des incidents se produisent sur le réseau, nos responsables de la circulation, fournisseurs de services et équipes d'entretien collaborent avec la police pour rouvrir des voies à la circulation dès que le niveau de sécurité redevient suffisant.</p> <div data-bbox="564 1798 1126 2063" data-label="Image"> </div>	

Publications :

*[The resilience of England's transport systems in winter, an independent review, October 2010](#)

(La résilience des systèmes de transport en Angleterre en hiver, étude indépendante), octobre 2010

Contact :

ha_info@highways.gsi.gov.uk

1.6.6 b

<p>IRWIN</p> <p>Indice amélioré d'hiver local pour évaluer les besoins d'entretien et les coûts d'adaptation dans des scénarios de changement climatique</p>	<p>Projet de R&D</p> <p>ERA-NET ROAD</p>
<p>Défi relevé lié au changement climatique : Hausse de température et alternances gel-dégel ; entretien hivernal et applications relatives à la portance.</p>	
<p>Objectif du travail :</p> <p>En se servant de la base de données ainsi que de modèles et scénarios climatiques largement acceptés, le nouvel indice d'hiver amélioré va ramener les variations climatiques à grande échelle à celle d'un réseau routier local. Les besoins en entretien hivernal et les analyses coûts/bénéfices pourront ainsi être évaluées avec une meilleure résolution spatiale sous les climats actuels et futurs.</p>	
<p>Bénéfique aux domaines suivants :</p> <p>Entretien hivernal, gestion des routes pendant les périodes de fragilisation par le dégel</p>	
<p>Calendrier : Cycle continu</p>	
<p>Résumé :</p> <p>IRWIN a pour principal objectif de développer un indice hivernal routier amélioré capable d'évaluer les répercussions du changement climatique sur différents paramètres météorologiques et les actions afférentes d'entretien. L'idée est de combiner les meilleurs scénarios climatiques de conception traditionnelle avec les données spatiales beaucoup plus précises provenant de stations sur le terrain intégrées dans le Système d'informations météo routières (Road Weather Informations systems – RWIS) en Suède et en Finlande.</p> <p>Le besoin d'opérations d'entretien va évoluer dans les différentes régions au fur et à mesure que le climat change. Un climat plus chaud pourra à la fois accroître les besoins de salage car plus de routes seront glissantes, et réduire les interventions des chasse-neige lorsqu'il pleuvra au lieu de neiger.</p> <p>L'indice développé dans cette étude s'est avéré un outil utile pour les opérations d'entretien futures. Il peut livrer de précieuses informations aux parties prenantes relativement aux endroits où il faut prendre des mesures et à quelles dates. Ont également été étudiées les possibilités d'utiliser les données météo routières provenant d'autres pays membres d'ERA-NET pour effectuer des calculs similaires.</p> <p>Avec des interfaces bien définies, le nouveau système peut facilement s'adapter à d'autres pays, en dehors des zones tests du projet en Suède et en Finlande.</p>	
<p>Publications : IRWIN Final Report (Rapport final IRWIN), 2009.</p>	
<p>Contact : Coordinateur de projet : FORECA, Finlande.</p>	

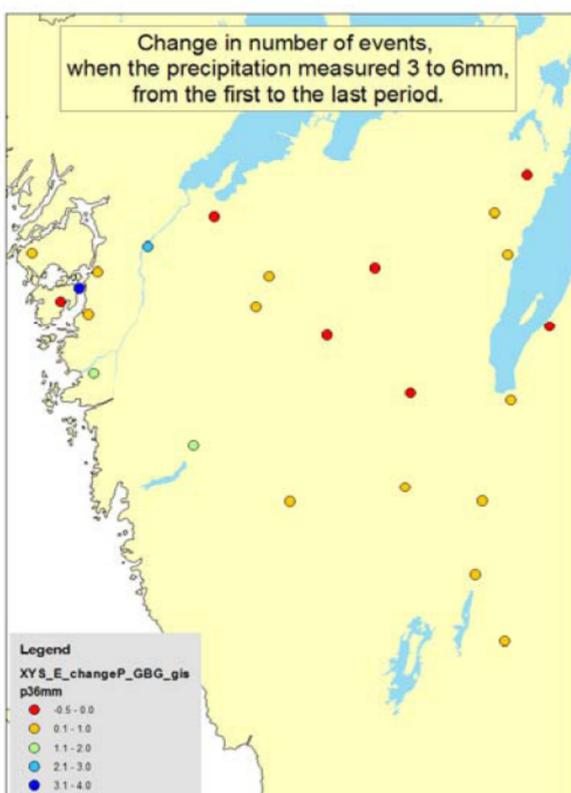
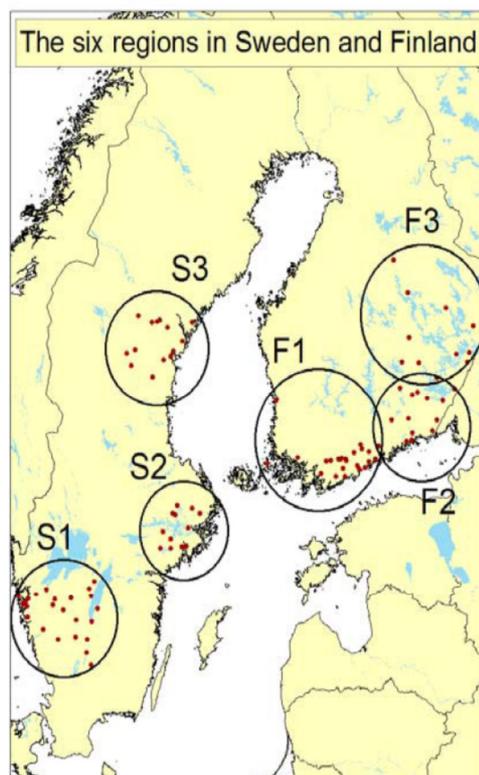
Démonstration du nouvel indice hivernal IRWIN

Les précipitations

Des observations historiques ont été analysées pour comprendre les climats actuels dans les zones d'étude, pour discerner les variations climatiques naturelles dans chacune des six différentes régions et entre elles (ce que montre la figure de droite) et parvenir à comparer les valeurs observées avec les changements modélisés futurs. Les données comprises entre le 1^{er} octobre et le 31 mars d'une part, entre 1997 et 2008 d'autre part ont été étudiées ; c'est à partir de ces données historiques qu'ont été modélisés les scénarios du futur.

Sur la carte ci-dessous ont été portées les variations extrêmes de précipitations entre la première période trentenaire (1980 à 2010) et la dernière (2025 à 2055) dans le sud de la Suède (ou région S1). Les régions occidentales vont connaître à l'avenir des précipitations plus extrêmes qu'aujourd'hui. Les changements qui attendent les stations de l'intérieur et celles plus à l'est ne sont pas aussi amples bien qu'une augmentation soit attendue dans la plupart des zones.

La figure montre des changements extrêmes dans les précipitations dans la région S1, en nombre moyen d'épisodes (périodes de 30 minutes), et ceci de la période historique à la période future.



Avantages pour les utilisateurs

L'utilisation d'un indice plus précis comme l'IRWIN promet de nombreux avantages :

- Une meilleure représentation du temps et du climat sur le réseau routier établit un meilleur lien entre le temps et les besoins d'entretien ;
- L'indice IRWIN permet de mieux comprendre les variations locales du temps ;
- IRWIN est un outil commode lorsqu'il faut évaluer l'impact du changement climatique sur les besoins d'entretien ;
- L'indice IRWIN fournit une meilleure couverture des événements extrêmes tels que de fortes chutes de neige ou des vents violents, et
- Après avoir évalué les changements potentiels, par rapport à aujourd'hui, dans les besoins et mesures d'entretien, il convient naturellement d'évaluer les implications financières d'un climat changeant futur pour les propriétaires de routes.

1.7.a

<p>RIMAROCC</p> <p>Gestion des risques pour les routes dans un climat changeant</p>	<p>Projet de R&D</p> <p>ERA-NET ROAD</p>
<p>Défi relevé lié au changement climatique :</p> <p>Outil d'analyse et de gestion des risques</p>	
<p>Objectif du travail :</p> <p>Développer une méthode soutenant le processus décisionnel concernant les mesures d'adaptation dans le secteur routier</p>	
<p>Bénéfique aux domaines suivants :</p> <p>Toutes les administrations routières</p>	
<p>Calendrier :</p> <p>Cycle continu</p>	
<p>Résumé :</p> <p>Le projet RIMAROCC est l'un des quatre projets paneuropéens lancés dans le cadre de l'initiative ERA Net Road « Propriétaires de routes s'attaquent au changement climatique » achevée en 2010. Le projet RIMAROCC a pour objectif de développer une méthode commune d'analyse et de gestion des risques face au changement climatique.</p> <p>L'objectif est de soutenir le processus décisionnel quant aux mesures d'adaptation à prendre dans le secteur routier. Pour faciliter le travail des utilisateurs en fin de chaîne, la méthode sera basée sur des méthodes générales existantes d'analyse (et de gestion) des risques chez les bailleurs de fonds d'ERA-NET ROAD, ou sera au moins compatible avec elles ou encore se basera sur d'autres méthodes pertinentes. Le projet se concentre sur l'analyse des risques (incluant leur évaluation, la gestion des risques dans l'analyse coûts/bénéfices et le niveau de risque acceptable), et sur les options de gestion des risques.</p> <p>Ce produit a donné naissance à un manuel complet sur la méthode proposée. L'intention derrière ce manuel : en faire un guide méthodologique concis sur la gestion des risques pesant sur les routes face au changement climatique. La méthode proposée devrait permettre à l'utilisateur d'identifier les risques climatiques et d'appliquer des plans d'action optimaux maximisant le retour économique au propriétaire de routes, en tenant compte des coûts de construction, de l'entretien et de l'environnement.</p>	
<p>Publications :</p> <p><i>Risk management for roads in a changing climate. A Guidebook to the RIMAROCC Method</i>, (Gestion des risques pour les routes dans un climat changeant. Manuel de la méthode RIMAROCC), 2010.</p>	
<p>Contact :</p> <p>Coordinateur de projet : SGI, Suède.</p>	

La méthode RIMAROCC a été conçue générale et pour répondre aux besoins communs aux propriétaires et aux administrateurs de routes en Europe. La méthode cherche à présenter un cadre et une démarche générale d'adaptation au changement climatique. Elle est basée sur une analyse des risques existants et sur des outils de gestion des risques pour les routes chez les États membres d'ERA-NET ROAD et chez d'autres.

Le manuel RIMARROC

Le principal produit du projet est le manuel RIMAROCC.

Ce manuel se subdivise en trois parties.

1^e partie - Bases pour la gestion du climat et des risques

Elle fournit au lecteur des informations contextuelles utiles pour comprendre les parties suivantes de l'ouvrage. Le chapitre 1 présente l'objectif, la structure et l'usage prévu du manuel. Le chapitre 2 décrit le défi que constitue l'adaptation au changement climatique, et présente les paramètres climatiques critiques à prendre en compte. Les termes et méthodes relatifs à la gestion des risques sont introduits au chapitre 3. Au chapitre 4, la structure du cadre RIMAROCC est présentée assortie de quelques réflexions et recommandations.

2^e partie - Méthode et textes d'orientation

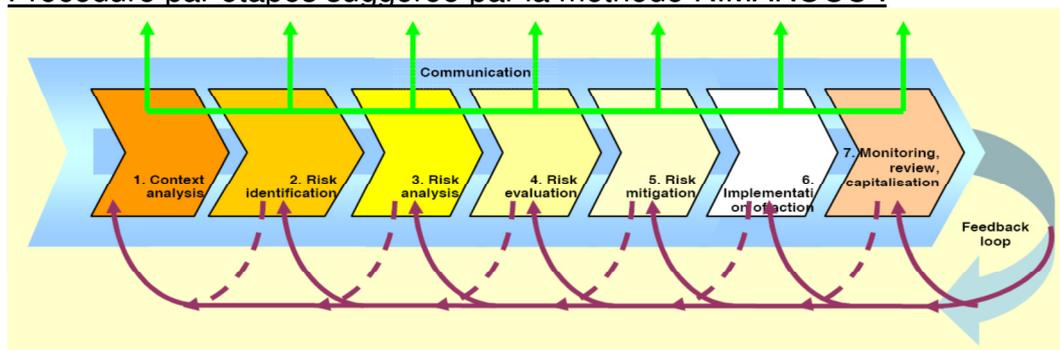
Le cadre RIMAROCC est présenté étapes par étapes. Le cadre se subdivise en sept étapes, chacune composée d'un certain nombre de sous-étapes. Toutes les étapes sont présentées de la même manière, en commençant par un récapitulatif de l'étape et une liste des sous-étapes. Les sous-étapes sont structurées comme suit :

- a) Objectifs : description des objectifs spécifiques à cette sous-étape ;
- b) Extrait : description du résultat de cette sous-étape ;
- c) Méthode : présentation des méthodes ou procédures recommandées ;
- d) Recueil des données : description des données requises pour exécuter la sous-étape et comment les obtenir ;
- e) Exemples : chaque sous-étape contient un exemple pour en faciliter la lisibilité. Des exemples supplémentaires figurent dans les études de cas.

3^e partie : Études de cas

La 3^e partie contient des exemples tirés d'études de cas. Quatre études de cas sont présentées, partant de l'échelle d'une structure routière (un pont par exemple) et allant vers celle d'un réseau routier ou d'une échelle territoriale, et dans un contexte géographique allant de la plaine à la montagne. Ces études de cas présentent en termes concrets comment la méthode peut être transposée, comment les adaptations possibles du cadre méthodologique d'ensemble pourraient se présenter, ainsi que la méthode, le champ d'application et les limitations.

Procédure par étapes suggérée par la méthode RIMAROCC :



1.7.b

Projet GeRiCi ⁴⁰	Projet de R&D France
<p>Défi relevé lié au changement climatique : Outil d'évaluation et de gestion des risques, applicable à tous les paramètres climatiques et aux risques connexes.</p>	
<p>Objectif du travail : Développer, à partir d'une analyse des risques, un modèle qui évalue la vulnérabilité de toutes les composantes sensibles d'une infrastructure.</p>	
<p>Bénéfique aux domaines suivants : Évaluation des risques et surveillance en temps réel pour la planification d'urgence.</p>	
<p>Calendrier : Cycle continu. La méthode est applicable à tout scénario climatique ou événement météo choisi.</p>	
<p>Résumé : Un outil d'évaluation des risques basé sur GIS a été développé dans le cadre du projet GeRiCi. Cet outil peut servir à filtrer systématiquement l'infrastructure pour détecter sa vulnérabilité à différentes menaces climatiques. Cet outil sert à la fois en simulation et en situation d'alerte. Dans le cas d'une simulation, il vérifie les maillons faibles de l'infrastructure pendant que règnent des conditions climatiques spécifiques. Suivant les problèmes qui surgissent, des mesures préventives peuvent être déclenchées. En situation d'alerte, l'outil affiche l'impact direct, sur l'infrastructure, de l'événement climatique anticipé, et permet aux administrateurs de route de réagir à temps. La méthode d'analyse des risques utilisée dans GeRiCi se base sur plusieurs démarches existantes dont celles décrites dans les publications PIARC, ou sur la méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités). La méthode est également basée sur des normes et directives établies, en particulier sur la directive française FD X50-252 publiée en février 2006 et portant sur l'évaluation et la gestion des risques. Elle applique les enseignements tirés de la gestion des risques dans des domaines hautement sensibles comme l'industrie nucléaire.</p>	
<p>Publications : Hervé Guérard et Michel Ray: <i>Le projet GeRiCi: gestion des risques liés au changement climatique pour les infrastructures</i>, RGRA n° 854, décembre 2006.</p>	
<p>Contact : Groupe EGIS Group, directeur du projet GeRiCi : Hervé Guérard.</p>	

⁴⁰ Basé sur le texte issu du rapport RIMAROCC *Méthodes existantes d'analyse et de gestion des risques dans les pays membres d'ERA-NET ROAD, applicables aux routes en liaison avec le changement climatique*, juin 2009.

Le projet GeRiCi a été réalisé par le consortium suivant : le groupe Egis, deux groupes concessionnaires d'autoroutes (Sanef et ASF), deux agences publiques (Météo-France et le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées), plus un consultant GIS (ESRI France). Le projet a été financé par le Ministère français des Travaux publics.

Sur la base d'une analyse socio-économique, la démarche GeRiCi aide les pouvoirs publics chargés de structurer et définir les priorités affectées aux investissements futurs, et en cas de prévision ou d'annonce d'un événement exceptionnel, elle définit le processus permettant de prendre les mesures d'urgence les plus pertinentes en collaboration avec d'autres partenaires, y compris les services d'urgence.

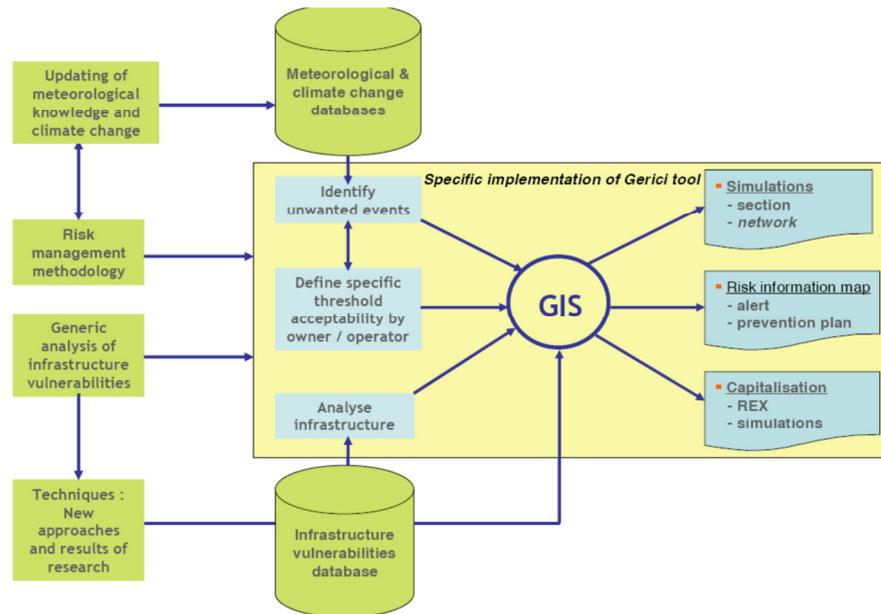
L'approche systématique mise en œuvre par GeRiCi met en lumière les liens entre éléments générateurs de dangers et risques. Le projet a permis de modéliser le danger en termes plus généraux, comme une chaîne processuelle conduisant une source de danger à déclencher des effets désastreux sur l'infrastructure, les usagers, les résidents, l'environnement, etc.

Principales étapes de la démarche

Les différentes étapes de la démarche sont décrites ci-dessous. La figure suivante contient une synthèse de la démarche GeRiCi.

1. Définir le contexte : A titre de base pour le travail de recherche requis, il faut mesurer et définir les besoins, introduire un vocabulaire compris de tous et déterminer les éléments constitutifs à intégrer dans l'outil SIG.

2. Identifier les facteurs de risque : Les facteurs de risque sont divisés en trois groupes : facteurs climatiques, facteurs intrinsèques à l'infrastructure et facteurs du site. Les facteurs climatiques inclus dans GeRiCi sont la pluie, les inondations, le vent, la neige, les basses et les hautes températures. Ils sont considérés comme des sources de risques à long terme pour l'infrastructure et ses composants, pour la continuité du service et pour les résidents. Voici quelques exemples de facteurs intrinsèques : erreurs de conception, conduites hydrauliques non entretenues, etc. Exemples de facteurs de site : développement de l'urbanisation, imperméabilisation des sols, etc.



3. Analyse des risques : l'analyse des risques est qualitative ou quantitative, selon les possibilités et les exigences. Afin de caractériser la vulnérabilité, l'infrastructure (autoroutière) est divisée en sept domaines : ouvrages hydrauliques lourds, ouvrages hydrauliques légers et de drainage, structures d'ingénierie, équipement, ouvrages géotechnique, environnement et chaussée. Dans chaque domaine, les composants de l'infrastructure sont classifiés en familles, selon le degré de sensibilité aux événements indésirables. Trois seuils typiques ont été définis pour chaque élément : le seuil de dimensionnement, le seuil critique et le seuil de rupture. L'analyse infrastructurale se déroule en coopération avec les exploitants des routes et les experts.

4. Évaluation des risques et carte des risques : L'infrastructure est numérisée en un certain nombre d'objets géoréférencés réunis en tableau qui contient aussi les caractéristiques techniques et de vulnérabilité de chaque objet. L'information s'affiche ensuite dans un SIG. Lorsqu'on applique un événement météorologique d'un type et d'une intensité définis à un tronçon d'infrastructure choisi, chaque objet sensible à l'événement choisi s'affiche sous forme graphique, selon un code couleur conforme au niveau de sensibilité qu'il est susceptible d'atteindre pendant l'événement. Les résultats sont analysés à la lumière de leurs conséquences prévisibles pour : les coûts, la durabilité de l'infrastructure, la continuité du service pour les usagers, la sécurité de ces derniers et les effets environnementaux. Les scénarios critiques sont identifiés et affichés sous forme de matrice fréquence/sévérité des risques.

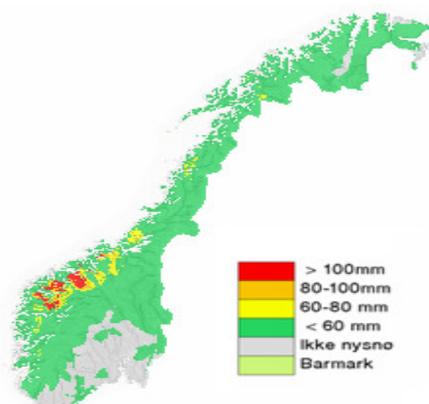
1.7.c

Portail Web Føre Var	Projet de R&D Norvège
Défi relevé lié au changement climatique : Outil de gestion des risques. Planification d'urgence basée sur de bonnes données météorologiques, données de base et sur un historique d'événements.	
Objectif du travail : Utilisation dynamique des données météo pour mieux exploiter les routes et mieux prédire les événements liés au temps.	
Bénéfique aux domaines suivants : Tous ceux travaillant avec des systèmes d'exploitation et d'urgence, les entreprises intervenantes, les émetteurs de bulletins d'avalanches et de glissement de terrain.	
Calendrier : Dynamique. Informations météo et prévision du temps en temps réel. Il y a moyen d'introduire des projections de changement climatique pour simuler la situation sous un climat qui a changé.	
Résumé : La Direction norvégienne des ressources en eau et de l'énergie (NVE) coopère avec l'Institut météorologique norvégien, l'administration des routes publiques et l'administration des chemins de fer afin de créer un système de cartes dynamiques basé sur le Web pour fournir des informations sur des conditions météo dangereuses. Ce développement a été lancé pendant le Projet climat et transport (2007-2010) et va se poursuivre comme partie intégrante d'un nouveau projet d'alerte avalanche et glissement de terrain couvrant 2011 et 2012. Ce projet est géré par la NVE.	
Publications :	
Contact : Administration norvégienne des routes publiques, Tore Humstad, tore.humstad@vegvesen.no	

Basé sur le Web, un portail de cartes dynamiques appelé Føre Var, développé par la Direction norvégienne des ressources en eau et de l'énergie (NVE) en coopération avec l'Institut météorologique norvégien, l'administration des routes publiques et l'administration des chemins de fer, présente la météo de la Norvège sous la forme d'une carte quadrillée dont les cellules mesurent 1 km². Dans chaque cellule, des paramètres météo choisis sont générés à partir d'interpolations de données de précipitation, de température et de hauteur de la neige. Entre 155 et 455 stations météo éparpillées dans tout le pays fournissent les données. Sur la base de combinaisons de ces données, il est possible de différencier les précipitations en neige ou en pluie. En outre, des données dérivées telles que le niveau de la nappe phréatique, la fonte de neige et la couverture neigeuse sont attribuées à chaque cellule sur la base de modèles hydrologiques.

Les observations (outil d'analyse) et les pronostics (outil de sensibilisation) sont présentés avec une résolution d'un jour. Les partenaires du projet ont développé une spécification sur la façon d'utiliser les données susmentionnées et de les présenter face à des valeurs seuils au lieu des valeurs absolues. L'idée derrière la présentation de paramètres météo face à différentes valeurs seuils : parvenir à identifier des conditions météo extrêmes et celles empêchant de maintenir les routes et voies ferrées opérationnelles. Ces valeurs seuils sont principalement liées à un temps dont on sait empiriquement qu'il provoque des avalanches, des désastres liés à la neige, des glissements de terrain et des chutes de rochers. Les valeurs seuils atteintes sont illustrées par une échelle chromatique passant par le jaune, l'orange et le rouge, ce dernier représentant le risque le plus grave. Sur la carte, la zone verte indique que les conditions météo sont favorables. Les cellules grises de la grille signalent l'absence de temps défavorable.

La figure suivante est un exemple de carte montrant les « chutes de neige au cours des trois derniers jours », depuis un jour neigeux (le 1^{er} janvier 2011) assorti de plusieurs avalanches dans la zone colorée en rouge.



Le développement de cet outil a été lancé par l'Administration norvégienne des routes publiques via la le Projet Climat et transport (2009 et 2010). Les thèmes mentionnés dans le tableau ci-dessous y figuraient. L'expérience tirée du projet montre qu'il existe des liens clairs entre certains thèmes cartographiés et des problèmes enregistrés sur les routes et les voies ferrées. Les autres thèmes sont moins clairs. Il s'est également avéré nécessaire de niveler la correspondance entre les différentes valeurs seuils afin que les mêmes couleurs représentent plus ou moins le même niveau de risque dans les différents thèmes.

	Thèmes	Sources de données	Atténuation possible des risques liés à ceci :
1	Apport d'eau au cours des dernières 24 heures	Précipitation/pluie, fonte de neige et couverture neigeuse	Charriages de débris
2	Apport d'eau au cours des dernières 24 heures	Précipitation/pluie, fonte de neige et couverture neigeuse	Charriages de débris
3	Chute de neige au cours des dernières 24 heures	Précipitations/chute de neige	Désastres dus à la neige
4	Chute de neige au cours des dernières 24 heures	Précipitations/chute de neige	Désastres dus à la neige et avalanches
5	Gel, dégel et apport d'eau (10 derniers jours)	Variation de température, précipitations, pluie, fonte de neige et couverture neigeuse	Chutes et éboulements de rochers

Le développement de ce portail Web va se poursuivre en 2011-2012 par le biais d'un projet d'alerte avalanche et glissement de terrain géré par la Direction norvégienne des ressources en eau et de l'énergie (NVE).

1.7.d

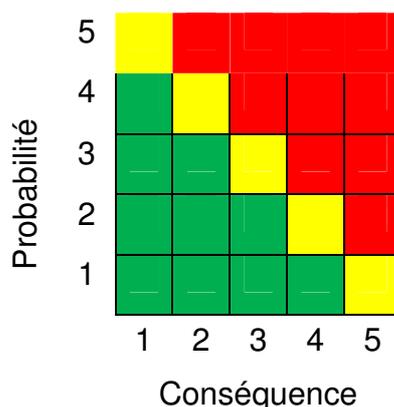
Analyses des risques et de la sensibilité des actifs sur le réseau routier	Projet de R&D Norvège
Défi relevé lié au changement climatique : Tous les aspects.	
Objectif du travail : Définir des procédures qui permettent de mieux analyser les risques et la sensibilité, qui tiennent compte des défis liés au temps et au climat avec une focalisation sur le changement climatique. Des méthodes permettant d'identifier les actifs vulnérables sur les routes sont développées tout en se concentrant sur les structures spécialement exposées aux facteurs climatiques, c'est-à-dire les ponts, ponceaux, structures de drainage et tronçons d'une structure routière. Des procédures incluent de définir les exigences visant l'inventaire, les routines d'inspection, de réviser le dimensionnement des débits, de définir la fonctionnalité relativement à des critères de risque sélectionnés, et des tâches d'entretien.	
Bénéfique aux domaines suivants : Évaluation et gestion des risques, entretien routier.	
Calendrier : En fonction de la vie utile de la route/structure et du paramètre climatique particulier. Il faudrait que le processus soit continu dans un climat changeant. Une application au réseau routier tout entier est souhaitable, mais il faudrait donner la priorité aux tronçons/itinéraires les plus importants et les plus exposés.	
Résumé : Inscrite dans l'évaluation complète des risques du système de transport norvégien (SAMROS), l'initiative décrite ici va garantir que soit incluse l'influence qu'exerce le changement climatique sur les actifs présents sur le réseau routier. Principaux aspects : <ol style="list-style-type: none"> 1. Dans cette procédure, un inventaire complet des postes pertinents constitue un facteur important. Il faut que la base de données inclue des informations pertinentes sur des détails techniques relatifs à la capacité et à la robustesse. Il faudrait inclure l'état de fonctionnalité observé et des critères de dimensionnement à jour. 2. Des ponts sont listés dans les bases de données norvégiennes existantes sur l'inventaire des ponts (BRUTUS) et des structures de drainage plus petites (ponceaux) figurent dans la Base nationale de données routières (NVDB). Elles vont être actualisées pour inclure les informations pertinentes dans cette procédure telles que la protection anti-érosion et des mesures du profil des rivières. 3. Évaluer les actifs exposés conformément à la position et au climat. 4. Évaluer les caractéristiques des ponceaux et ponts qui contribuent à accroître la vulnérabilité. 	

5. Suggérer des méthodes pour estimer les chiffres de ruissellement futurs dans les bassins où les données de précipitation et de débit sont limitées ou manquantes.
6. Calculer la capacité nécessaire : Méthodes, données.
7. Routines d'entretien

Publications :

Directives de la NPRA : (1) Méthodologie pour réaliser une analyse des risques que les événements liés au temps et le changement climatique font peser sur l'infrastructure routière ; (2) analyse des risques pour les ponts ; (3) analyse des risques pour les ponceaux de drainage ; (4) analyse des risques pour les structures routières et les chaussées.

Contact : Arne Gussiaas, NPRA / arne.gussiaas@vegvesen.no



Ponts et ponceaux

Des directives à part ont été développées pour analyser les risques et la sensibilité respectivement des ponts et ponceaux situés sur le réseau routier. Bien que taillées à la mesure de chacun de ces types de structures, les procédures sont basées sur plusieurs facteurs communs. Les directives décrivent la procédure, les données nécessaires et la documentation pour analyser les risques et la sensibilité des ponts et ponceaux aux événements liés au temps. L'évaluation des risques est basée sur une matrice de risques permettant d'estimer la probabilité et la gravité d'événements indésirables pouvant entraîner une défaillance ou la fermeture d'une route.

L'analyse des risques, leur estimation et leur gestion sont décrites à trois niveaux d'évaluation successifs. Suivant la disponibilité et la qualité de l'inventaire et d'autres données, des structures peuvent franchir chaque niveau en restant dans le « vert », ou passer sinon au niveau d'analyse suivant.

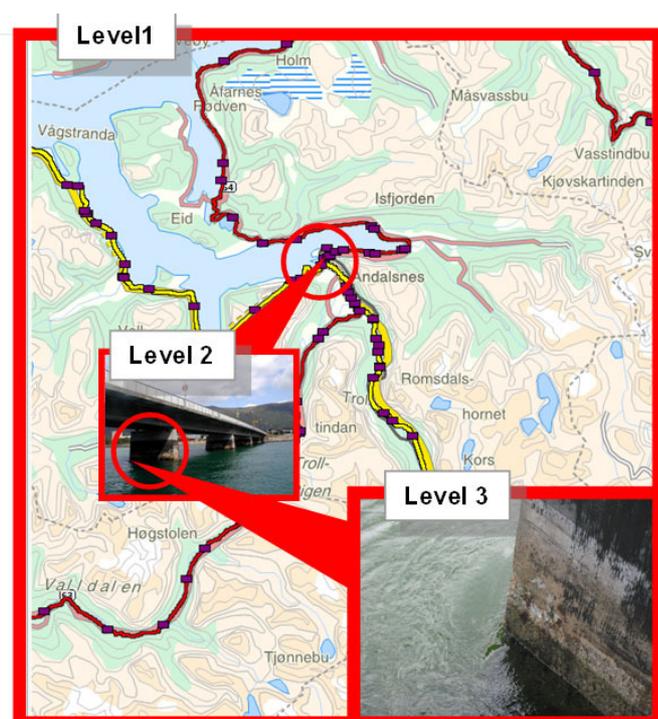
Niveau 1 : Détermination générale des actifs vulnérables. A ce niveau, l'analyse se déroule à l'échelle d'un réseau ou d'un tronçon.

Niveau 2 : Enquête sur les structures individuelles. Cette étape inclut une inspection in-situ, des estimations de la capacité hydraulique et des calculs simplifiés du ruissellement.

Niveau 3 : Analyse spéciale. Elle inclut un calcul détaillé du débit d'eau et du risque d'érosion, et une estimation des effets du changement climatique. Cette analyse suggère un plan d'action pour réduire le risque menaçant les structures restées en-deçà du seuil de risque acceptable.

Structures routières et chaussées

Les directives visant les structures routières et les chaussées décrivent la procédure, les données et la documentation nécessaire pour analyser les risques et la sensibilité de tronçons de chaussée aux événements liés au temps. Un certain nombre d'actions possibles sont fournies pour effectuer une adaptation et réduire les risques.



1.7.e

Plan pour conditions météo difficiles	Pratique actuelle Royaume-Uni
Domaine d'application : Procédure opérationnelle	
Bénéfique aux domaines suivants : Gestion du trafic	
Aspects du changement climatique inclus : Vent, précipitations, inondations, température	
Calendrier : En cours	
Résumé : <p>La Highways Agency a mis en place un Plan pour conditions météorologiques difficiles impliquant tous ses fournisseurs de services. Il existe des liens directs avec l'Office météorologique, via le Centre national de contrôle de la circulation à Quinton, pour anticiper des conditions météorologiques difficiles et des inondations potentielles. Les Centres régionaux de contrôle de la circulation et le Service de responsables de la circulation fournissent, avec les services d'urgence, l'aptitude de mettre en place des plans permettant de maîtriser en opération certaines menaces météorologiques graves.</p> <p>Les fournisseurs de services apportent l'expertise nécessaire pour examiner et inspecter certaines parties de l'infrastructure de la Highways Agency : ponts, chaussées, drainage, travaux de terrassements, installations et équipements auxiliaires. La planification des risques et de la résilience est exécutée et communiquée à d'autres initiatives gouvernementales plus vastes ; ceci est couplé à une planification de scénarios pour développer des mesures d'urgence appropriées.</p> 	
Publications : Néant	
Contact : ha_info@highways.gsi.gov.uk	

Exemple : Atténuer les risques posés par des vents violents

Au moment d'atténuer les effets de vents violents, il revêt une importance fondamentale d'identifier au plus tôt les problèmes potentiels. Ceci a normalement lieu au moyen de prévisions météorologiques et d'autres sources d'informations, par exemple au moyen du Service national d'alerte aux conditions météorologiques difficiles rattaché à l'Office météorologique.

Deux ponts autoroutiers traversent la Severn, celui de la M4 entre les échangeurs 22 et 23, et celui de la M48 entre les échangeurs 1 et 2. Ces deux ponts permettent au trafic de passer de l'Angleterre au Pays de Galles. Des protocoles d'accord ont été souscrits par le Centre de contrôle régional sud-ouest de la Highways Agency (SWRCC), le Service de responsables de la circulation de la Highways Agency, la police du Gwent, les polices de l'Avon et du Somerset, et par notre fournisseur de services.

Sur la M4, les vitesses du vent sont surveillées par la police du Gwent qui a son tour donne des instructions soit au centre de contrôle Traffic Wales, soit au Centre du sud-ouest lorsqu'il faut réduire la vitesse/fermer l'autoroute. Les vitesses du vent sur la M48 sont surveillées par le SWRCC, lequel fixe des limitations de vitesse / ferme l'autoroute si nécessaire. Les panneaux à messages variables sont utilisés pour signaler les limitations de vitesse/les fermetures.

1.8.a

<p>Évaluer le coût, pour les réseaux de transport, de la hausse du niveau marin liée au changement climatique</p>	<p>Projet de R&D France</p>
<p>Défi relevé lié au changement climatique : Hausse du niveau de la mer</p>	
<p>Objectif du travail : Quantifier les coûts de la hausse du niveau marin sur les réseaux de transport</p>	
<p>Bénéfique aux domaines suivants : Gestion des risques, pour l'infrastructure, liés au changement climatique Planification, entretien</p>	
<p>Calendrier : Fin du 21^e siècle</p>	
<p>Résumé : En 2007-2009, un groupe interdépartemental a évalué en France les impacts du changement climatique, l'adaptation et les coûts associés. A partir des données relatives aux infrastructures se trouvant en dessous du niveau marin du siècle +1 mètre, et compte tenu des pertes financières moyennes d'actifs routier se chiffrant à 10 M €/km, et de coûts de récupération des routes en partie submergées à raison de 250 000 €/km, la hausse du niveau de la mer pourrait coûter jusqu'à 2 Md € pour les routes nationales (autoroutes et perte d'usage non chiffrées).</p>	
<p>Publications : Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique, 2009. <i>Changement climatique, coûts des impacts et pistes d'adaptation</i> ; la Documentation Française, 193pp.</p>	
<p>Contact : anne-laure.badin@developpement-durable.gouv.fr</p>	

Le changement climatique pourrait endommager et perturber les réseaux de transport. Une évaluation des dommages dus à une submersion (permanente ou temporaire) provenant d'une hausse du niveau marin a été achevée en 2008. Compte tenu des données disponibles, les discussions se sont concentrées sur d'importants réseaux infrastructurels en France métropolitaine gérés par l'État. De la sorte, seulement 1,2 % de la longueur totale du réseau routier français a été pris en compte. Néanmoins, cette partie du réseau routier prend en charge plus d'un quart de la circulation totale sur les routes françaises.

L'évaluation des risques a été accomplie en prenant pour référence une inondation du siècle. Une relation a été établie entre la vulnérabilité et le coût de la submersion. Toutefois, le coût des dommages occasionnés par un événement est loin d'atteindre celui imputable à la destruction de biens. Deux démarches alternatives sont par conséquent définies : la « submersion temporaire » et « submersion permanente ».

La cartographie des zones de basse altitude a servi d'indicateur pertinent pour comprendre la vulnérabilité des zones côtières à la submersion. Des niveaux marins extrêmes ont été superposés à la topographie côtière pour mettre en évidence les zones de basse altitude. Ces zones ont été définies le long du littoral entier et pourraient être impactées par la submersion côtière. La longueur des infrastructures présentes dans chacune de ces zones a été quantifiée et a servi de base pour évaluer combien coûterait la submersion de routes vulnérables. Une submersion permanente a été prise en compte lorsque les structures correspondantes étaient situées à un niveau correspondant au niveau marin du siècle -1 m. Les coûts reflètent la perte de valeur des actifs. Une submersion temporaire a été postulée lorsque les structures correspondantes étaient situées à un niveau correspondant au niveau marin du siècle +1 m. Le coût a été évalué en appliquant un coût unitaire de dégâts à l'infrastructure linéaire concernée (déterminé par référence aux coûts de récupération).

Vu l'incertitude entachant les données topographiques et pour refléter l'impact de la hausse du niveau marin, plusieurs zones ont été identifiées : i. en dessous de l'actuel niveau marin du siècle -1 m ; ii. en dessous de l'actuel niveau marin du siècle et iii. en dessous du niveau marin du siècle +1m. Des disparités émergent suivant les zones étudiées, notamment quant à l'étendue des zones de basse altitude et à la densité de l'infrastructure.

Évaluation des coûts de submersion sur les routes nationales et les autoroutes :

Tableau : Conséquences des trois scénarios de submersion : longueur de routes submergées et coûts estimés des pertes d'actifs routiers

En km en M € (2008)	Jusqu'au niveau marin du siècle -1 m	Structure située	
		Entre le niveau marin du siècle -1 m et le niveau marin du siècle	Entre le niveau marin du siècle et le niveau marin du siècle +1 m
Routes nationales (en km)	79	69	50
Grands axes (en km)	160	141	54
Si la submersion est permanente : perte d'actifs Valeur financière moyenne en millions d'euros (2008) : 10 M €/km			
Routes nationales (en km)	790 M €	690 M €	500 M €
Grands axes sous contrat et non sous contrat (en km)	1,6 Md €	1,41 Md €	540 M €
Si la submersion est temporaire : perte d'actifs Valeur financière moyenne en millions d'euros (2008) : entre 0,25 et 0,50 M €/km et par submersion			
Routes nationales (en km)	entre 4,75 à 9,5 M €	entre 17,25 et 34,5 M €	entre 12,5 et 25 M €
Grands axes franchisées ou non (en km)	entre 40 et 80 M €	entre 35,25 et 70,5 M €	entre 13,5 et 27 M €

Les structures marines ne sont en majorité pas conçues pour résister à une hausse d'un mètre du niveau de l'eau (excepté les structures spécialement conçues pour protéger contre les hauts niveaux d'eau). La présence ou l'absence de structures ne change rien à la vulnérabilité de l'infrastructure qui se trouve derrière ; si ces structures ne sont pas redimensionnées, elles cesseront d'offrir une protection. Si donc l'on postule que les structures existantes ne changent pas, il faut considérer à ce stade que la zone actuellement protégée peut courir un risque de submersion permanente.

Les zones de plus basse altitude seront toujours les plus vulnérables. Les zones qui actuellement ne sont pas protégées pourraient être exposées à une submersion soit permanente soit temporaire.

Pour la submersion côtière, il semble raisonnable de considérer qu'une hausse générale d'un mètre du niveau de la mer coûterait jusqu'à 2 milliards d'euros pour les routes nationales métropolitaines (sans compter les grands axes, les autres routes et la perte d'usage). Cette démarche met en évidence une vulnérabilité potentielle plus importante sur les routes départementales et municipales et les grands axes, en tant que pourcentage du réseau potentiellement affecté.

Faire concorder les chiffres de submersion du siècle et les cotes de ligne côtière + 1 m est une problématique qui complique fortement l'évaluation des coûts. Des approximations arbitraires ont été nécessaires, basées sur les données actuellement disponibles. Un autre problème réside dans le fait que les chiffres de protection n'ont pas encore été déterminés.

1.8.b

Estimer les coûts relatifs au changement climatique	Analyse de vulnérabilité Suède
<p>Défi relevé lié au changement climatique : Hausse des températures et des précipitations provoquant des niveaux d'inondation plus élevés. Érosion et risque de glissement de terrain.</p>	
<p>Objectif du travail : Ce travail s'inscrit dans une étude nationale des risques et de la vulnérabilité réalisée en 2007.</p>	
<p>Bénéfique aux domaines suivants : planification, priorisation</p>	
<p>Calendrier : Projections du changement climatique vers la fin du siècle.</p>	
<p>Résumé : Dans le cadre de l'étude nationale de 2007, l'Administration des routes suédoises a réalisé une analyse générale des risques et de la sensibilité du réseau routier aux changements climatiques. Elle s'attend à ce que les principaux effets du scénario climatique étudié sur le réseau routier soient des précipitations et inondations plus importantes entraînant de l'érosion, un affouillement des piles des ponts et des glissements de terrain. La hausse du niveau marin va requérir d'adapter le trafic des ferries et les tunnels aux entrées basses. Au nord de Stockholm, la hausse des terres va compenser la hausse attendue du niveau de la mer. L'ARN a estimé les coûts des dommages anticipés et des mesures d'atténuation engendrés par l'érosion, les inondations et glissements de terrain. Seuls les dommages importants sont inclus, l'étude postulant que les petites réparations entrent dans l'entretien de routine.</p>	
<p>Publications :</p>	
<p>Contact : hakan.nordlander@trafikverket.se</p>	

Les coûts sont chiffrés en SEK en 2007. Leur présentation ici vise à montrer les coûts relatifs, les aspects inclus et les hypothèses sur lesquelles les calculs étaient basés.

Type de dommage	Mesures d'atténuation à court terme ¹⁾	Mesures d'atténuation à long terme	Augmentation du coût des dommages à long terme (en l'absence de mesures d'atténuation)
Dommages importants provoqués par les inondations et l'érosion (coût annuel actuel env. 65 M SEK)	150-500 M SEK	Coût total 1,0 – 2,0 Md SEK, mesures d'atténuation des dommages imputables aux inondations importantes, à l'érosion et aux glissements de terrain ²⁾	50-150 M SEK/an
Glissements de terrain (coût annuel env. 15 M SEK)	> 200 M SEK		20-50 M SEK/an
Glissements de terrain importants (rares aujourd'hui)			Hausse du nombre de glissements de terrain importants
Remplacement plus précoce des ponts (avant leur fin de vie utile)		Env. 720 M SEK pendant la période ³⁾	

1) L'estimation des coûts est basée sur les hypothèses de calcul suivantes :

- Des actifs représentant 10 à 30 % des coûts des inondations et de l'érosion ont été identifiés. Les mesures correctives réduisent le risque de 90 %, et de 6 à 18 M SEK/an les coûts correspondants des dommages. Si l'on suppose en plus que les mesures sont justifiées au plan économique, qu'elles sont accomplies une fois et n'entraînent pas d'augmentation des coûts d'entretien, le coût sera inférieur à 150-500 M SEK.
- Les mêmes hypothèses sont valides pour les coûts (< 35-100 SEK) réduisant le risque de glissement de terrain. Les calculs sont basés sur la valeur moyenne des coûts récents de protection contre les glissements de terrain, sans toutefois compter les dommages corporels qu'il faudrait inclure dans une évaluation plus détaillée des risques. En cas de risque extrêmement élevé, il faut prendre des mesures quel que soit leur coût. C'est pour cette raison que les coûts peuvent atteindre 200 M SEK.

2) L'augmentation des coûts due au changement climatique sera inférieure dans les cas où les mesures sont prises dans le cadre d'un entretien et d'une reconstruction planifiés, et non pas séparément. Toutefois, l'exposition à long terme aux effets d'un changement climatique (inondation, pression interstitielle accrue) va inévitablement engendrer des coûts supplémentaires. L'estimation des coûts est basée sur les hypothèses de calcul suivantes :

- Les mesures qui réduisent de 50% les coûts des dégâts sont exécutées dans le cadre de l'entretien et de la reconstruction ordinaires, leur coût représentant 10% des coûts qui seraient les leur s'il s'agissait de mesures à part. Autre hypothèse comme en (1) ci-dessus.
- Les mesures qui réduisent de 25% les coûts des dégâts sont exécutées sous forme de mesures séparées. Ces mesures ne seraient pas significativement meilleur marché si elles étaient exécutées dans le cadre de l'entretien ou de la reconstruction ordinaires.
- Les calculs donnent un coût total de 500-1 500 M SEK pour les mesures correctives, y compris les mesures de protection contre les glissements de terrain importants. L'exemple de calcul indique un coût d'approximativement 1,0-2,0 Md SEK.

3) Les coûts des ponts sont calculés comme coûts de remplacement précoce de 20% des ponts qui, dans le sud-ouest de la Suède, présentent une hauteur libre inférieure à 0,5 m au dessus de la ligne supérieure des hautes eaux, et de 20% des ponts dans toute la Suède qui présentent une hauteur inférieure à 0,3 m au dessus de la ligne supérieure des hautes eaux.

Les mesures d'atténuation à court terme (risque d'érosion et de glissement de terrain) sont motivées en premier lieu par le fait que les structures ne se conforment pas toutes aux exigences actuelles et que certaines de ces dernières devraient être durcies compte tenu de la sensibilité des actifs et des conséquences d'un endommagement. Les effets potentiels du changement climatique et les effets des changements qui se sont déjà produit comparé à la situation lors de la conception constituent une motivation secondaire.

Il est prévu que l'effet du changement climatique sur les coûts de l'entretien des chaussées imputables à l'orniérage augmente de 5%, sauf dans les pans septentrionaux du réseau routier où l'on prévoit que ces coûts seront inférieurs de 5% pour les routes à faible trafic. Les coûts dus aux défauts de planéité sont présumés de 10% inférieurs. Ceci signifie une réduction d'ensemble des coûts des chaussées.

La comparaison des coûts est basée sur l'entretien accompli, et non pas des *besoins* actuels eux-mêmes basés sur une norme routière documentée. Les coûts futurs de l'entretien vont donc principalement dépendre de la façon dont la norme routière documentée affecte les investissements d'entretien et, à un moindre degré, du changement climatique anticipé.

1.8.c

L'effet du changement climatique sur l'entretien de routine et l'entretien périodique des routes	Projet de R&D Finlande
<p>Défi relevé lié au changement climatique :</p> <p>Hausse de la température, pluies plus fréquentes et plus intenses. Augmentation du débit d'eau et risque d'inondations. Durées de la couverture neigeuse plus courtes et températures inférieures à zéro. Moindre épaisseur de la couche de terre gelée.</p>	
<p>Objectif du travail :</p> <p>Déterminer comment le changement climatique affecte l'entretien périodique et de routine des routes, et évaluer aussi les dépenses générées par ces effets. En outre, l'objectif est de présenter les changements nécessaires à apporter aux politiques intégrées dans les directives d'entretien.</p>	
<p>Bénéfique aux domaines suivants :</p> <p>Experts en entretien et décideurs principalement au niveau national, et les chercheurs.</p>	
<p>Calendrier :</p> <p>Les résultats sont déjà bénéfiques lorsqu'on estime les effets des hivers plus doux, déjà bien réels, mais cet avantage est principalement anticipé sur l'avenir, avec une augmentation attendue de la fréquence des hivers plus doux.</p>	
<p>Résumé :</p> <p>Les résultats sont basés sur une recherche dans la documentation, sur des analyses des effets de deux hivers chauds (2006-2007 et 2007-2008) et sur des estimations d'experts.</p> <p>Les résultats montrent que le besoin augmente d'une capacité à court terme de dégagement de la neige, tandis que le nombre de dégagements de la neige demeure le même ou diminue. Le besoin de déverglaçage augmente. Le salage va apparemment diminuer mais seulement passé le milieu du 21^e siècle. Les coûts de l'entretien hivernal vont augmenter légèrement.</p> <p>L'orniérage et l'usure de la chaussée vont augmenter. La portance des chaussées à faible circulation va diminuer. A la fin de la période quinquennale, les coûts d'entretien vont augmenter de 10-20 millions d'euros si les hivers à venir sont doux et humides. La fragilisation des structures par le gel va se compliquer. Les coûts d'entretien des routes en gravier vont augmenter de 5-10 millions d'euros d'ici à la fin de la prochaine décennie.</p>	
<p>Publications :</p> <p><i>L'effet du changement climatique sur l'entretien de routine et périodique des routes</i> (en finnois, résumé en anglais) Helsinki 2009. Administration des routes finlandaises, Administration centrale. Rapports Finnra 8/2009, 66 p. + ann. 8 p. ISSN 1459-1553, ISBN 978-952-221-172-9, TIEH 3201122-v.</p>	
<p>Contact : Vesa Männistö, Agence finlandaise des transports ; Vesa.Mannisto@fta.fi ; P.O. Box 33, 00521 HELSINKI, Finlande; Tél. +358 20 637 3569.</p>	

On estime qu'en Finlande la température moyenne va augmenter de 2°C et la pluie de 5-10 % d'ici à 2040. Tant la hausse de la température que la hausse des pluies vont être plus intenses en hiver que pendant l'été. L'hiver froid et l'hiver à couverture neigeuse (période hivernale comptant des températures inférieures à 0 degré et une couverture neigeuse) vont raccourcir. En été, les jours où le thermomètre dépassera +25°C seront plus nombreux. D'ici à la fin du siècle, la profondeur du gel va significativement diminuer.

Cette étude a eu pour objectif de déterminer comment le changement climatique affecte l'entretien périodique et de routine des routes, et d'évaluer aussi les coûts engendrés par ces effets. En outre, elle vise à présenter les changements nécessaires à apporter aux directives d'entretien. Les résultats sont basés sur une recherche dans la documentation, sur des analyses des effets de deux hivers doux (2006-2007 et 2007-2008) et sur des estimations d'experts.

Les procédures d'entretien hivernal appliquées dans le sud de la Finlande migrent actuellement vers les pans septentrionaux du pays. Les tempêtes hivernales deviennent de plus courantes, accroissant au passage la nécessité d'une capacité à court terme de dégagement de la neige ; dans l'ensemble toutefois, le nombre de dégagements reste le même ou diminue avec le raccourcissement des hivers. Les besoins de déverglacement augmentent en Finlande centrale et septentrionale. La nécessité de saler va apparemment diminuer mais seulement une fois passé le milieu du 21^e siècle. Une légère augmentation des coûts de l'entretien hivernal est anticipée en raison du changement climatique.

Il sera plus courant que les surfaces des routes restent nues pendant l'hiver. Les hivers doux et pluvieux accélèrent l'orniérage des chaussées. Le nombre croissant de cycles de gel-dégel accroissent l'usure de la chaussée et l'apparition de défauts sur celui-ci. Vu l'augmentation des pluies, la nappe phréatique va monter, ce qui réduit la portance des routes à faible circulation et accélère l'approfondissement des ornières sur les routes d'importance secondaire. On estime que d'ici à la fin de la période quinquennale, les coûts d'entretien vont augmenter de 10-20 millions d'euros si les hivers à venir sont doux et humides. Il faut surveiller l'état du réseau routier en permanence.

Les pluies croissantes et les hivers doux compliquent la fragilisation des structures par le dégel. Les recommandations contenues dans les nouvelles politiques d'entretien visant les routes en gravier sont fortement conseillées aussi pour éliminer les effets du changement climatique. On estime qu'en raison du changement climatique, les coûts d'entretien vont augmenter de 5-10 millions d'euros d'ici à la fin de la prochaine décennie.

Tableau : Coûts d'entretien des routes en 2009 et effet estimé sur le changement climatique.

	costs in 2009		The effect of the climate change	
	Million €/year	%	Direction	Explanation
Routine maintenance, sum	230.1	44		
Winter maintenance	101.6	19	+	Snow removal stays the same, but de-icing will become more complicated and more expensive
Maintenance of transportation environment	64.6	12	0	
Maintenance of gravel roads	28.7	5	++	Longer maintenance period for gravel roads. More complicated autumn ballast
Ferries and ice roads	35.2	7	-	Thinner ice is easier for ferries. Traffic from ice roads move to ferries
Periodic maintenance, sum	235.4	45		
Paving	68.3	13	++	Pavements have snow cover for shorter periods, and are susceptible to wear
Pavement patching	65.5	12	++	Increasing number of freeze-thaw cycles weathers the pavements
Road marking	15.3	3	0	Bare roads and markings are more vulnerable, but decreasing need for snow removal decreases the wear on markings
Bridge repair	46.4	9	+	Increasing use of salt accelerates corrosion. Flooding
Frost heave repair	15.4	3	+	The groundwater level will rise due to increased rainfall.
Maintenance of road side equipment	20.2	4	0	
Small transportation environment improvements	4.3	1	0	
Operational traffic management	7.4	1	0	The need to forecast freezing rain, winter storms, and floods will increase
Regional investments	25.9	5		
Planning and designing	29.5	6		
OVERALL	528.3	100		

Au moment de planifier de nouvelles routes et ponts, il faut se préparer à une augmentation des risques d'érosion et d'inondation provoqués par des pluies et des débits d'eau en augmentation.

1.9.a

La Base nationale de données routières	Pratique actuelle Norvège
<p>Domaine d'application : Cette base de données contient des informations sur tous les routes nationales, départementales, municipales, routes privées et forestières de Norvège (au total 206 000 km de routes).</p>	
<p>Bénéfique aux domaines suivants : Gestion des actifs, adaptation au changement climatique via des données sur les événements liés à la météo, position et caractéristiques des structures de drainage, protection contre les glissements de terrain, etc.</p>	
<p>Aspects du changement climatique inclus : Tous les aspects du changement climatique profitent d'une base de données de bonne qualité.</p>	
<p>Calendrier : Base précieuse à la fois pour les études dynamiques et les études des effets du temps en fonction des projections climatiques.</p>	
<p>Résumé : La Base nationale de données routières (NRDB) est un système d'information développé dans le but d'assurer une gestion, un entretien et un développement optimaux des routes norvégienne. Elle sert également à assurer un système d'information efficace, pour le propriétaire de la route et les usagers, relativement au trafic et aux incidents survenus sur le réseau routier. La NRDB stocke des informations sur la géométrie et la courbure du réseau routier, sur les restrictions telles que les limites de vitesse et les charges à l'essieu permises, l'équipement routier tel que les glissières, panneaux, fossés, bassins et dépressions, les volumes de trafic et les conséquences de la circulation routière dont le bruit et la pollution, plus des événements tels que les glissements de terrain et accidents de la circulation. Pour s'adapter au changement climatique, il est très avantageux d'avoir accès à de bonnes informations relatives aux systèmes de drainage (position, dimensions des actifs, etc.) qui permettent de calculer la capacité nécessaire et d'évaluer la vulnérabilité. En outre, de bonnes informations sur les événements liés au temps survenus sur le réseau routier permettent d'explorer les effets des conditions météo en général et de détecter les situations futures faisant peser un risque sur la sécurité de la circulation.</p>	
<p>Publications : H. Wethal, T. Hovland, NPRA : <i>Development of a National Road Database in Norway</i></p>	
<p>Contact : Per Roald Andersen, NPRA</p>	

Pour l'administration routière (usagers internes), les domaines d'application sont les suivants : planification et conception des routes, entretien et exploitation, aspects environnementaux (pollution par le bruit et la poussière, aménagement du paysage) et problématiques de sécurité de la circulation, c'est-à-dire statistiques des accidents.

Outre cela, il y a un grand nombre d'usagers externes tels que les agences gouvernementales et les pouvoirs publics locaux (autorités départementales et municipales, la police, le Bureau national de la statistique, l'Autorité de cartographie norvégienne), les compagnies de transports, les sociétés conseil et organisations de recherche.

La base de données s'assortit d'un catalogue dans lequel sont définies toutes les fonctionnalités assorties d'attributs, de listes de codes et d'associations. Les données doivent être stockées conformément au catalogue de fonctionnalités, et ce dernier peut également servir dans d'autres systèmes en association avec des données du NRDB.

L'outil de reportage standard (rapports Oracle) permet d'exporter les données vers des rapports prédéfinis ou définis par l'utilisateur et de les présenter dans ces rapports ; les outils SIG standard permettent également de les visualiser et analyser.

Pour l'adaptation au changement climatique, les problématiques requérant de bonnes données de base sont par exemple la position et la taille des structures de drainage, leur type, l'historique de leurs réparations, les accidents possibles ou d'autres événements.

La fonctionnalité du NRDB en tant qu'outil d'adaptation au changement climatique a été évaluée dans le programme de R&D Climat et Transport (2007-2010). Il en a été conclu que l'on pouvait parvenir à une bonne fonctionnalité au prix de changements mineurs, par exemple en positionnant de façon plus précise les structures de drainage dans le profil de la route, ou en ajoutant quelques fonctionnalités tels que la pente longitudinale des ponceaux. Le manque de données entrantes enregistrées constitue toutefois le facteur critique.

1.9.b

Système d'états de préparation successifs	Pratique actuelle Norvège
<p>Domaine d'application : Gestion des risques dans des conditions météorologiques difficiles.</p>	
<p>Bénéfique aux domaines suivants : Propriétaires de routes, en particulier concernant la coopération avec les entreprises intervenantes responsable de l'exploitation et de l'entretien des routes.</p>	
<p>Aspects du changement climatique inclus : Précipitations plus fréquentes et plus intenses, risque de glissements de terrain et d'avalanches, risques émanant d'inondations.</p>	
<p>Calendrier : Données dynamiques. Bénéfiques à l'adaptation aux changements climatiques.</p>	
<p>Résumé : Le système d'états de préparation successives défini trois états de préparation en plus de l'état de préparation normal des pouvoirs publics. Ces états reçoivent une couleur conforme aux codes couleur du système européen d'alerte en vigueur chez www.meteoalarm.eu :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Jaune : menace possible dans des conditions spéciales, et état de préparation accru. - Orange : intempérie dangereuse pouvant endommager certains sites et requérant un état de préparation élevé. - Rouge : intempéries dangereuses sur plusieurs sites requérant un état de préparation extrême. <p>Ce système permet mieux d'obtenir un état de préparation proactif afin que les conditions météorologiques et les risques soient activement évalués et les mesures correctives fixées avant que des dégâts excessifs ne se produisent.</p> <p>Une série de critères météorologiques va être introduite dans les plans d'état de préparation de chaque entreprise intervenante. En cours de développement, les systèmes d'alerte aux inondations, avalanches et glissements de terrain constitueront un intrant important pour le système.</p>	
<p>Publications :</p>	
<p>Contact : Administration norvégienne des routes publiques, Tore Humstad, tohums@vegvesen.no</p>	

Les figures ci-dessous expliquent brièvement le concept du système d'états de préparation successifs et ses relations avec les systèmes d'alerte avalanche et d'alerte inondation :

(En anglais)



	Roles and involvement	Routines
Extreme		Transport systems at great risk. Emergency measures.
High		Roads at risk. Expertise and management involved
Elevated		Possible threat. Inspections, control and evaluation
Normal		Low threat. Normal awareness and no special efforts
Low		The contractor maintains the roads as usual.

Exemples de la façon dont d'autres systèmes d'alerte pourraient être utilisés comme intrants dans l'évaluation de l'état de préparation :

	Avalanche de neige et état de préparation	Nécessité de fermer la route
Extrême	Risque d'avalanche extrême (niveau 5)	Toujours
Haut	Risque élevé (niveau 4)	Souvent
Elevé	Considérable (niveau 3) + tendance en augmentation	De temps en temps
Normal	Faible à modéré/risque d'aval considérable (1-2/3)	Rarement
Faible	Pas de risque	Jamais

	Inondation et état de préparation	Nécessité de fermer la route
Extrême	Inondation majeure (50 ans et plus)	Toujours
Haut	Inondation intermédiaire (5-50 ans)	Souvent
Elevé	Inondation mineure (5 ans)	De temps en temps
Normal	Pluviométrie normale ; évacuation des eaux normale	Rarement
Faible	Pas de pluie; évacuation des eaux normale ou faible	Jamais

1.9.c

Systèmes informatiques pour communiquer les risques et les alertes	Pratique actuelle Norvège
<p>Domaine d'application :</p> <p>Communication des risques aux usagers de la route et réacheminement en cas de fermeture de route.</p> <p>Maintien de l'exploitation et de la sécurité dans des conditions météo exigeantes ou extrêmes.</p>	
<p>Bénéfique aux domaines suivants :</p> <p>Les ARN (exploitation) et les usagers de la route.</p>	
<p>Aspects du changement climatique inclus :</p> <p>Tempêtes, pluies ou chutes de neige soudaines, risque de glissement de terrain, etc.</p>	
<p>Calendrier :</p> <p>Temps actuel, bénéfique aux conditions climatiques futures.</p>	
<p>Résumé :</p> <p>Le recours aux systèmes de transport intelligents (STI) pour communiquer aux usagers de la route des informations météo et sur l'état de la route est en cours de développement actif. Plus nous recueillons d'expérience sur la performance ces systèmes informatiques et plus il est facile de trouver des solutions améliorées adaptées aux conditions locales.</p> <p>La Norvège a développé des directives nationales visant la mise en place de solutions de STI le long du réseau routier, lesquelles incluent la communication d'informations et d'alertes en présence de conditions météo difficiles. Les directives nationales vont aussi contribuer à un plus vaste usage des STI.</p> <p>En liaison avec le changement climatique, il est particulièrement intéressant d'étudier et de développer des moyens d'améliorer l'information sur les risques provenant des hautes marées et des vagues, des glissements de terrain, des avalanches et des vents violents. Ceci vient s'ajouter aux routines STI servant à communiquer l'état de la route (adhérence, visibilité), des informations sur les réparations en cours, les congestions et les itinéraires alternatifs.</p>	
<p>Publications :</p> <p><i>ITS på veg—En veileder for innføring av vegbaserte ITS-løsninger</i> (Systèmes de transport intelligents sur les routes – Directives visant leur introduction), ISBN:978-82-91228-28-0</p> <p><i>Handlingsplan for ITS 2009–2013</i> (Plan d'action pour les STI)</p>	
<p>Contact :</p> <p>Anders Godal Holt, NPRA, anders-godal.holt@vegvesen.no</p>	

Les routes norvégiennes sont fréquemment exposées à des intempéries rendant la circulation difficile. Certaines situations requièrent une attention spéciale et les STI peuvent servir à offrir un meilleur niveau de sécurité et une meilleure mobilité aux usagers de la route. Les vagues, le risque de glissements de terrain et les vents violents sont quelques exemples des risques pesant sur eux.

Un système d'alerte routier exposé aux **vagues** est en cours d'installation sur un tronçon routier sur les Îles Lofoten. Cette section de route est fréquemment « balayée » par les vagues. Des accidents se sont déjà produits : des voitures ont été emportées en mer et deux personnes ont été blessées. Ce système mesure la marée, la hauteur et la direction des vagues. Les données sont ensuite traitées et servent de base à une fermeture automatique de la route avant que les vagues ne menacent réellement la sécurité. Ce tronçon de route se prêtait idéalement à l'installation d'un tel système. Il est possible qu'en de nombreux autres sites du réseau routier, les systèmes d'alerte aux vagues ne soient pas faciles à installer. Cet exemple montre toutefois les possibilités offertes par les STI pour améliorer la sécurité.



Sur les Îles Lofoten, la route européenne E6 à hauteur de Hamnøy est souvent exposée à la marée haute et aux vagues

De nombreux endroits le long du réseau routier sont exposés à un risque de **glissements de terrain et d'avalanches**. Le but de l'installation d'un système d'alerte : empêcher les véhicules d'accéder à une zone exposée à risque imminent de glissement de terrain, de chute de rochers ou d'avalanche. Ce système combiné à d'autres technologies permet de déterminer le nombre de véhicules déjà présents dans la zone à risque. Stopper le trafic *après* qu'un glissement de terrain ou une avalanche s'est produit(e) constitue une tâche à part.

Des **vents violents** et des turbulences sur terrain accidenté et montagneux peuvent constituer un défi pour le trafic, en particulier sur les ponts. Un système d'alerte installé sur un pont a pour fonction d'informer les usagers de la route sur ce risque et de la nécessité de réduire la vitesse ou – solution alternative – de fermer le pont au trafic. Un vent violent combiné à une route glissante compromet gravement la sécurité de la circulation.

Ces systèmes d'alerte spéciaux ont pour but de permettre la fermeture *automatique* de la route afin qu'aucun véhicule ne puisse pénétrer dans les zones exposées au risque. Toutefois, le personnel au PC circulation de l'ARN va recevoir des informations provenant des systèmes d'alerte et pourra passer outre des décisions et surveiller l'évolution de la situation par caméras interposées.



**La Grande Arche, Sud 19^e
F – 92055 PARIS – LA DÉFENSE
Tél. : + 33 (0)1 40 81 36 87 Fax : + 33 (0)1 40 81 99 16**