

CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET STRATÉGIES D'INVESTISSEMENT SUR LES RÉSEAUX ROUTIERS EXISTANTS : RÉFLEXIONS PRÉLIMINAIRES

JJ FADEUILHE

Direction Technique et de l'Innovation, EGIS, France

jean-jacques.fadeuilhe@egis.fr

RÉSUMÉ

Les changements climatiques, quelles qu'en soient les sources, vont avoir des conséquences sur l'ensemble des pays et une incidence sur toutes les activités économiques et humaines et notamment le secteur des infrastructures routières.

La première partie indique la nécessité d'une approche systémique et systématique des événements climatiques et de leurs conséquences en présentant quelques interactions entre le climat, le réseau routier et les risques d'origine climatique et précise le vocabulaire par référence à la norme ISO 31000 sur le management des risques.

La seconde partie présente le processus de management des risques développé en Europe (projet RIMAROCC), ses objectifs, notamment l'anticipation, et les limites dues à la multiplicité des acteurs et à l'incertitude sur l'évolution des paramètres climatiques.

La troisième partie rappelle les différents types d'actions qui peuvent être envisagés afin d'assurer la continuité de fonctionnement d'un réseau face aux conditions d'évolution du climat.

Enfin la dernière partie propose différentes stratégies d'investissement qui peuvent être envisagées en rappelant que la demande en investissements due aux conséquences du changement climatique sera considérable. Les conséquences souvent malheureuses d'arbitrages intersectoriels rendus sous la pression des événements rendent indispensable l'anticipation des événements et la mise en place de plans pluri-décennaux d'investissement.

Mots clés : infrastructure, changement climatique, risques, stratégies, investissement, anticipation, réseau de transport

« It is not the strongest of the species
that survive or the most intelligent,
but the ones that are most
responsive to change.”
Charles Darwin

L'évolution du climat, telle que prédite par les scientifiques, aura un impact sur le système de transport et notamment sur le réseau d'infrastructures routières.

Le réseau routier français représente aujourd'hui environ 1 million de kilomètres. En l'absence d'événements particuliers (risques naturels et climatiques notamment) il est vraisemblable que le réseau qui sera exploité à la fin du XXIème siècle sera constitué pour 95 à 98% d'infrastructures déjà défini en 2010. Il y a donc là un véritable enjeu, puisque les infrastructures nouvelles étant réalisées en tenant compte de l'évolution du climat c'est sur le réseau existant que devront être réalisés les investissements les plus lourds pour faire face aux conséquences potentielles des risques d'origine climatique.

1. CLIMAT, EVENEMENT CLIMATIQUE ET RISQUE D'ORIGINE CLIMATIQUE

1.1. L'évolution du climat et ses implications

L'évolution du climat, quelles qu'en soient les causes, semble pouvoir se traduire de deux manières :

- une tendance de fond vers un nouveau climat aux caractéristiques différentes du climat actuel, peut-être durablement stables mais en étant conscient que les projections actuelles ne dépassent pas la fin du siècle ;
- une période intermédiaire avec des événements climatiques très marqués parfois en contradiction avec la tendance de long terme, ce qui peut brouiller le message reçu par les décideurs.

Un événement est un changement d'un ensemble particulier de circonstances. Un événement peut être unique ou se reproduire et avoir plusieurs causes. Un événement peut consister en quelque chose qui ne se produit pas. Un événement peut parfois être qualifié « d'incident » ou « d'accident ». Un événement sans conséquences peut également être appelé « quasi-accident » ou « incident » ou « presque succès ». (d'après ISO Guide 73:2009 [1] et ISO 31 000 :2009 Management des risques [2])

On peut illustrer cela de la manière suivante : le réseau routier du nord de la France, entre Paris et la frontière belge, était peu soumis aux cycles gel-dégel jusqu'à la fin du XXème siècle ; l'évolution des températures d'ici la fin du XXIème siècle montre qu'il n'y sera qu'exceptionnellement soumis à cette époque-là mais que par contre il est très vraisemblable qu'il y aura d'ici-là (jusqu'en 2050 ?) une augmentation très sensible du nombre de cycles gel-dégels annuels certains hivers avec les conséquences qui sont connues sur les chaussées.

On notera également que certains événements sont des événements « lents » (slow-onset events en anglais). C'est le cas par exemple des sécheresses, qui peuvent endommager les routes mais ne sont pas des « événements » tels que les non-spécialistes les envisagent généralement.

Une conséquence est l'effet d'un événement affectant les objectifs. Un événement peut engendrer une série de conséquences. Une conséquence peut être certaine ou incertaine et peut avoir des effets positifs ou négatifs sur l'atteinte des objectifs. Les conséquences peuvent être exprimées de façon qualitative ou quantitative. Des conséquences initiales peuvent déclencher des réactions en chaîne. [d'après ISO Guide 73:2009 et ISO 31 000 :2009 Management des risques]

L'analyse de ces événements climatiques et de leurs conséquences sur les infrastructures routières nécessite donc une approche spécifique. Les études menées depuis quelques

années (en Grande-Bretagne et en France au sein d'EGIS notamment) ont montré l'intérêt d'une approche basée sur les méthodes d'analyse de risques.

Un risque est l'effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs. Un effet est un écart, positif et/ou négatif, par rapport à une attente. Les objectifs peuvent avoir différents aspects (par exemple buts financiers, de santé et de sécurité, ou environnementaux) et peuvent concerner différents niveaux (niveau stratégique, niveau d'un projet, d'un produit, d'un processus ou d'un organisme tout entier). Un risque est souvent caractérisé en référence à des événements et/ou des conséquences potentiels ou à une combinaison des deux. Un risque est souvent exprimé en termes de combinaison des conséquences d'un événement (incluant des changements de circonstances) et de sa vraisemblance. L'incertitude est l'état, même partiel, de défaut d'information concernant la compréhension ou la connaissance d'un événement, de ses conséquences ou de sa vraisemblance. [d'après ISO Guide 73:2009 et ISO 31 000 :2009 Management des risques]

1.2. La notion de risque d'origine climatique dans le domaine routier

Les risques d'origine climatique proviennent de la possibilité que les événements climatiques à venir puissent diverger notablement de ceux pris en considération lors du dimensionnement des ouvrages routiers¹. Ce dimensionnement, qui intervient soit lors de la conception de l'ouvrage soit lors d'une remise à niveau, tient compte des données climatiques connues à ce moment. Le couple climatologie / dimensionnement constitue ce que nous appelons la « bulle » technico-climatique de référence et les facteurs de dimensionnement sont définis en référence à des prescriptions.

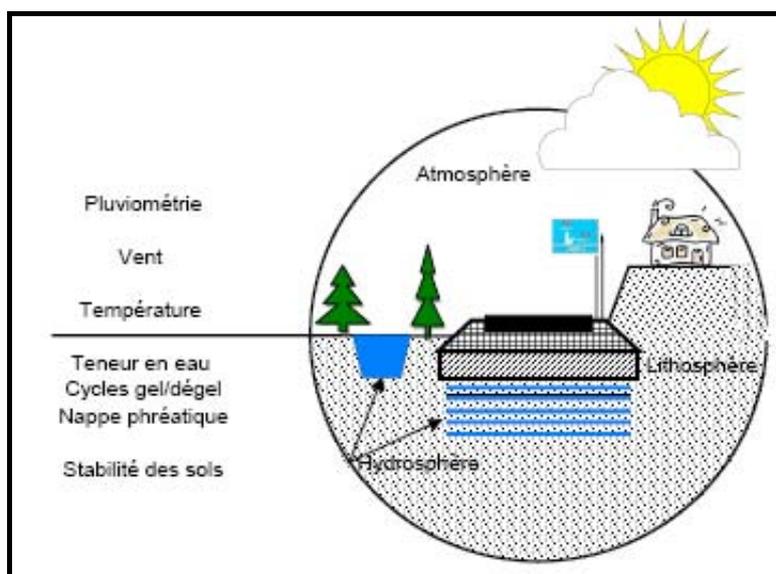


Figure 1 - Représentation de la bulle climatique

La conception et le dimensionnement d'une route en tant qu'ouvrage (et, au-delà d'une route, de toute infrastructure) se font en tenant compte de la « bulle » climatique correspondant à sa localisation : températures, hygrométrie, pluviométrie, etc. exprimés en termes de minimum ou de maximum ou d'une plage mini-maxi. La prise en compte des prévisions d'évolution de ces paramètres n'est intervenue que récemment.

¹ S'agissant de l'étude des réseaux existants, il n'y a pas d'opportunité correspondante. Par contre, lorsque l'on étudie les risques d'origine climatique susceptibles d'affecter les nouvelles infrastructures, ou dans le cas de certaines grosses réparations, on se trouve dans le cas classique dans lequel on cherche à identifier risques et opportunités.

1.3. Représentation du processus d'un risque d'origine climatique

Le risque se concrétise à travers un processus que l'on peut représenter comme suit :

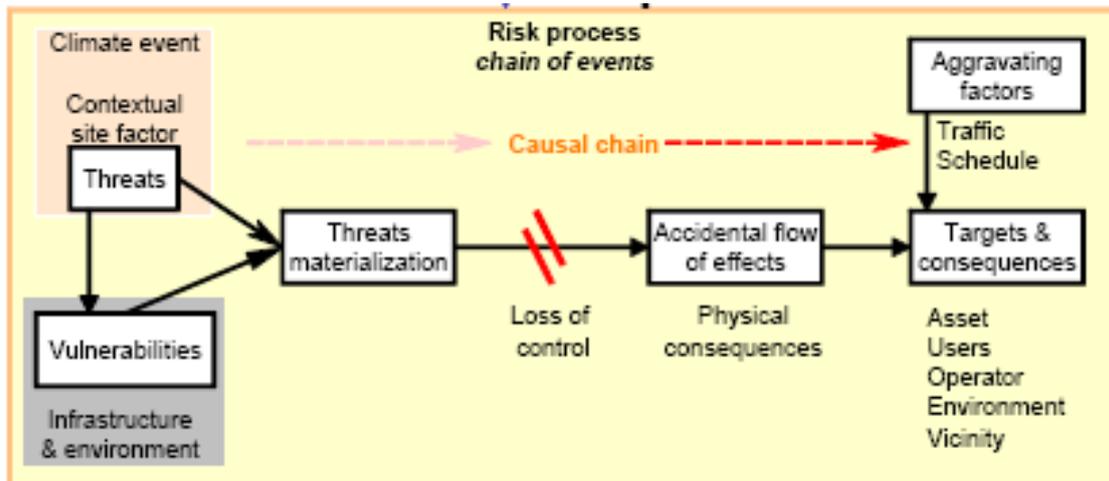


Figure 2 - Processus de déroulement d'un risque d'origine climatique

1.4. Caractérisation des risques d'origine climatique²

Les risques d'origine climatique peuvent être caractérisés par 3 composantes : menaces, vulnérabilité et conséquences [3]: $\text{Risque} = f[\text{Menaces}, \text{Vulnérabilités}, \text{Conséquences}]$

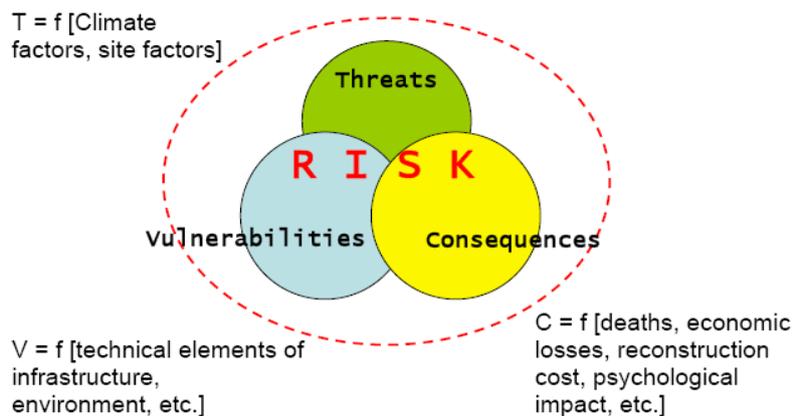


Figure 3 - Représentation de la caractérisation d'un risque

Les menaces sont constituées d'une part par les événements climatiques extérieurs à la « bulle » climatique de référence et d'autre part par le contexte dans lequel se situe la route. Ce facteur de risque contextuel sera, par exemple, l'imperméabilisation ou la déforestation d'une partie du bassin versant amont, ou encore la modification des pratiques culturelles. Le facteur de risque contextuel peut être considéré comme un facteur aggravant.

Les vulnérabilités peuvent être définies comme des failles ou des points faibles susceptibles de provoquer des dommages en cas d'exposition à un événement climatique extrême. Ces failles ou ces points faibles doivent être appréciés dans leur contexte (et donc par rapport à leur niveau d'exposition) : tel élément sera un point faible dans une zone exposée à un accroissement de la pluviométrie mais ne le sera pas si la zone est exposée à un accroissement des vents. La vulnérabilité du système de transport dépend donc de sa

² La caractérisation du risque est à distinguer du niveau de risque (importance d'un risque, exprimée en termes de combinaison des conséquences et de leur vraisemblance) et de la notion de criticité.

sensibilité ou de celle de l'un de ses composants à une exposition aux événements climatiques. Cette vulnérabilité peut être diminuée si le système dispose d'une capacité d'adaptation (le radier submersible, qui est peu utilisé sur les réseaux routiers français, en est un bon exemple). La vulnérabilité est liée principalement à deux éléments : les éléments techniques (conception, réalisation, vieillissement et qualité de la maintenance) et la localisation de la section ou de l'ouvrage (site et son contexte).

L'interaction entre des menaces et des vulnérabilités entraîne une réaction en chaîne qui va engendrer, passé un certain seuil qui peut être déterminé par le dimensionnement de l'ouvrage, un événement non souhaité qui va induire une perte de contrôle ou de maîtrise de l'ouvrage, provoquant généralement un flux d'effets débouchant sur des conséquences. Le flux d'effets sera, par exemple pour une inondation, la montée des eaux, un glissement de terrain, des torrents de boues, des débris de toute nature obstruant les ouvrages hydrauliques.

Les conséquences seront des dommages plus ou moins importants causés au réseau qui vont eux-mêmes entraîner des conséquences sur le système de transport (usagers, exploitant, opérateurs de transport), sur les riverains, sur le système économique et social, l'environnement, etc. Ces conséquences peuvent être des conséquences immédiates (revêtement de chaussée détruit par une inondation) ou à moyen-long terme (effets de l'imbibition d'un remblai ou renard). En outre certaines de ces conséquences peuvent être amplifiées par des facteurs aggravants (saison et heures de l'événement par exemple). Elles peuvent être classées en 6 domaines principaux :

- Les atteintes à la sécurité et à la vie humaine (blessés et morts),
- Les coûts liés à la remise en état ou à la reconstruction de l'infrastructure endommagée,
- Les pertes d'exploitation pour l'opérateur liées à l'indisponibilité de l'infrastructure,
- Le coût économique et social de l'impact au plan local, régional, national et éventuellement international,
- La dégradation de l'image, la perte de confiance ou de prestige, les conséquences politiques,
- L'impact sur l'environnement.

Les premières études réalisées en France, dans le cadre du projet GERICI [4] [5] depuis 2004, puis sur le réseau Nord de la SANEF (par EGIS) ou sur la route littorale entre Sète et Agde, montrent l'importance des conséquences des risques d'origine climatique et la nécessité de protéger le réseau pour assurer la continuité de fonctionnement du système de transport.

La question de la protection du réseau routier doit être posée clairement et une politique de mitigation des risques associés à l'évolution du climat doit être définie en conséquence. A travers la protection du réseau routier, ce que l'on vise est la limitation de l'impact que les événements climatiques peuvent avoir sur le système de transport et sur l'environnement.

1.5. Vraisemblance de l'apparition des événements climatiques

Même si nous n'avons aucune certitude sur l'apparition de ces événements climatiques et sur leur fréquence, les climatologues nous indiquent que cela est vraisemblable et pourrait se produire à telle ou telle époque. Ces prédictions sont basées sur des projections faites à l'aide de modèles qui sont, certes, de plus en plus précis mais qui n'intègrent pas encore l'ensemble des facteurs susceptibles d'influer sur le climat, et que la principale incertitude porte sur les scénarios du GIEC (SRES) à considérer. C'est pourquoi dans les calculs

d'analyse de risques on utilise des indices qui donnent une indication générale mais qui ne résultent pas d'une loi probabiliste.

La vraisemblance est la possibilité que quelque chose se produise. Dans la terminologie du management du risque, le mot «vraisemblance» est utilisé pour indiquer la possibilité que quelque chose se produise, que cette possibilité soit définie, mesurée ou déterminée de façon objective ou subjective, qualitative ou quantitative, et qu'elle soit décrite au moyen de termes généraux ou mathématiques (telles une probabilité ou une fréquence sur une période donnée). Le terme anglais «likelihood» (vraisemblance) n'a pas d'équivalent direct dans certaines langues et c'est souvent l'équivalent du terme «probability» (probabilité) qui est utilisé à la place. En anglais, cependant, le terme «probability» (probabilité) est souvent limité à son interprétation mathématique. Par conséquent, dans la terminologie du management du risque, le terme «vraisemblance» est utilisé avec l'intention qu'il fasse l'objet d'une interprétation aussi large que celle dont bénéficie le terme «probability» (probabilité) dans de nombreuses langues autres que l'anglais. [d'après ISO Guide 73:2009]

2. LE MANAGEMENT DU RISQUE : UN OUTIL D'ANTICIPATION

Définir une stratégie de protection et de fonctionnement des infrastructures routières et préparer la politique d'investissement correspondante, visant la fin du siècle, nécessitent de disposer de données que le management des risques grâce à son approche globale et à ses revues régulières peut nous fournir.

2.1. Objectifs et spécificités du management des risques d'origine climatique

Manager les risques consiste à mener un ensemble d'activités coordonnées dans le but de diriger et piloter un organisme vis-à-vis du risque. On ne manage pas les risques d'origine climatique d'une manière générale mais un opérateur (Direction des Routes au niveau national ou local, société concessionnaire d'autoroute, etc.) manage les risques d'origine climatique susceptibles d'impacter les infrastructures dont il a la charge. L'une des particularités du management de ce type de risque est que l'organisme en question n'est pas le seul propriétaire³ des risques susceptibles d'affecter les infrastructures.

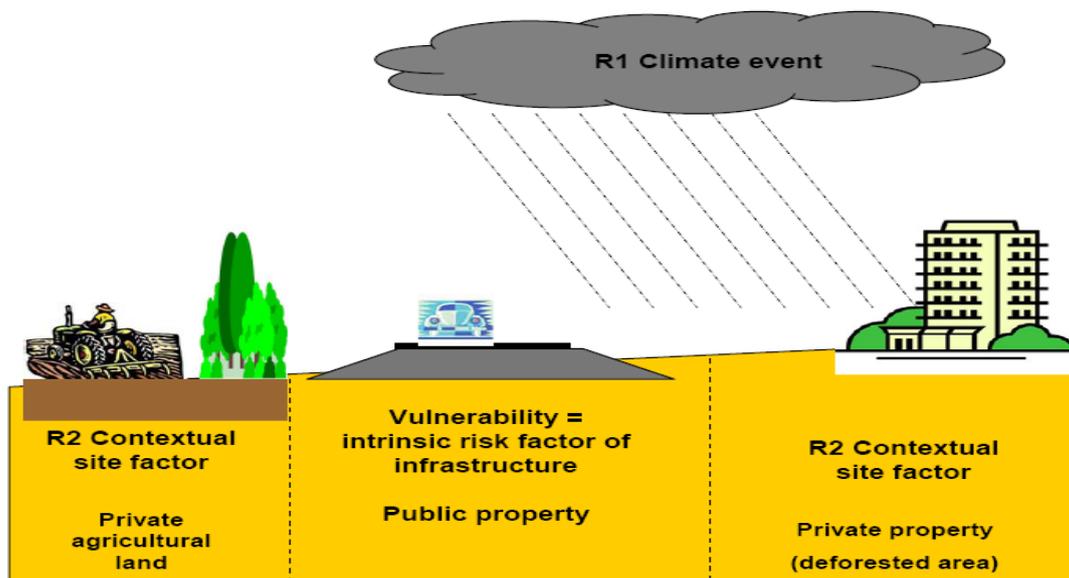


Figure 4 - Identification des porteurs de risques

³ Le propriétaire du risque est l'entité ayant la responsabilité du risque et ayant autorité pour le gérer.

Des problèmes de domanialité se posent, comme le montre le schéma ci-dessus (à l'aval, des changements de pratiques culturelles peuvent entrainer une diminution de la capacité des exutoires naturels, tandis qu'à l'amont la déforestation et l'urbanisation postérieures à la construction de la route augmentent significativement les débits d'eau pluviale) et d'autres organismes sont les propriétaires de ceux que nous appelons les risques contextuels. Ces questions vont amener à impliquer d'autres acteurs dans le management des risques d'origine climatique. C'est à une analyse systémique et systématique qu'il va falloir se livrer.

Un facteur complémentaire de complexité de l'approche provient de ce que l'évolution des phénomènes météorologiques est mal connue, qu'elle va être progressive et incertaine dans ses manifestations et qu'elle va se produire sur une longue période (le siècle et plus) pendant laquelle l'ensemble des systèmes technologiques, politiques, économiques et sociaux vont également évoluer.

2.2. Un processus de management des risques d'origine climatique : RIMAROCC⁴

Le processus de management des risques et la méthode développés dans le cadre du projet RIMAROCC sont basés sur la norme ISO 31000 Management des risques.

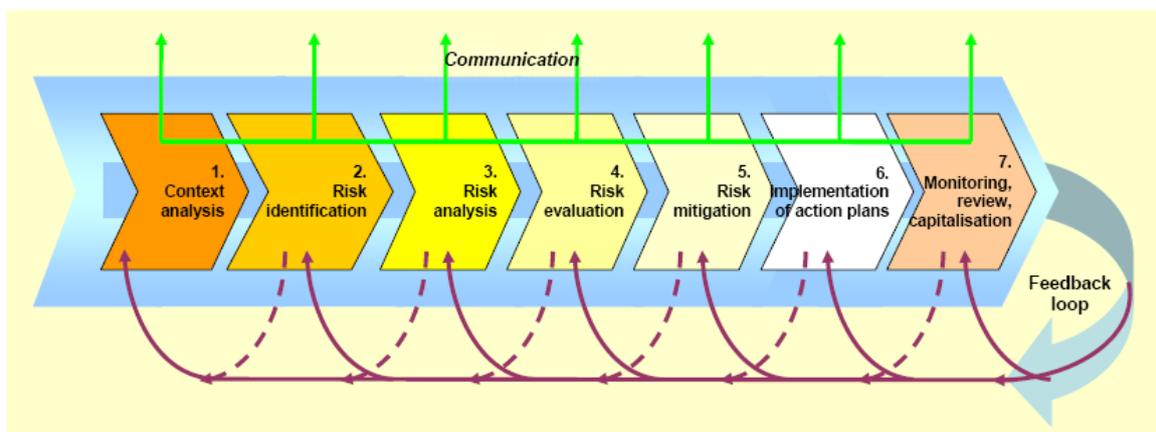


Figure 5 - Processus de management des risques d'origine climatique proposé dans RIMAROCC

C'est un processus itératif comprenant 7 étapes, détaillé dans un Guidebook accessible sur internet [6].

Un processus de management du risque est une application systématique de politiques, procédures et pratiques de management aux activités de communication, de concertation, d'établissement du contexte, ainsi qu'aux activités d'identification, d'analyse, d'évaluation, de traitement, de surveillance et de revue des risques.

2.3. Management du risque et mitigation

L'objectif principal du management du risque est de mettre en place un traitement adapté afin d'arriver à réduire (mitiger) les conséquences de ce risque soit en prenant des dispositions concernant la source du risque, soit en prenant des mesures visant à limiter les conséquences.

⁴ La méthode RIMAROCC (Risk Management for Roads in a Changing Climate) a été développée par un consortium européen conduit par le Swedish Geotechnical Institute et comprenant l'ingénieur français EGIS, le Norwegian Geotechnical Institute et le néerlandais Deltares. Les commanditaires de ce projet étaient les Directions des Routes de 11 pays européens.

Il faut rappeler que le traitement du risque peut créer de nouveaux risques et/ou modifier les caractéristiques d'autres risques. Par ailleurs, dans la plupart des cas il restera un risque résiduel qu'il ne faudra pas oublier.

3. UN OBJECTIF FACE AUX RISQUES D'ORIGINE CLIMATIQUE : ASSURER LA CONTINUITÉ DE FONCTIONNEMENT DU RESEAU PAR UNE PROTECTION APPROPRIÉE

Protéger un réseau consiste à définir puis à mettre en œuvre un ensemble de moyens adaptés et planifiés en vue de supprimer ou de limiter les conséquences de l'impact d'un événement climatique sur le système de transport (réseau/patrimoine, usagers, système économique, etc.) afin d'assurer la continuité de fonctionnement du réseau.

L'objectif des programmes de protection [7] sera donc de proposer des mesures permettant de :

- Réduire les menaces : en agissant non sur l'événement climatique en lui-même (on ne sait pas empêcher la pluie de tomber) mais sur les facteurs contextuels dont quelques exemples ont été indiqués ci-dessus.
- Mitiger les vulnérabilités : réduire la susceptibilité de l'infrastructure ou de ses composants aux destructions, perte de capacité ou de possibilité d'exploitation, en remplaçant certains matériaux, en renforçant certaines structures, en mettant en place des protections ou en modifiant l'implantation ou la localisation de la route ou de l'ouvrage, etc. Pour cela, il faut disposer d'une analyse de tendance consolidée de l'évolution climatique ou d'occurrence d'événements exceptionnels par rapport à la sensibilité de l'ouvrage ou du réseau, ce qui justifie la mise en place d'un point zéro (que peut, aujourd'hui, supporter tel ouvrage ou tel réseau dans sa conception ou configuration actuelle sans modifications).
- Minimiser les conséquences : réduire les pertes possibles résultant des dommages créés par un événement climatique par la mise en place de plans d'alerte et de plans de transport alternatifs par exemple.

Ces programmes de protection doivent être conçus dans le cadre d'une analyse globale et systémique intégrant l'impact possible des risques d'origine climatique sur d'autres éléments du système économique et social et cela pendant la période qui va de la concrétisation du risque jusqu'au complet rétablissement des fonctions assurées par l'infrastructure.

La stratégie de protection à mettre en œuvre comprendra, de manière classique, 4 composantes (prévention, protection, réponse, rétablissement) déclinées par rapport au cas particulier du secteur routier :

- Les actions de prévention sont conduites en vue de prévenir, détecter ou réduire les menaces, notamment pour protéger la vie humaine et les biens ;
- Les actions de protection sont réalisées afin de réduire les vulnérabilités et/ou de minimiser les conséquences face à un événement climatique extrême, elles peuvent porter sur le renforcement d'une section localisée mais également aller jusqu'à la reconstruction d'une section ou d'un ouvrage sur un nouveau tracé plus approprié ;
- Les actions de réponse sont des activités planifiées en vue de disposer, en cas de nécessité, d'une réaction immédiate et d'une réponse d'urgence aux conséquences immédiates d'un événement climatique extrême ; elles incluent l'élaboration de plans de réponse, la formation et la conduite d'exercices, l'acquisition d'équipements de secours adaptés, etc.

- Les actions de rétablissement sont mises en œuvre après l'évènement ; elles visent à rendre le système de transport à nouveau opérant. Ces actions comprennent aussi bien les travaux de remise en état ou de reconstruction que l'analyse des événements passés, la réactualisation des actions de prévention, de protection ou de réponse sur d'autres portions du réseau routier. Elles peuvent s'appuyer sur la réalisation d'un état zéro de la sensibilité.

Tableau 1 – Objectifs des actions à engager

	Agir sur les menaces	Réduire les vulnérabilités	Minimiser les conséquences
Prévention	Oui	Oui	Oui
Protection	Non	Oui	Oui
Réponse	Non	Non	Oui
Rétablissement	Non	Non	Oui

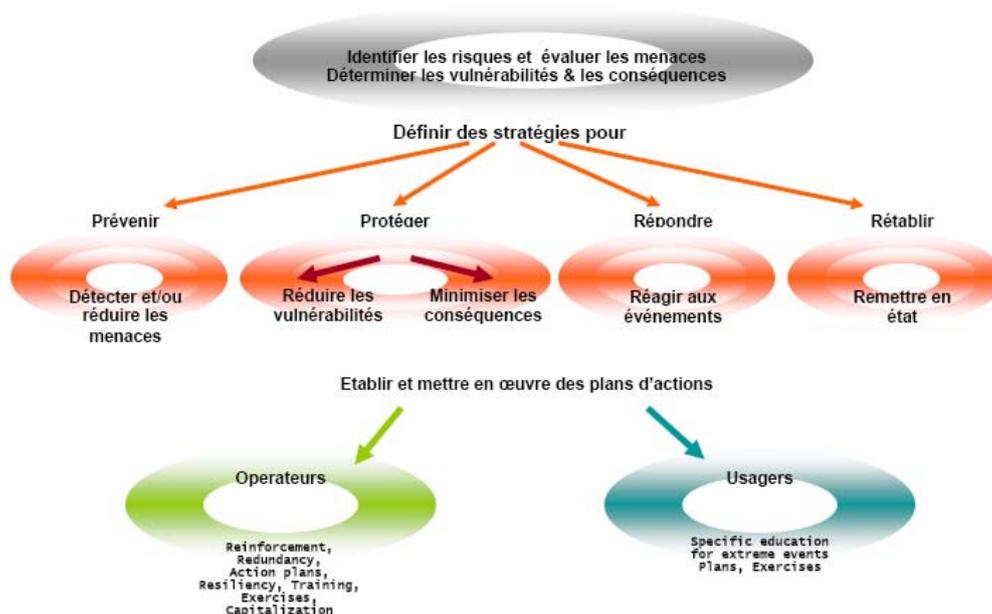


Figure 6 Les réponses possibles

Quelles que soient la nature et la gravité de l'impact des événements climatiques, on n'est pas certain aujourd'hui que l'ensemble du réseau routier pourra être mis à niveau, même sur une longue période. Il faudra par conséquent déterminer des ordres de priorité qui pourront évoluer dans le temps. Il est donc nécessaire de procéder, dès le début de la réflexion, à une analyse et une catégorisation des ouvrages et réseaux selon leur fonction et les types de réponses que l'on doit être capable d'apporter en cas d'évènement climatique. Selon la nature des trafics supportés, le rôle que joue chaque axe routier et la définition que l'on retient de la notion de risque acceptable, on pourrait par exemple envisager les catégories suivantes (à mettre en cohérence avec l'approche européenne « key infrastructures ») :

- l'infrastructure peut être utilisée en toutes circonstances (excepté pendant l'évènement et les 3 heures⁵ qui suivent, pour des raisons de sécurité : par exemple en cas de vent supérieur à 120 km/h), elle est de type durci⁶,

⁵ Durée indicative nécessaire pour s'assurer de la traficabilité d'un itinéraire et procéder à un balisage éventuel.

⁶ il y aura toujours des événements qui détruisent des infrastructures durcies : on ne peut pas durcir « à l'infini » les infrastructures clés. Il faut donc accepter une probabilité (0.1% par an ?) d'avoir un événement pour lequel même les infrastructures durcies sont inopérantes.

- B. l'infrastructure serait disponible sous 3 jours après le début de l'événement (3 jours d'autonomie pour les ménages, les industries et les services : élément de la résilience),
- C. l'infrastructure serait utilisable en mode dégradé au bout des 3 jours et pour une durée à déterminer au cas par cas (éventuellement indéterminée si faible trafic),
- D. l'infrastructure serait impraticable et nécessiterait des travaux pour la rendre utilisable ou bien il faudrait l'abandonner.

Le classement entre ces différentes catégories dépendra des conséquences d'une interruption du trafic. Des analyses coûts-bénéfices peuvent servir à identifier dans quelle catégorie se trouve une infrastructure. Toutefois certains axes ont une importance stratégique et devront être durcis quels que soient les résultats d'études socio-économiques, car les équipements (centre hospitalier, pôles industriels, aéroports, etc.) ou le volume de population qu'ils desservent sont stratégiques.

La stratégie à retenir, fondée sur une combinaison de ces composantes, devra être reliée à un programme pluri-décennal d'investissements basé à la fois sur la connaissance et l'évolution des phénomènes météorologiques, sur les différentes options techniques possibles pour assurer la continuité de fonctionnement du réseau, et sur des analyses socio-économiques permettant de justifier les investissements à réaliser.

4. STRATÉGIES D'INVESTISSEMENT

4.1. Les déterminants de la stratégie d'investissements publics

4.1.1. Un problème global

Le changement climatique n'impactera pas uniquement les infrastructures de transport mais l'ensemble du système socio-économique et ceci dans l'ensemble des pays. La figure ci-dessous, adaptée de MacCracken [8] indique quels pourraient être les principaux impacts.

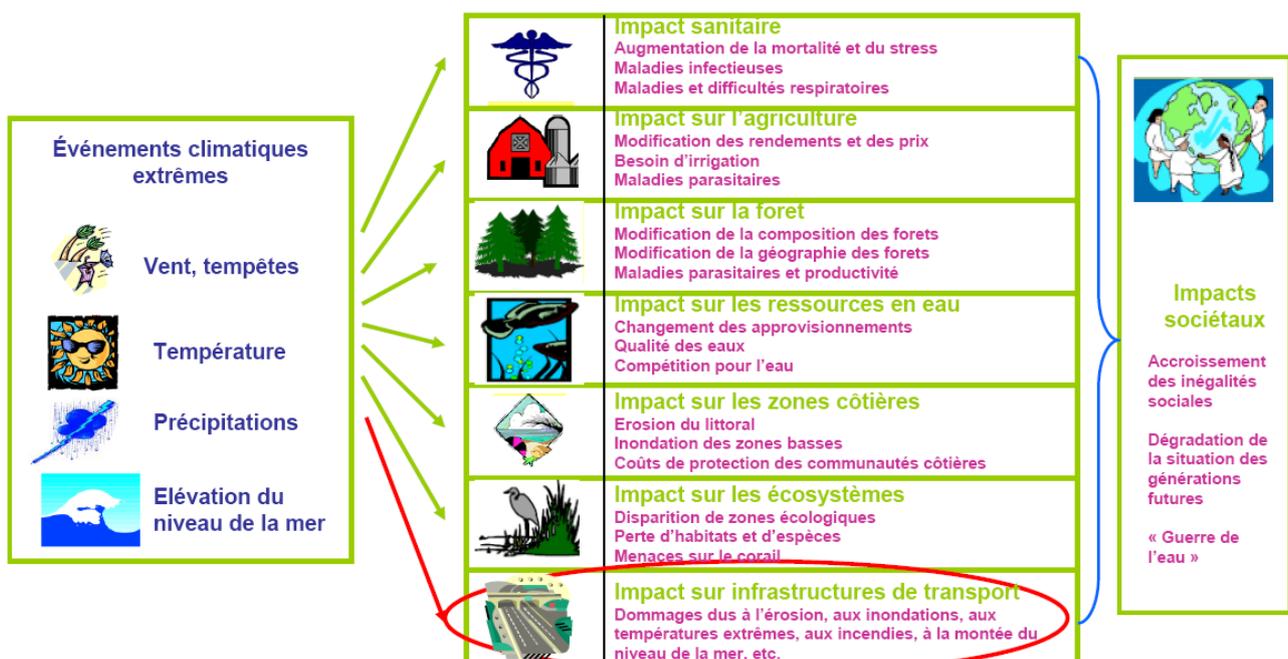


Figure 7 - Impact des événements climatiques sur le système socio-économique

4.1.2. Des besoins de financements importants et difficiles à programmer

Le montant des investissements rendus nécessaires par l'adaptation au changement climatique sera extrêmement important (cf. Rapport Stern [9]), même étalés dans le temps, avec des risques au niveau de leur programmation compte tenu des incertitudes qui pèsent encore sur le « calendrier » d'apparition des événements climatiques.

4.1.3. Une échelle de temps très particulière

Les évolutions du climat vont se produire sur une période très longue en regard de la vie humaine et des notions classiques de court, moyen et long termes. Par ailleurs, l'incertitude qui demeure sur le séquençage de ces différents événements et sur leurs conséquences possibles aux différents horizons climatiques retenus par les climatologues contribue à brouiller le message reçu par les décideurs.

Aux 3 horizons 2050, 2070 et 2100, il n'est pas évident, toutes choses égales par ailleurs, que les conséquences aillent en empirant. On peut en effet tout à fait envisager une période d'événements climatiques extrêmes produisant des conséquences graves mais de manière peu fréquente, suivie de périodes d'événements d'importance moyenne mais de fréquence beaucoup plus régulière. Plus qu'au changement climatique, il convient de mieux s'adapter aux variations climatiques à venir.

4.1.4. Des arbitrages difficiles à rendre

Au niveau de chaque pays, une fois le choix des solutions techniquement possibles arrêté, des arbitrages financiers seront à rendre. La figure 8 ci-dessous, basée sur les travaux de Rasmussen et Svedung [10], propose une représentation simplifiée du rôle et des responsabilités de chacun des acteurs impliqués dans les investissements à réaliser.

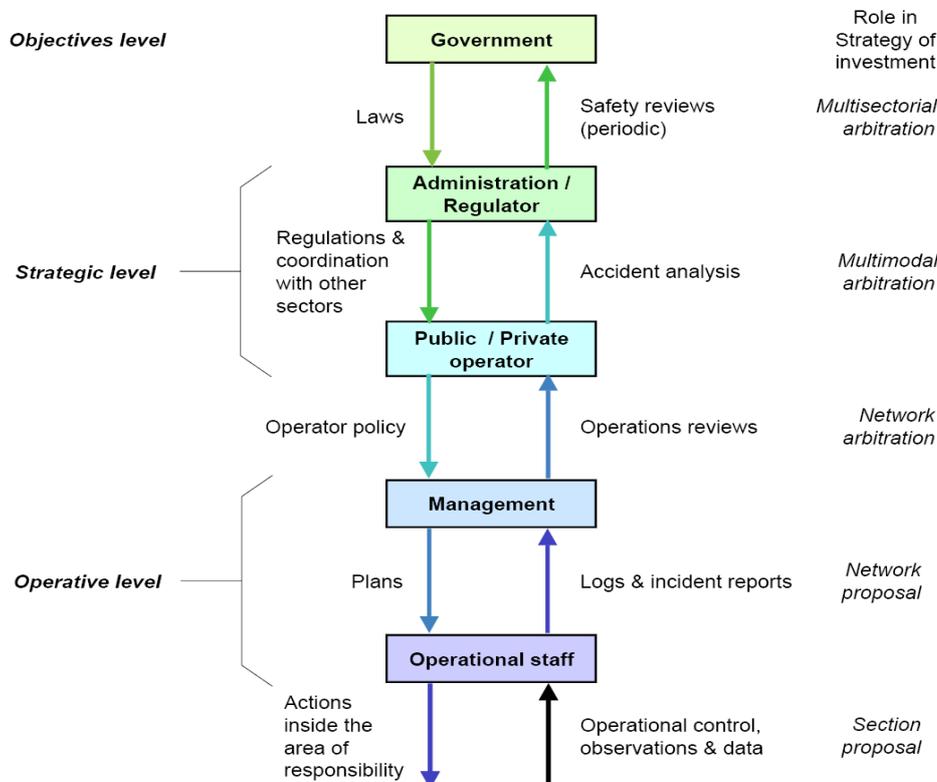


Figure 8 - Rôles et responsabilités des acteurs

4.1.5. Investissements neufs et investissements de mise à niveau des réseaux existants

Si les stratégies d'investissements neufs prennent désormais bien en compte le changement climatique (Hallegatte [11], Groves [12]) peu de stratégies ont été définies jusqu'à présent dans le domaine des réseaux existants (UK Highways Agency [13] [14]), bien qu'il commence à y avoir sur ce sujet une certaine prise de conscience [15].

Dans le cadre d'un investissement neuf, différentes variantes peuvent être étudiées et des critères clairs peuvent être définis pour procéder au choix. Pour les investissements concernant le renouvellement ou la mise à niveau de réseaux existants, les critères à déterminer sont de nature différente et incluent une part importante de politique, de sociologie et de poids de l'histoire. Par ailleurs, ce qui est facile et peu cher lorsque l'on réalise un investissement neuf devient très vite difficile et onéreux sur les réseaux existants, il n'y a pas d'option gratuite (entretien avec S. Hallegatte 2010).

4.2. Eléments pour une stratégie d'investissement adaptée

4.2.1. Une approche nouvelle

Les études d'élaboration d'une stratégie d'investissement sur réseaux existants doivent s'inscrire plus systématiquement qu'aujourd'hui dans le cadre d'une approche systémique : la préoccupation est le fonctionnement du système de transport et non le seul réseau routier en tant que tel. Ces études doivent également inclure l'examen de la redondance modale ou multimodale. De telles études peuvent être longues et onéreuses et leur niveau de précision reste relativement incertain. Pour les cas simples, un bon travail d'experts peut permettre de cerner plus rapidement les niveaux de services attendus de chaque élément du réseau routier.

Les actions retenues devront systématiquement être évaluées, comparées aux conséquences potentielles et tenir compte de la politique nationale, ou de celle de la structure responsable, en matière d'acceptabilité du risque (en termes économiques, sociaux, juridiques, politiques ou moraux) et de principe de précaution. La prise en compte des risques résiduels devra également être intégrée aux calculs.

Les solutions possibles devront être étudiées à différentes échelles afin d'intégrer aussi bien les problèmes de desserte locale que les problèmes de transit à longue distance (avec mise en place d'itinéraires alternatifs). Au niveau territorial, il est souhaitable que cette approche soit multimodale. L'établissement d'un plan directeur de transport « durci » peut être envisagé.

Une anticipation permanente, à travers des revues de risques régulières, devra être mise en place afin de prendre en compte de nouveaux risques potentiels résultant des avancées de l'étude du climat.

4.2.2. Les stratégies envisageables

L'élaboration des stratégies doit s'appuyer sur une excellente connaissance des réseaux maillant le territoire, de leur trafic et de leur rôle en termes économique et social.

Les indications données ci-après sont exposées dans un ordre aléatoire, et ne préfigurent aucune priorisation de l'une par rapport à l'autre.

1. Stratégie de renforcement de la maintenance préventive

Les premiers effets du changement climatique, déjà ressentis depuis plusieurs années, montrent que les dépenses de maintenance courante vont vraisemblablement aller en s'accroissant et que des programmes supplémentaires de maintenance lourde devront être engagés, sans que l'on soit capable aujourd'hui d'en définir l'ampleur et le contenu. Ces dépenses ne visent pas au durcissement mais au maintien de certaines caractéristiques techniques.

2. Stratégie « wait and see » : vers l'abandon de certaines routes

Les routes endommagées sont généralement remises en état à l'identique (sans changement de caractéristiques) et avec fermeture temporaire, au fur et à mesure.

Toutefois, arrivés à un certain point, les coûts de maintenance peuvent devenir prohibitifs par rapport aux avantages retirés de l'utilisation d'une route. Il faudra donc cesser d'essayer de sauvegarder la route. Les fonctions assumées seront alors reportées sur des itinéraires alternatifs.

Il est également possible d'attendre que la ruine d'un ouvrage ou d'une section soit « proche » avant de reconstruire pour répondre pleinement aux nouvelles conditions : il y a un moment « optimal » pour abandonner une infrastructure, en fonction de son état actuel, de ses usages futurs et de son coût d'entretien ou de rénovation.

3. Stratégie de développement de la redondance modale et intermodale

Lorsque deux axes routiers permettent de desservir le même point (même si l'un a un linéaire plus long que l'autre), on peut être amené à concentrer les investissements sur l'un d'eux de manière à mieux garantir la continuité de fonctionnement. De même, si d'autres modes de transport sont possibles, on peut considérer que seul l'un d'eux doit être durci si l'autre peut être rétabli dans un délai acceptable.

4. Stratégie de durcissement préventif

En fonction de l'importance stratégique d'un axe routier, on pourra envisager les options suivantes :

- a. **durcissement** : l'infrastructure doit être utilisable en toutes circonstances (excepté pendant l'événement et les 3 heures qui suivent, pour des raisons de sécurité : par exemple en cas de vent supérieur à 120 km/h)
- b. **semi-durcissement** : rendre l'infrastructure totalement utilisable sous 3 jours après le début de l'événement (3 jours d'autonomie pour les ménages, les industries et les services : élément de la résilience), les services d'urgence pouvant être équipés d'engins spécifiques si les événements d'origine ont une certaine récurrence (par exemple 1 fois tous les 5 ans), ou bien recourir à un parc de véhicules régional, national ou militaire.

5. Stratégie de durcissement a posteriori

On attend l'événement climatique pour procéder à un durcissement ou à un semi durcissement avec fermeture pour une durée à définir, la fermeture provisoire est acceptée et il pourra y avoir ponctuellement un niveau de service dégradé après travaux.

6. Stratégie de sélection stricte et de programmation d'investissements neufs

Certains axes devront être créés avant (de façon préventive) ou rétablis après la survenance d'événement climatique ; toutes les dispositions concernant la prise en considération du changement climatique devront être intégrées dans la conception de ces investissements, notamment une cartographie initiale et des projections selon l'ampleur des phénomènes envisageables, ainsi qu'un carnet de route « action » avec des seuils d'alerte et d'intervention visant à anticiper la condition critique. Cette stratégie pourrait permettre à

terme de déboucher sur la mise en place d'un réseau structurant stratégique durci ou semi durci.

4.2.3. Mesures d'accompagnement

Quelles que soient la ou les stratégies retenues, un certain nombre de mesures d'accompagnement devront être étudiées et mises en œuvre :

- Etablissement de cartographies du réseau actuel en basant l'approche sur une analyse du type : nature de l'événement / type de route ou d'ouvrage / impacts potentiels par seuils (de température, de vent,...) / acceptabilité.
- Développement de l'anticipation et de l'information
- Disponibilités de parcs de véhicules d'urgence adaptés aux conditions découlant des dommages éventuels causés à l'infrastructure
- Acquisition de matériels et produits d'entretien (exemple : déneigeuses,...)

4.2.4. Une stratégie à l'échelle d'un territoire

Il ne faut pas perdre de vue que la stratégie d'investissement à établir concerne un territoire. Cette stratégie devra intégrer la redondance de certaines liaisons ainsi qu'une vision multimodale, certaines liaisons pouvant être assurée par voie ferrée, voire par voie navigable pour les trafics lourds.

La question peut être posée de disposer d'une catégorie d'infrastructures pouvant être utilisées pendant les événements (pour les véhicules de secours, par exemple). Mais peut-être est-il plus judicieux de disposer de véhicules adaptés plutôt que d'investir dans des routes exagérément durcies.

Le comportement de la société civile, longtemps habituée à des niveaux de service auxquels elle ne pourra plus prétendre, devra également s'adapter.

En définitive, la stratégie d'investissement proposée sera une combinaison des différents éléments évoqués ci-dessus (ou d'autres). Elle devra être suffisamment souple pour pouvoir s'adapter dans le temps, la remise en cause de certains choix techniques ne devra pas entraîner une remise en cause globale et les investissements réalisés ne devront pas être « perdus » en cas d'évolution différente de celle actuellement envisagée.

5. CONCLUSION A CETTE ETAPE

Il n'y aura pas une mais des stratégies à mettre en œuvre dans les décennies à venir et celles-ci seront vraisemblablement remises en cause de manière assez régulière par l'avancée des connaissances sur l'évolution du climat et par les choix politiques, économiques, sociaux, éthiques, etc. auxquels les décideurs seront confrontés. Ces incertitudes ne sont pas une raison pour ne rien faire mais au contraire une raison pour approfondir le champ des connaissances en matière d'évolution du climat afin de pouvoir mieux anticiper et disposer d'infrastructures opérationnelles aux différentes étapes d'évolution du climat de notre planète.

La solution proposée d'une anticipation pertinente des phénomènes climatiques et de leurs conséquences, s'appuyant :

- d'une part, sur une approche systémique et systématique des événements climatiques et de leurs conséquences,
- et d'autre part, sur la mise en place de plans pluri-décennaux d'investissement intégrant un volet court terme (pour faire face aux menaces déjà actuelles qui devront être identifiées par un diagnostic de la situation de référence ou point « zéro ») ainsi que des volets moyen et long termes

peut permettre de garder opérationnelles ces infrastructures dans la vision du changement climatique que l'on peut avoir aujourd'hui, tout en permettant aux autorités responsables de conserver une capacité de réaction pour faire face, dans le futur, aux situations imprévues.

L'utilisation de méthodes, comme RIMAROCC et l'emploi d'outils comme GERICI[®], devraient permettre dans les années qui viennent de disposer d'un important retour d'expérience, source d'avancées dans ce domaine.

RÉFÉRENCES

1. ISO Guide 73:2009, Management du risque – vocabulaire
2. ISO 31 000 :2009, Management du risque – Principes et lignes directrices
3. Peerenboom (Jim), (2007), Interdependencies and Risk Assessment: A Regional Perspective Prepared for: 6th Annual TISP Congress (TISP 2007) Achieving Resilience: From Readiness to Restoration Session 1A: Incorporating Interdependencies into Risk Assessment March 28, 2007, Infrastructure Assurance Center (IAC)
4. Guérard H., Ray M., Le projet GERICI : Gestion des risques liés au changement climatique pour les infrastructures / GERICI project : risk management related to climate change for infrastructures, RGRA N°854, décembre 2006 - janvier 2007
5. Guérard H., L'approche, la méthode et l'outil pour « les risques liés au changement climatique et à son impact sur les infrastructures » : le projet GERICI. Séminaire AIPCR, Ministère des Transports du Vietnam, Hanoï avril 2006
6. SGI, EGIS, Deltares, NGI, Risk Management for Roads in a Changing Climate, A Guidebook to the RIMAROCC Method, 2010 www.fehrl.org/index.php?m=32&mode=download&id_file=10736
7. Homeland Infrastructure Threat and Risk Analysis Center (HITRAC), (2006), Strategic Sector Assessment
8. MacCracken (Michael C.), (2009), Challenges to Providing Quantitative Estimates of the Environmental and Societal Impacts of Global Warming, Climate Institute, Presentation at symposium on Assessing the Benefits of Avoided Climate Change, Pew Center on Global Climate Change, March 16, 2009
9. Stern N. & al., (2006), Stern review: the economics of climate change,
10. Rasmunssen, J., & Svedung, I., (2000) Proactive risk management in a dynamic society. Swedish Rescue Services Agency, Karlstadt, Sweden,
11. Hallegatte (Stephane), (2009), Strategies to adapt to an uncertain climate change, Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement (CIRED), Nogent-sur-Marne, France, Ecole Nationale de la Météorologie, Météo-France, Toulouse, France
12. Groves (David G.), (2005), New Methods for Identifying Robust Long-Term Water Resources Management Strategies for California, Pardee RAND Graduate School.
13. UK Highways Agency, (2009), Climate Change Adaptation Strategy
14. UK Highways Agency, (2010), The Highways Agency's Interim Climate Change Risk Assessment,
15. Federal Highway Administration, (2008), Integrating Climate Change into the Transportation Planning Process, Final Report