



Vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques :

Analyse des stratégies internationales et recommandations en matière de réduction de la vulnérabilité des infrastructures de transport face aux risques naturels côtiers

Rapport final, Volume II

Projet X008.1

Ursule Boyer-Villemare, M. Sc., doctorante
Guillaume Marie, Ph. D.
Pascal Bernatchez, Ph. D.



Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières
Université du Québec à Rimouski

Réalisé pour le compte du ministère des Transports du Québec

Novembre 2014

La présente étude a été réalisée à la demande du ministère des Transports du Québec et a été financée par la Direction de la recherche et de l'environnement.

Les opinions exprimées dans le présent rapport n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du ministère des Transports du Québec.

COLLABORATEURS

- **Ursule Boyer-Villemare**, M. Sc., professionnelle de recherche, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski
- **Guillaume Marie**, Ph. D., professeur en géographie des zones côtières, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, UQAR
- **Pascal Bernatchez**, Ph. D., professeur, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières et titulaire de la chaire de recherche en géoscience côtière, UQAR
- **Susan Drejza**, M. Sc., professionnelle de recherche, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, UQAR

RÉFÉRENCE SUGGÉRÉE

BOYER-VILLEMAIRE, U., MARIE, G., BERNATCHEZ, P. (2014) **Vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques : Analyse des stratégies internationales et recommandations en matière de réduction de la vulnérabilité des infrastructures de transport face aux risques naturels côtiers**, Rapport final, **Volume II, Projet X008.1**. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au ministère des Transports du Québec, novembre 2014. 165 p. + annexes.

CHARGÉ DE PROJET AU MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC

Michel Michaud, géog., M.ATDR,

Chargé de projet, Conseiller en recherche
Service de la coordination de la recherche et de l'innovation
Direction de l'environnement et de la recherche
Ministère des Transports du Québec
930, chemin Ste-Foy, 6e étage
Québec (Québec) G1S 4X9
Téléphone : 418 644-0986 poste 4161
Télécopieur : 418 643-0345
Courriel : michel.michaud@mtq.gouv.qc.ca

COMITÉ DE SUIVI DU PROJET

- **Michel Michaud**, chargé de projet, direction de l'environnement et de la recherche, MTQ
- **Louis Belzile**, Direction du Bas-Saint-Laurent-Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, MTQ
- **Claudine Forget**, Direction du Bas-Saint-Laurent-Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, MTQ
- **Jonathan Saint-Laurent**, Direction du Bas-Saint-Laurent-Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, MTQ
- **Louis Vigneau**, responsable du Centre de services des Îles-de-la-Madeleine, MTQ
- **Annie Lévesque**, Direction de la Côte-Nord, MTQ
- **Marie-Hélène Grenon**, Direction de la Côte-Nord, MTQ
- **Maude Boucher**, direction du laboratoire des chaussées, MTQ
- **Yannick Prémont**, technicien en géomatique, Direction des technologies de l'information, MTQ
- **Michel Leclerc**, professeur honoraire, ing., Ph.D, INRS-ETE

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier sincèrement tous les participants aux entrevues, qui nous ont accueillis et ont partagé leurs expériences avec générosité. Nous remercions les collaborateurs au ministère des Transports et les membres du comité de suivi pour ce projet. Un merci spécial à l'équipe du Laboratoire de Dynamique et Gestion intégrée des Zones Côtières (LDGIZC) de l'UQAR pour des discussions enrichissantes et son soutien technique. Finalement, un remerciement au ministère des Transports du Québec pour le financement de ce projet de recherche dans le cadre du programme de recherche du MTQ en adaptation aux impacts des changements climatiques lié à la mise en œuvre de l'Action 23 du Plan d'action sur les changements climatiques 2006-2012 (PACC 2006-2012) du gouvernement du Québec.

RÉSUMÉ

Une synthèse des stratégies d'adaptation des infrastructures routières aux risques côtiers a été menée dans différents pays (France, Grande-Bretagne, Pays-Bas, Canada, États-Unis) afin de formuler des recommandations sur les stratégies d'adaptation, les mesures et les solutions d'adaptation pour les régions côtières de l'Est du Québec. Pour cela, des entrevues ont été réalisées avec des gestionnaires responsables de la protection des infrastructures routières et des responsables de l'aménagement des territoires côtiers dans les trois pays européens pour identifier les approches et les stratégies qui sont préconisées en matière d'adaptation aux changements climatiques, ainsi que les mesures et solutions concrètes qui sont appliquées pour les infrastructures de transport en zone côtière. L'échantillonnage fut complété par une analyse bibliographique des documents stratégiques nationaux et provinciaux des cinq pays et d'une analyse bibliométrique thématique.

Les stratégies identifiées peuvent être regroupées en deux grands domaines : les stratégies à l'échelon national et celle issue de la gestion des risques naturels. L'analyse thématique des stratégies nationales de chaque pays a montré que le grand secteur de l'adaptation des transports s'articule autour de deux thèmes principaux : la réduction des gaz à effet de serre et les habitudes de mobilité des populations. Les impacts des changements climatiques sur les systèmes de transports et la nécessité de s'adapter à ces impacts sont quasiment absents de ces documents officiels. Les résultats montrent aussi qu'un objectif de réduction de la vulnérabilité à l'échelon national implique trois types d'action stratégique : l'évaluation de l'impact des aléas, la sélection et la mise en œuvre des solutions et la manière de gérer la vulnérabilité.

Une autre gamme de stratégies d'adaptation répertoriées provient du domaine de la gestion des risques naturels. Une classification des solutions pour faire face aux risques côtiers sur les infrastructures a été réalisée selon le degré d'adaptation du réseau routier aux aléas et aux changements environnementaux. Trois groupes de solutions ont été distingués :

- la réduction de l'aléa, qui implique des méthodes d'ingénierie protégeant la route, réduisant l'opportunité d'occurrence des aléas (rehaussement ou renforcement de la structure) ;
- la réduction de l'exposition des infrastructures (ou adaptation des infrastructures), qui implique la relocalisation de la route ;
- la réduction de l'exposition des personnes aux aléas (ou adaptation de la circulation), qui implique la sensibilisation des citoyens, la mise en place de systèmes d'avertissement, une signalisation adaptée aux types d'aléas et la fermeture de routes.

Quant au choix des outils les plus appropriés pour les gestionnaires, deux principaux types ont été répertoriés : l'évaluation de la diversité des impacts (positifs ou négatifs) par l'analyse multicritères ou l'analyse coûts-avantages (ACA), ou bien l'utilisation de la méthode des arbres décisionnels. Globalement, l'utilisation de tracés routiers alternatifs et le recul stratégique apparaissent comme la stratégie la plus durable à long terme pour les routes les plus exposées. Néanmoins, la situation devra tenir compte du type de côte et des aléas présents. Pour améliorer l'adaptation des infrastructures, des recommandations ont également été formulées en matière de gouvernance, de suivi des aléas et des infrastructures (monitorage), de gestion des situations d'urgence et de communication.

Au final, il ressort qu'agir sur plusieurs dimensions en même temps, en créant un « portefeuille » de solutions d'adaptation est un gage d'une plus grande réduction de la vulnérabilité du réseau routier : définir une intention de gestion respectant une vision globale, réfléchir sur le cadre et le mode de mise en œuvre à l'échelle nationale, produire suffisamment de connaissances sur l'infrastructure et le milieu la supportant, réfléchir sur le niveau d'adaptation désiré relativement au service fourni par le réseau de transport, effectuer l'évaluation itérative des solutions et assurer un suivi des infrastructures, mais aussi du processus décisionnel.

ABSTRACT

A review of the adaptation strategies to coastal hazards for road infrastructure has been conducted in different countries (France, United Kingdom and the Netherlands, Canada, United States), in order to recommend adaptation strategies, adaptation measures and solutions for coastal roads exposed to hazards. The methods include a series of interviews conducted with the managers responsible for road infrastructure protection or for coastal zone management in the three European countries, aiming to identify approaches and strategies that are recommended for climate adaptation, as well as measures and solutions that are applied to coastal roads. The sampling was completed with a literature review of national and provincial policy documents of the five countries, as well as a bibliometric analysis.

The strategies identified can be grouped into two great domains: the strategies at the national scale and those originating from natural risk management. The thematic analysis of national strategies of each country showed that field of “transport adaptation” in a broad sense involves two main topics: reducing greenhouse gas emissions and patterns of population mobility. The impacts of climate change on the transportation systems and the need to adapt to these impacts are almost absent from the official documents. The results also showed that a national objective of vulnerability reduction implies three main strategic areas of action: hazards impact assessment, selection and implementation of solutions and the management setting.

Another variety of adaptation strategies was identified as arising from the field of natural risks management. A classification of the solutions targeting the infrastructures at risk of coastal hazards was performed, based on the degree of road network adaptation to hazards and environmental changes. Three clusters of solutions were distinguished:

- reducing the hazard, which involves engineering methods to protect the road, reducing the chance of hazard occurrence (p. ex. increasing the base level or the resistance of the infrastructures) ;
- reducing the exposure of the infrastructure (or infrastructure adaptation), which involves road realignment;
- reducing people's exposure to hazards (or adaptation of the circulation), which involves the education of citizens, warning systems, signage and road closures.

In order for the managers to choose the most suitable solution, two main tools have been identified: the evaluation of the diversity of impacts (positive or negative) using multicriteria analysis or cost-benefit analysis, and the use of decision trees (or a “cascade” of solutions over time). Overall, conceptually, the use of alternative routes and strategic retreat appears to be the most sustainable long-term strategy for the most exposed roads segments. Nonetheless, both the type of coast and of type of hazard involved in the

situation should be accounted for in the choice. To improve the road infrastructure adaptation, recommendations have also been formulated about the governance, the monitoring, the management of emergencies and communication.

Finally, it appears that taking action over several dimensions simultaneously, by creating a “portfolio” of solutions ensures an optimal reduction of the road network vulnerability: defining an management intention promoting an integrated vision, carefully designing the framework and mode of implementation at the national level, producing sufficient and up-to-date knowledge about roads and the environment supporting it, explicitly selecting the level of adaptation desired based on the service provided by the transport network, performing iterative assessments of solutions, of the infrastructure, but also of the decision-making process.

SYNTHÈSE DES CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Dans ce rapport, des recommandations concernant l'éventuel transfert et la mise en œuvre des stratégies, des mesures et des solutions qui ont été examinés dans les pays étrangers, tout en tenant compte du contexte de la province de Québec (Canada), ont été émises.

Les stratégies d'adaptation du réseau routier face aux risques côtiers devraient être pensées à différentes échelles de gouvernance, l'enjeu étant local, mais nécessitant également une stratégie nationale, alors que les directions régionales sont appelées à jouer un rôle de trait d'union entre les deux échelles.

Au niveau national, il conviendrait de se doter d'outils administratifs opérationnels permettant d'encadrer la gestion du réseau routier, tels une politique ou stratégie nationale et un plan d'action de gestion de la vulnérabilité du réseau routier face aux impacts des changements climatiques. Dans les documents officiels concernant les changements climatiques ou les stratégies nationales de gestion intégrée des zones côtières (GIZC) ou sur les risques naturels, il est souhaitable que la thématique gestion des infrastructures routières, et non seulement les transports dans leur ensemble, soit présente. Au niveau réglementaire, des seuils de risque acceptable ou des seuils de diminution temporaire/perte de service acceptables en matière d'infrastructures de transport pourraient être proposés. Enfin, du point de vue de la gouvernance, afin de favoriser le décloisonnement ministériel, des actions pour faciliter les collaborations interministérielles pourraient être mises en œuvre de manière plus fréquente comme cela a déjà été le cas lors de la mise en place du cadre de prévention des risques naturels où 5 ministères étaient impliqués.

L'échelon local est celui où se posent les problèmes de gestion des infrastructures routières. Il serait ainsi nécessaire qu'une expertise soit présente au sein des directions régionales et des centres de services du MTQ sur la question des risques côtiers, qui peut prendre la forme de collaborations avec des experts en dynamique côtière extérieurs au MTQ ou des aménagistes au sein des MRC. Un suivi et une mise à jour régulière de la position du trait de côte le long des infrastructures menacées devraient alors être réalisés, le diagnostic devant être réalisé à l'échelle des cellules hydrosédimentaires afin de soutenir une gestion du milieu qui s'harmonise avec les processus naturels. Dans un souci de gestion intégrée et de concertation, les responsables locaux des transports pourront intégrer les nouvelles *Tables de Concertation Régionales de GIZC*, en adoptant une approche systémique fondée sur la gestion de l'intégrité des services rendus par l'infrastructure en tant que réseau. Le MTQ devrait veiller à communiquer l'information disponible sur la vulnérabilité des infrastructures routières aux

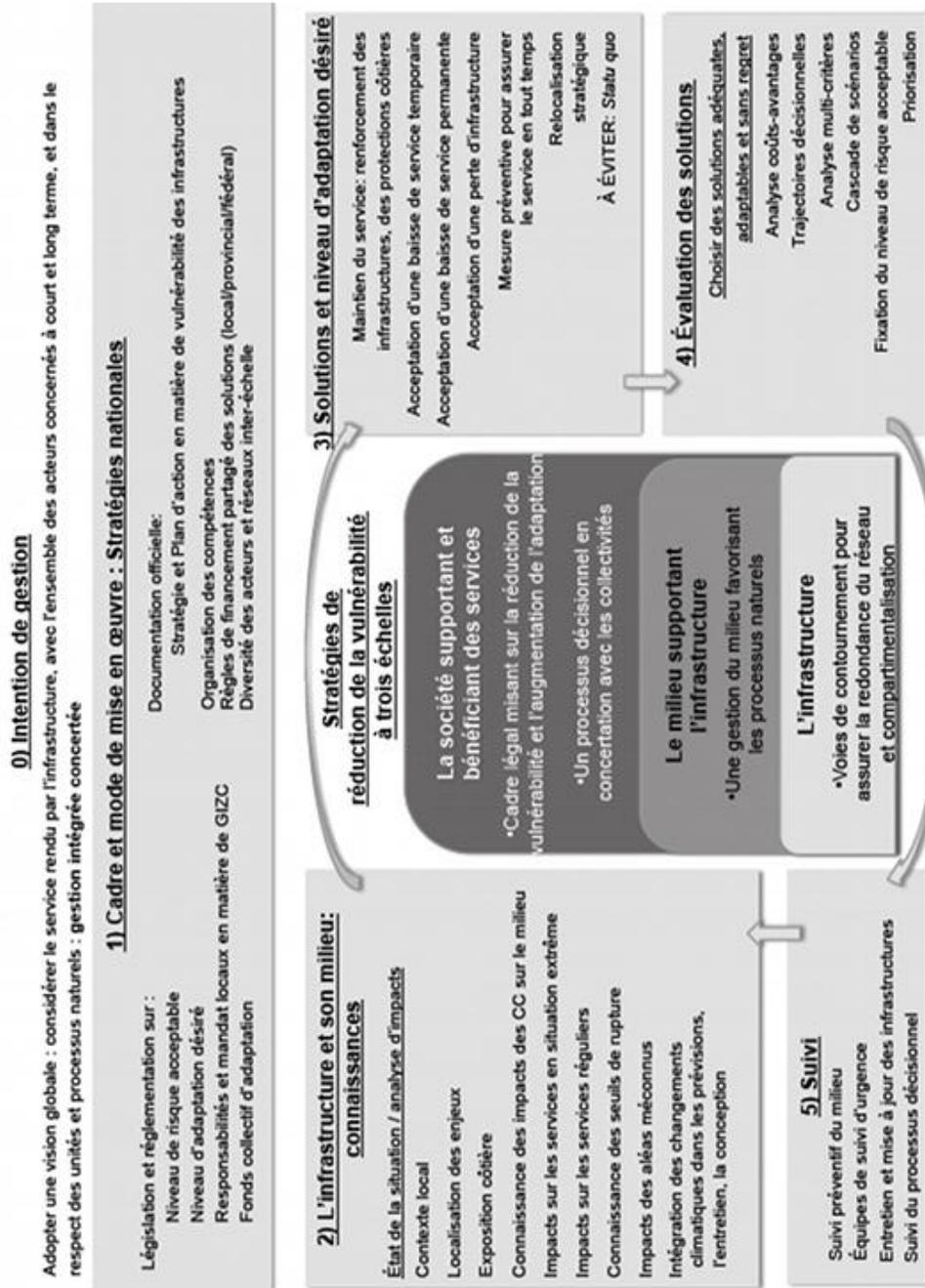
municipalités. Une attention devrait aussi être portée sur la prise en compte du réseau routier dans les plans d'urgence et schémas de sécurité civile. Des patrouilles côtières pourraient intervenir sur le terrain en cas de sinistre.

Des mesures peuvent être également prises afin de diminuer la vulnérabilité des infrastructures routières à certains sites particuliers.

Les infrastructures de protection les plus souvent utilisées ont souvent un impact négatif sur le bilan sédimentaire des plages, augmentent l'exposition à l'érosion pour les terrains non protégés contigus et l'exposition à la submersion côtière. Dans le cas de nouvelles constructions, il convient donc d'évaluer systématiquement les conséquences à l'échelle de la cellule hydrosédimentaire, tout en œuvrant en concertation avec l'ensemble des usagers du secteur. Les ouvrages de protection côtiers devraient être calibrés en prenant en compte la réalité des changements climatiques. Globalement, sur les côtes basses il est préférable de privilégier les solutions côtières légères ou non-structurelles (replantation, rechargement de plage, ganivelles, solutions innovantes) et la résilience naturelle de la côte, en partenariat avec le milieu.

Il est essentiel de conserver un espace tampon entre les infrastructures routières et la ligne de rivage, pour permettre, d'une part, au littoral de migrer en fonction de la hausse du niveau marin et par conséquent réduire le phénomène de *coastal squeeze* (tendance à l'installation d'enjeux au plus près de la ligne de rivage qui est elle-même en érosion) et, d'autre part, permettre au système côtier de se réajuster lors des tempêtes lui assurant ainsi une plus grande résilience. Ceci est d'autant plus important dans le contexte où les changements climatiques exacerbent les aléas côtiers au Québec. Dans le cas où cet espace ne peut être maintenu, par exemple, lors de dommages dus à une tempête, certains optaient pour une baisse de service, temporaire ou permanente en bloquant l'une des voies ou toutes les voies, avec une signalisation adaptée et en favorisant l'intermodalité. La route peut également être relocalisée dans un secteur moins vulnérable, de façon temporaire ou permanente, solution la plus soutenable à long terme dans les secteurs critiques. La relocalisation de l'ensemble des enjeux par une planification urbaine doit être réalisée de façon graduelle pour faciliter l'acceptabilité sociale.

Le choix de la solution retenue peut être pris à partir d'une analyse multicritères, d'une ACA (Analyse Coûts-Avantages) ou de la méthode des arbres décisionnels (selon le type d'infrastructures, de côte ou d'exposition aux aléas). Une méthodologie normée pourrait être proposée pour les projets d'adaptation des infrastructures routières dans la zone côtière. Des cascades adaptatives (scénario évolutif) pourraient être élaborées pour les endroits les plus problématiques, mais où la sécurité des personnes n'est pas encore menacée, en concertation avec les populations locales.



Synthèse des stratégies de réduction de la vulnérabilité des infrastructures de transport en zone côtière dans un contexte de changements climatiques

SYNTHESIS OF CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

In this report, recommendations concerning the potential transfer and implementation of strategies, measures and solutions that were reviewed in foreign countries, while taking into account the context of the province of Quebec (Canada).

The adaptation strategies for the road network facing coastal risks have to be designed at various scales of governance. On one side, the stake is local, while on the other side, the issue calls for a national strategy. In between, the regional authorities should play a key role to connect these scales. This intermediate scale appears fundamental for collaboration and participation of actors attached to various ministries and organizations. In this idea, regional multi-actor networks could be created to address coastal vulnerability, in an inclusive sense.

At the national level, it is desirable to equip the Quebec society with operational administrative tools framing the road network management, like a national strategy and an action plan to manage the vulnerability of road network facing climate change impacts. Planning in coherence with the regional plans of transport is also essential. Even further, in the sectorial official documents, the topic of road management, and not only the infrastructure but the transportation as a whole, should be devolved a certain place. However, most of those sectorial documents are still to be produced or implemented in Quebec, may it be about climate change adaptation (PACC in Quebec), a national strategy of integrated coastal zone management or of natural hazards management.

At the transport infrastructure regulatory level, acceptable risk thresholds or thresholds of decreasing or loss of service could be proposed to improve decision-making. In terms of governance, favoring the ministerial decompartmentalization by actions that facilitate inter-ministerial collaboration could be engaged. Even so, the creation of a para-governmental environment agency, that would have the mandate of working with all the ministries, including the Ministry of Transport, would support working on transversal topics like natural hazard management.

Problems with the coastal road infrastructure arise from the local scale, where climate change impacts materialize and where transport services are used. Thus, local management has to be in phase with the physical dynamics of the coastal zone, but also with the human environment. An expertise about coastal hazards is thus essential in the Quebec Ministry of Transport (QMT) Regional Districts and Service Centers. That expertise can take varied forms, may it be collaboration with external experts in coastal dynamics, or with land-use planners from the RCMs. Monitoring of the coastline position along the

infrastructures at risk should regularly serve to update data. Moreover, this diagnosis should be performed on the basis of hydro-sedimentary units in order to support natural processes. Under the assumptions of integrated collaborative management, the local transport authorities could be represented at the new Regional Concertation Tables for coastal management. The goal should be to expand the view from the infrastructure at risk towards a systemic management of the integrity of services provided by the infrastructures as a network. Among the other QMT targets, sharing information about vulnerability of coastal infrastructures with municipalities is also very important. A particular attention should be paid to account for the network in emergency plans and civil security schemes. Coherently, coastal patrols could take action in the field during an event.

Other measures to decrease the vulnerability of road infrastructures are numerous. The comparative analysis with other countries showed that some are effective and could be transferred to Quebec, but other have a limited impact.

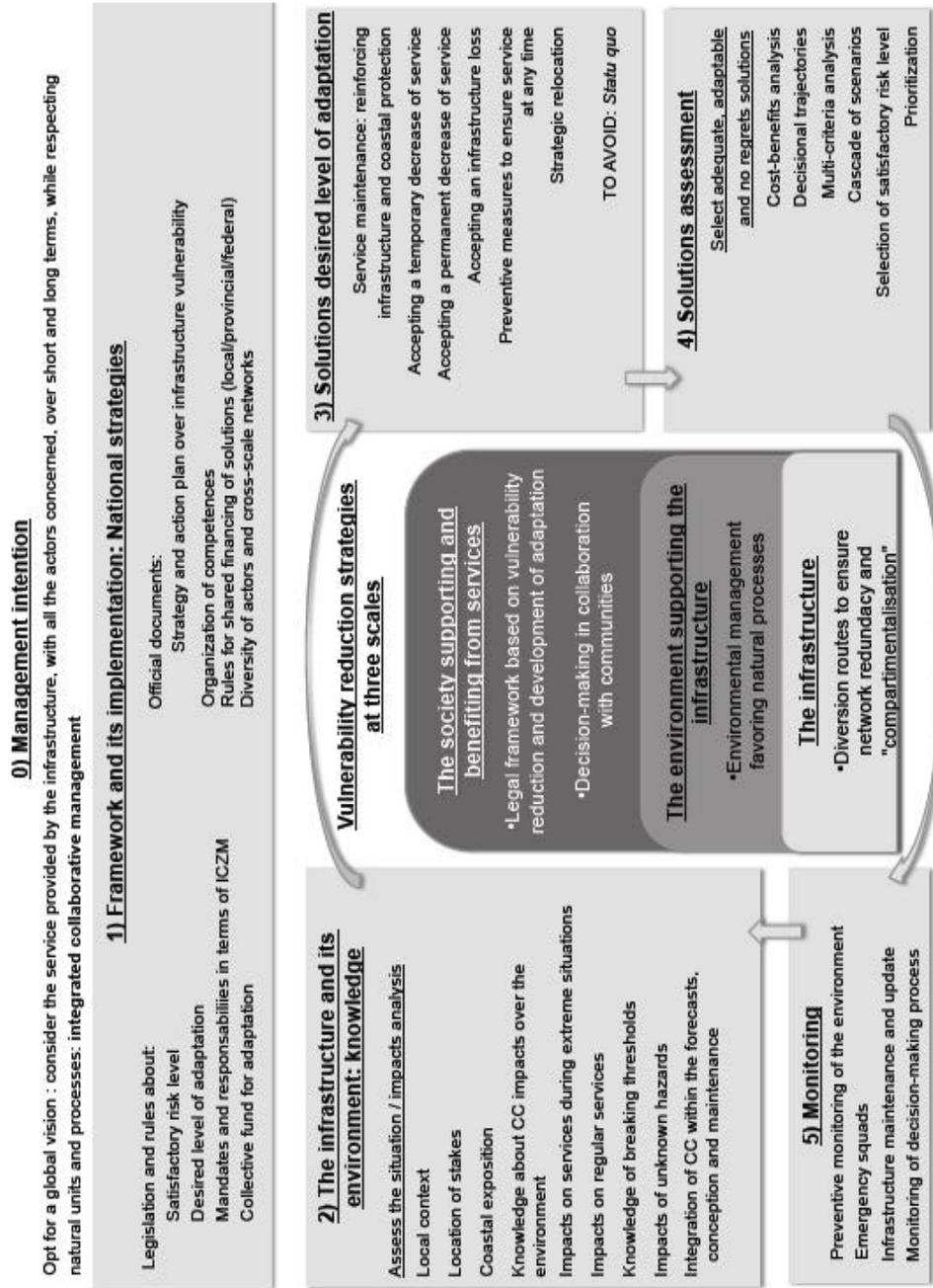
The most common protections frequently trigger negative impacts on the beach sedimentary budget, increasing the exposition to erosion and to sea flooding for contiguous non-protected areas. In the case of new constructions, it is therefore recommended to systematically assess the consequences at the impact of hydro-sedimentary cells, while collaborating with all the stakeholders concerned in that sector. The calibration of works should account for climate change impacts. Overall, it is preferable to favor non-structuring solutions (regeneration and planting over dunes or beaches, -wooden fences in dune systems, innovative solutions) and the natural resilience of the coast, always under a partnership with the communities.

It is essential to conserve a buffer between the coastline and the road infrastructure, to account for the “coastal squeeze” phenomenon (building the infrastructure as close as possible from the shoreline, which is itself eroding) and under a context of important climate change impacts over coastal hazards in Eastern Quebec. In the case of that space cannot be maintained, it is recommended to lower the road service, temporary or not by blocking one of the lanes, all the lanes or the connecting lanes in order to protect the main road, with appropriate signing and while favoring inter-modality to compensate. The road can also be delocalized in a lower exposition sector, again temporarily or not. In the long term, relocation remains the most sustainable solution for critical sectors. It should nonetheless be planned as part of urban planning, accounting for all stakes in a sector, and gradually in order to gather social acceptability.

Choosing the right solution can be performed using a variety of methods, the multi-criteria analysis and the cost-benefit analysis (CBA) being the most common. Decision trees, according to the type of infrastructure, of coast and to hazard exposition, are another method. For the most problematic areas where people security is not yet an issue, another one consists of “adaptive

cascades”, based on evolving scenarios of the environment. Among those, selecting a normative method could be proposed for adaptation projects concerning coastal road infrastructures.

In the end, this report leads to conclude that for reducing the vulnerability of the coastal road network we ought to act over multiple dimensions simultaneously. Part of it are: defining an management intention that promotes a global vision, rethinking the framework and implementation mode at the national scale, producing sufficient knowledge over the infrastructure and the environment that supports it, selecting the degree of adaptation desired with respect to the service provided to society by the transportation network, assessing in an iterative way the adequacy of solutions, of infrastructures, but also of the decisional process.



Synthèse des stratégies de réduction de la vulnérabilité des infrastructures de transport en zone côtière dans un contexte de changements climatiques

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES ANNEXES	20
LISTE DES TABLEAUX	22
LISTE DES FIGURES.....	24
LISTE DES ENCADRÉS	26
ABRÉVIATIONS	28
1. INTRODUCTION.....	33
1.1. Contexte du projet	33
1.2. Infrastructures routières en zone côtière au Québec	34
1.3. Objectifs	37
1.4. Retombées attendues.....	37
1.5. Plan du rapport	38
2. MÉTHODOLOGIE	39
2.1. Outil de collecte de données sur le terrain	39
2.2. Critères et méthode d'échantillonnage sur le terrain	39
2.3. Description et localisation de l'échantillonnage	43
2.4. Données photographiques.....	46
2.5. Échantillonnage documentaire	46
2.6. Analyse des données	47
3. STRATÉGIES D'ADAPTATION À L'ÉCHELON NATIONAL	49
3.1. Les différentes stratégies nationales	49
3.2. La place de l'adaptation des infrastructures de transport dans les documents officiels	50
3.2.1. L'analyse de vulnérabilité des infrastructures de transport face aux changements climatiques en France.....	50
3.2.2. Le plan de gestion de la vulnérabilité des infrastructures de transport en Écosse	51
3.2.3. L'impact des changements climatiques sur les infrastructures de transport aux États-Unis.....	52
3.2.4. La caractérisation de la vulnérabilité des infrastructures de transport à Terre-Neuve-et-Labrador	54
3.2.5. Synthèse sur la vulnérabilité des infrastructures de transport et leur adaptation	56
3.3. Gouvernance en matière d'évaluation de la vulnérabilité des infrastructures de transport.....	58

3.4.	Législation et réglementation en matière de risques naturels à l'échelon national	61
3.4.1.	Niveau de risque acceptable.....	61
3.4.2.	Fonds collectif d'urgence	63
3.5.	Législation et réglementation en matière de gestion des zones côtières à l'échelon local	65
3.6.	Conclusion du chapitre	66
4.	STRATÉGIES LOCALES ET RÉGIONALES D'ADAPTATION RELATIVES À LA GESTION DES RISQUES.....	67
4.1.	Intention derrière la gestion du réseau routier et des risques côtiers.....	67
4.2.	État de la situation et évaluation des risques naturels	69
4.2.1.	État de la situation dans les sites d'intérêt.....	69
4.2.2.	Études d'aléas et de risque.....	71
4.2.3.	Intégration des changements climatiques	73
4.3.	<i>Solutions pour réduire la vulnérabilité</i>	76
4.3.1.	Maintien du service	78
4.3.2.	Acceptation d'une baisse de service temporaire	95
4.3.3.	Acceptation d'une baisse de service permanente	97
4.3.4.	Acceptation d'une perte d'infrastructure	98
4.3.5.	Mesures préventives pour assurer le maintien du service en tout temps par relocalisation	100
4.3.6.	Acceptation d'une perte permanente de réseau et de service de transport	102
4.3.7.	Statu quo : Acceptation passive d'une perte d'infrastructure et de service	113
4.4.	Évaluation des solutions d'adaptation	115
4.4.1.	L'analyse multicritères et l'analyse coûts-avantages.....	116
4.4.2.	Décisions adaptatives : les « arbres décisionnels » ou « trajectoires décisionnelles »	117
4.5.	Gouvernance et mise en œuvre	119
4.5.1.	Diversité d'acteurs et réseaux inter-échelle.....	119
4.5.2.	Financement	120
4.6.	Suivi de l'environnement (monitorage)	123
4.6.1.	Suivi de la côte.....	123
4.6.2.	Suivi des infrastructures.....	124
4.7.	Situations d'urgence	124
4.8.	Partage et diffusion de l'information	126
4.9.	Défis à relever.....	127
4.10.	Conclusions du chapitre	128

5.	DISCUSSION ET SYNTHÈSE	129
5.1.	Stratégie nationale en matière d'adaptation du réseau routier aux risques côtiers au Québec.....	129
5.1.1.	Facteurs de vulnérabilité et de résilience du réseau routier	129
5.1.2.	Évaluation de la vulnérabilité du réseau routier	130
5.1.3.	Organisation de la gestion	131
5.1.4.	Approche législative du risque	132
5.1.5.	Gestion basée sur les processus naturels et cellules hydrosédimentaires.....	133
5.1.6.	Gestion intégrée et participative	133
5.1.7.	Suivi de la côte.....	134
5.1.8.	Situations d'urgence.....	135
5.2.	Mesures et solutions d'adaptation potentielles en contexte local.....	135
5.2.1.	Protection des infrastructures routières	135
5.2.2.	Acceptation d'une baisse ou d'une interruption de service	137
5.2.3.	Le choix de la solution adaptée	139
5.3.	Synthèse	141
6.	CONCLUSION GÉNÉRALE	143
7.	RÉFÉRENCES	147
8.	ANNEXES	159

LISTE DES ANNEXES

Annexe A : Guide d'entrevue.....	161
Annexe B : Bibliothèque de documents	163
Annexe C : Stratégies de réduction de la vulnérabilité des infrastructures routières côtières - résultats complémentaires France.....	165
Annexe D : Stratégies de réduction de la vulnérabilité des infrastructures routières côtières - résultats complémentaires Royaume-Uni.....	165
Annexe E : Stratégies de réduction de la vulnérabilité des infrastructures routières côtières - résultats complémentaires Pays-Bas.....	165
Annexe F : Stratégies de réduction de la vulnérabilité des infrastructures routières côtières - résultats complémentaires Provinces maritimes du Canada.....	165
Annexe G : Stratégies de réduction de la vulnérabilité des infrastructures routières côtières - résultats complémentaires États-Unis d'Amérique.....	165

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Critères de sélection des pays à visiter	41
Tableau 2 Description des entrevues en France	44
Tableau 3 Description des entrevues au Royaume-Uni	45
Tableau 4 Description des entrevues aux Pays-Bas	45
Tableau 5 Volume et adresses URL des albums photographiques pour chaque site d'intérêt visité.....	46
Tableau 6 Diversité des stratégies nationales d'adaptation par pays	49
Tableau 7 Stratégies essentielles à l'adaptation des infrastructures et des services de transport, d'après le plan national d'action face aux changements climatiques en France	51
Tableau 8 Stratégies essentielles à la compréhension des conséquences des changements climatiques sur les infrastructures de transport, d'après le premier pilier du plan d'action Écossais	52
Tableau 9 Synthèse des types de côtes selon les sites visités	70
Tableau 10 Synthèse des aléas identifiés dans les sites visités	70
Tableau 11 Solutions touchant le réseau routier, selon le degré d'adaptation, le degré de modification du service et la stratégie de réduction de la vulnérabilité	77
Tableau 12 Protections côtières rencontrées sur le terrain pour le maintien du réseau routier	79
Tableau 13 Synthèse des solutions à favoriser	114

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Localisation des autoroutes et routes provinciales côtières dans l'Est du Québec	36
Figure 2 Exposition à l'érosion côtière	40
Figure 3 Cibles thématiques d'échantillonnage dans chaque pays : 5 thèmes, 3 domaines d'acteurs.	42
Figure 4 Localisation de l'échantillonnage, nombre d'entrevues par pays et zones d'intérêt visitées	43
Figure 5 Cadre d'évaluation sur la vulnérabilité des infrastructures aux changements climatiques et météorologiques extrêmes aux États-Unis	53
Figure 6 Critères d'évaluation du risque pour les transports et services essentiels	54
Figure 7 Classement de la vulnérabilité des communautés aux effets indirects des inondations	55
Figure 8 Synthèse des stratégies de réduction de la vulnérabilité et d'adaptation des infrastructures de transport à l'échelle nationale.....	56
Figure 9 Organisation des compétences « environnement » et « transports » nécessaires à l'évaluation de la vulnérabilité des transports, selon trois modèles de collaboration interdisciplinaire au niveau de l'État.	60
Figure 10 Collaboration interministérielle pour produire la stratégie britannique de gestion des risques de submersion et d'érosion côtière	61
Figure 11 Normes de sécurité de la Commission Delta montrant le risque annuel d'inondation	63
Figure 12 Étapes classique du cycle de gestion de risque.....	67
Figure 13 Arbre décisionnel en ce qui concerne l'entretien et le rehaussement des barrières de protection sur la Tamise, RU, en fonction du rehaussement du niveau marin	118
Figure 14 Taille optimale de projet d'entretien de digue en fonction du coût annuel et de la taille du projet	122
Figure 15 Synthèse des stratégies de réduction de la vulnérabilité des infrastructures de transport en zone côtière dans un contexte de changements climatiques ...	142

LISTE DES ENCADRÉS

Encadré 1 Solutions structurelles en zone pré littorale et intertidale	80
Encadré 2 Solutions structurelles en zone intertidale	82
Encadré 3 Solutions structurelles en zone de dunes, haute-plage, arrière-plage	85
Encadré 4 Barrières estuariennes anti-submersion et stockage de l'eau en milieu urbain aux Pays-Bas	86
Encadré 5 Barrières estuariennes anti-submersion à Londres.....	88
Encadré 6 Exemples de solutions côtières non structurelles	89
Encadré 7 La drague à sédiments à Ter Heijde, Zuid-Holland aux Pays-Bas	91
Encadré 8 Cas de l'Écosse : Mesures de réduction de l'aléa mouvement de terrain sur la route.....	94
Encadré 9 Solutions relatives à l'acceptation d'une baisse de service temporaire	96
Encadré 10 Acceptation d'une baisse de service permanente	97
Encadré 11 Acceptation d'une perte d'infrastructure	99
Encadré 12 Recul de la route de Slapton Sands à Torcross (Devon, RU), et voie de contournement.....	101
Encadré 13 Cas de dépoldérisation envisagée aux Bas-Champs entre Ault et la Baie de Somme	104
Encadré 14 Cas du Lido de Sète-Marseillan : relocalisation stratégique avec régénération	105
Encadré 15 Cas d'Ault, « village belvédère » sur une côte à falaise crayeuse, Picardie (France)	107
Encadré 16 Cas du North Norfolk et d'Happisburgh : Cascade de stratégies.....	111
Encadré 17 Exemple d'analyse coûts-avantages réalisée au Lido de Sète-Marseillan	117

ABRÉVIATIONS

- ACA** : Analyse coûts-avantages
ACB : Analyse coûts-bénéfices
ACC : Adaptation aux changements climatiques
CC : Changements climatiques
CEPRI : Centre Européen de prévention de Risque d'Inondation
Dft : ministère britannique des Transports (*Department for Transport*)
DD : Développement durable
DEFRA : ministère britannique de l'Environnement, de la Nourriture et des Affaires rurales (*Department for environment, foods& rural affairs*)
DGPR : Direction générale de la prévention des risques (France)
DGITM : Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (France)
DR : Direction régionale
DREAL : Division régionale françaises de l'écologie, de l'aménagement et du logement
GES : gaz à effet de serre
GIZC : Gestion intégrée des zones côtières
LDGIZC : Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières de l'Université du Québec à Rimouski
MEDDE : ministère français de l'Écologie du Développement Durable et de l'Énergie
MTQ : Ministère des Transports du Québec
NMR : niveau marin relatif
PACC : Plan d'action face aux/sur les changements climatiques OU Plan d'adaptation aux changements climatiques (dépend selon le pays).
PBL : Agence néerlandaise d'évaluation environnementale
PPRL : Plan de prévention des risques littoraux (France)
RN : Risques naturels
RR : Réseau routier
RU : Royaume-Uni
SMP : Plan de gestion du trait de côte (*Shoreline management plan*)
UQAR : Université du Québec à Rimouski
ZC : Zone côtière

PROJET DE RECHERCHE SUR LA VULNÉRABILITÉ DES INFRASTRUCTURES ROUTIÈRES DE L'EST DU QUÉBEC À L'ÉROSION ET À LA SUBMERSION CÔTIÈRE DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Le ministère des Transports du Québec (MTQ) a fait appel aux services professionnels du laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR) pour réaliser une étude sur la vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques. Ce projet de recherche fut échelonné sur trois ans (2011-2014). Les quatre objectifs étaient les suivants :

- 1) Cartographier le trait de côte actualisé des régions de l'Est du Québec (Côte-Nord, Bas-Saint-Laurent, Gaspésie, Îles-de-la-Madeleine) et déterminer la distance qui le sépare du réseau routier national;
- 2) Bonifier et appliquer une approche de gestion côtière basée sur les unités et les cellules hydrosédimentaires dans les secteurs où les aléas côtiers sont susceptibles de présenter un risque pour les infrastructures routières des régions de l'Est du Québec.
- 3) Développer une approche et un indice de vulnérabilité des infrastructures routières à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques.
- 4) Faire une analyse et une synthèse des stratégies d'adaptation des infrastructures routières aux risques naturels côtiers en Europe et ailleurs dans le monde, et formuler des recommandations sur les stratégies d'adaptation, les mesures et les solutions d'adaptation potentielles pour les régions côtières de l'Est du Québec.**

Le présent volume porte uniquement sur l'**objectif 4**.

1. INTRODUCTION

1.1. Contexte du projet

Au cours de la dernière décennie, différents gouvernements ont élaboré des stratégies sur l'adaptation aux changements climatiques (CC). Le gouvernement du Québec a aussi entrepris, à l'automne 2009, une démarche d'élaboration d'une stratégie gouvernementale sur l'adaptation aux CC. La Stratégie gouvernementale sur l'adaptation 2013-2020 a été publiée en 2012 (Gouvernement du Québec, 2012a).

En matière d'aléas côtiers, il est recommandé que les principaux risques encourus face aux changements climatiques et les vulnérabilités les plus importantes soient identifiés afin de définir des priorités d'action. En contexte d'aléas côtiers, les infrastructures routières y sont explicitement mentionnées :

« Dans un souci d'efficacité et d'efficience, des solutions d'adaptation progressives revues périodiquement en fonction de l'évolution réelle du climat seront préconisées. Afin d'atténuer les impacts des aléas naturels tels que l'érosion des berges en rivière et en bordure de mer, la submersion et les inondations, le gouvernement établira également des méthodes d'intervention ciblées sur les ouvrages à caractère hydraulique, en complément d'une planification adaptée de l'occupation du territoire. Afin d'éviter le renforcement répété d'une infrastructure constamment soumise à un aléa, le gouvernement devra, dans certains cas, réévaluer l'emplacement de certaines infrastructures de transport. » (Gouvernement du Québec, 2012a : 34)

Cette Stratégie doit considérer les principaux risques encourus face aux CC et aux vulnérabilités les plus importantes afin de définir des priorités d'action pour le plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques. La phase 1 de ce plan a été publiée en 2012 (Gouvernement, 2012b) et une phase 2 est en chantier. Une section « Adaptation » complète les recommandations, dont voici un extrait qui traite des infrastructures :

« Priorité 28 – Réviser les critères de conception et les modes de gestion et d'entretien des infrastructures. Plusieurs infrastructures sont susceptibles d'être affectées par les changements climatiques, de par la modification des conditions auxquelles elles sont exposées ou la survenance d'événements météorologiques extrêmes. Dans ce contexte, le PACC 2020 portera une attention particulière aux infrastructures les plus susceptibles d'être affectées par les impacts des changements climatiques afin d'en renforcer la résilience. » (Gouvernement du Québec, 2012b : 38.)

L'approche préconisée pour rencontrer cette priorité vise la réduction des vulnérabilités et le renforcement de la résilience. Elle mènera à l'identification de mesures, de solutions et d'actions à entreprendre pour prévenir ou atténuer les impacts négatifs des changements climatiques, notamment pour les infrastructures de transport et pour renforcer les facteurs de résilience.

Dans ce contexte, le MTQ a entrepris d'améliorer les connaissances des impacts des CC sur ses infrastructures et d'élaborer des stratégies, mesures et solutions d'adaptation pour les infrastructures vulnérables, dont le réseau routier côtier.

1.2. Infrastructures routières en zone côtière au Québec

Les transports constituent un des réseaux parmi les infrastructures critiques et apparaissent systématiquement dans les listes américaines et européennes d'infrastructures à risque (Robert et Morabito, 2010). En anglais, le terme consacré de *life-support network* (LSN) illustre l'essentialité de ces réseaux pour la survie des populations. Les transports dans l'Est du Québec constituent aussi un enjeu d'une grande importance pour les communautés desservies par le réseau routier. Dans cette grande région qui borde l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent ainsi que la baie des Chaleurs, le réseau routier national est principalement organisé parallèlement à la côte (figure 1). Ses principales fonctions sont de fournir un accès à la mobilité pour les personnes et les marchandises dans un contexte sécuritaire, d'éviter l'isolement géographique, d'assurer une desserte en cas d'urgence et de s'étendre pour soutenir le développement du territoire. Une des caractéristiques du réseau de l'Est du Québec est la rareté des voies de contournement pour les utilisateurs (surtout aux Îles-de-la-Madeleine, en Gaspésie et sur la Côte-Nord). Le réseau supporte aussi à plusieurs endroits d'autres réseaux importants pour les communautés tels celui d'électricité, de téléphonie, d'aqueduc et d'égouts.

Dans l'Est du Québec, la longueur du réseau situé à moins de 500 m du trait de côte est d'environ 1336 km, en comptant les routes provinciales 138, 199, 132 et l'autoroute 20 (Drejza et al., 2014, volume I), auxquelles s'ajoutent les infrastructures municipales. Dans l'Est du Québec, les aléas côtiers sont nombreux à attaquer les infrastructures et à menacer les services routiers. En excluant les côtes de roches ignées de la Côte-Nord, c'est environ 47 % du littoral qui montrait des signes d'érosion en 2010 (Drejza et al., 2014) alors que de grandes superficies de côtes basses sont concernées par le risque de submersion. De surcroît, les changements climatiques exercent déjà des impacts supplémentaires sur le bâti côtier, alors que l'adoucissement hivernal se fait déjà sentir par l'augmentation du nombre de cycles de gel/dégel, la réduction de la couverture de glace et l'augmentation des redoux hivernaux (Bernatchez et al., 2008; Senneville et al., 2014). Ces modifications des conditions hivernales accentuent l'érosion des côtes, mais aussi l'exposition à la submersion côtière. Au cours des dernières décennies, la tendance du niveau marin relatif dans l'Est du Québec a généralement été à la hausse (Bernatchez et al., 2012) avec une accélération depuis la fin des années 80 (Bernatchez et al., 2013). Cette accélération de la hausse du niveau marin est aussi mesurée pour la côte est des États-Unis et du Canada (Bonn, 2012). À la fois par ses hauts taux d'érosion, avec des événements de recul pouvant atteindre ponctuellement 15 m lors de tempêtes (Quintin et al., 2013), et par

une élévation prévue du niveau marin relatif d'ici 2100 supérieure à la moyenne globale (Slangen *et al.*, 2012), l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent s'avèrent être un site critique à l'échelle planétaire.

Ainsi, dans le contexte des changements climatiques, l'intégrité des infrastructures de transport est menacée et l'occupation du territoire côtier dans l'Est du Québec présente une grande vulnérabilité. Cet enjeu fondamental appelle à l'élaboration d'une démarche d'adaptation visant la réduction de la vulnérabilité. Les stratégies conséquentes peuvent être de différents ordres et il n'y a pas encore de document fédérateur sur cette problématique au Québec. Les stratégies utilisées dans d'autres pays pourraient grandement contribuer à développer une approche québécoise. **Il apparaît donc essentiel de faire une revue des stratégies de réduction de la vulnérabilité des infrastructures et services de transports à l'échelle mondiale.** La principale question de recherche qui guide ce projet est la suivante :

<p>Quelles stratégies de gestion de la vulnérabilité et d'adaptation des infrastructures routières en zone côtière utilisées dans d'autres sociétés pourraient alimenter la réflexion pour développer une approche québécoise ?</p>
--

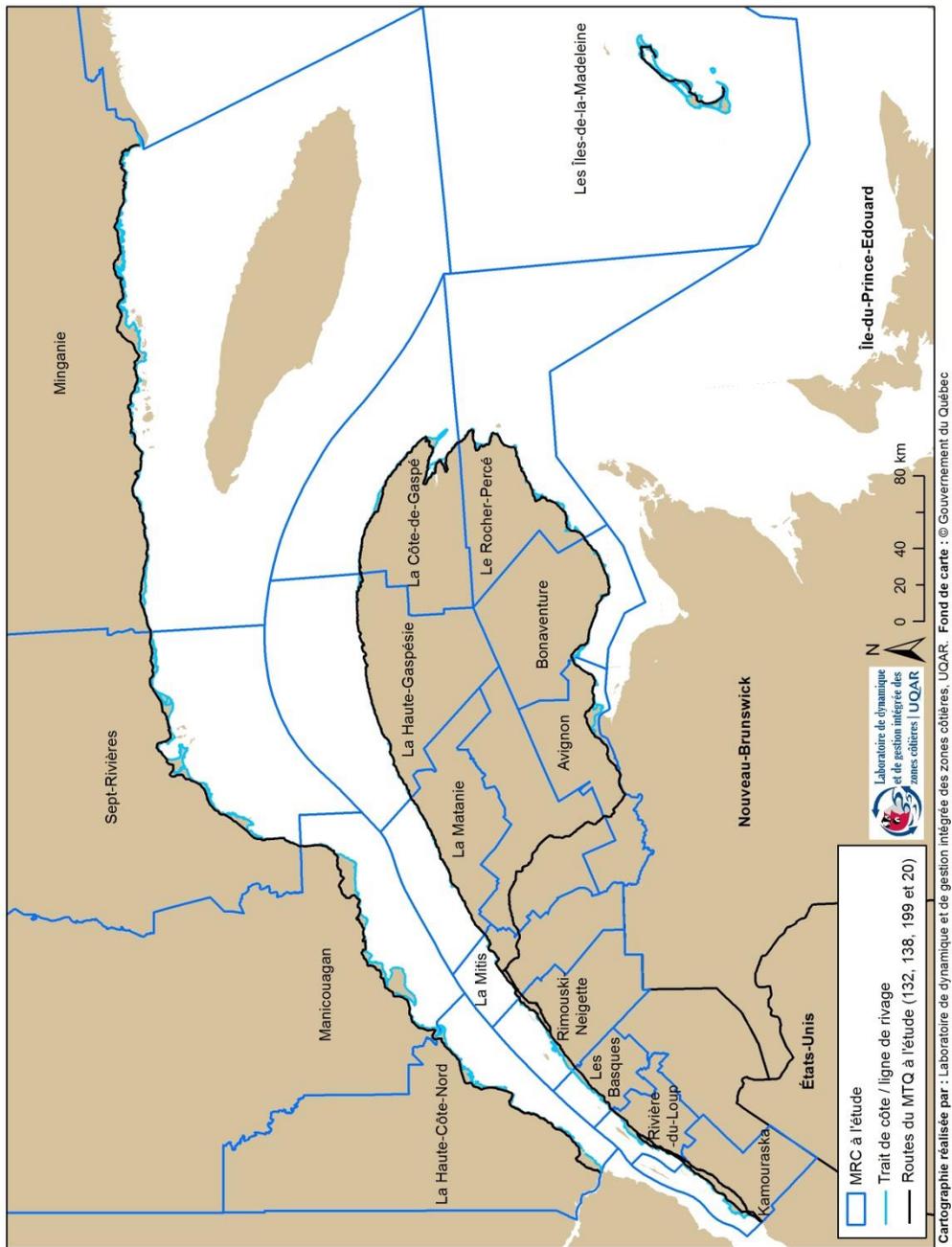


Figure 1 Localisation des autoroutes et routes provinciales côtières dans l'Est du Québec

1.3. Objectifs

L'objectif principal était de **réaliser une analyse et une synthèse des stratégies d'adaptation des infrastructures routières aux risques naturels côtiers en Europe et ailleurs dans le monde, et de formuler des recommandations sur les stratégies d'adaptation, les mesures et les solutions d'adaptation potentielles pour les régions côtières de l'Est du Québec.**

Les sous-objectifs étaient les suivants :

- Réaliser une synthèse de la bibliographie sur les solutions mises de l'avant ailleurs dans le monde pour protéger les infrastructures routières des aléas côtiers;
- Analyser les avantages et inconvénients des différentes solutions à l'échelle nationale et dans ses contextes locaux (en fonction des types de systèmes côtiers);
- Réaliser des entrevues avec des gestionnaires responsables de la protection des infrastructures routières et des responsables de l'aménagement des territoires côtiers en Europe pour identifier :
 - o les approches et les stratégies qui sont préconisées en matière d'adaptation aux changements climatiques,
 - o les mesures et solutions concrètes qui sont appliquées pour les infrastructures de transport côtières;
- Formuler des recommandations concernant le transfert potentiel des stratégies, mesures et solutions en fonction de la dynamique et des particularités environnementales des systèmes côtiers des régions de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.

1.4. Retombées attendues

Les activités liées à l'objectif 4 sont très pertinentes pour le MTQ. La principale retombée attendue par ce travail est de contribuer à adapter les infrastructures de transport aux impacts des changements climatiques, en identifiant les stratégies, les solutions et les mesures d'adaptation qui pourraient s'appliquer au Québec. Les résultats serviront aussi au développement d'une méthodologie pour évaluer la vulnérabilité des infrastructures routières pour l'Est du Québec.

1.5. Plan du rapport

Le corps du présent rapport expose, après la présentation de la méthodologie, une synthèse des analyses thématiques des principaux succès et échecs ou points à retenir pour le Québec concernant les stratégies nationales d'adaptation aux changements climatiques et les stratégies d'adaptation relatives à la gestion des risques (chapitres 0 et 4). La section 5 synthétise le propos en formulant des recommandations qui pourraient être utiles pour le MTQ. Une annexe pour chaque pays présente par ailleurs des résultats supplémentaires, en particulier pour les stratégies à l'échelle nationale :

- Annexe C : France
- Annexe D : Royaume-Uni
- Annexe E : Pays-Bas
- Annexe F : Provinces maritimes du Canada
- Annexe G : États-Unis d'Amérique

2. MÉTHODOLOGIE

Suivant une approche qualitative, la méthodologie est essentiellement documentaire et se divise en deux modes de collecte de données : sur le terrain et sur internet.

2.1. Outil de collecte de données sur le terrain

La problématique de la vulnérabilité du réseau routier côtier en contexte de changements climatiques se situe à la rencontre entre les transports, les risques naturels, l'adaptation aux changements climatiques, la gestion intégrée de la zone côtière et l'occupation du territoire et son développement durable. À la lumière de ces différentes dimensions, les thèmes suivants ont été sélectionnés pour une collecte de données sur le terrain :

- Présence des aléas côtiers parmi les préoccupations
- Exposition aux aléas côtiers actuellement et dans le futur
- Échelle de gestion et acteurs
- Protection des routes côtières
- Efficacité des solutions et suivi (*monitorage*)
- Situations d'urgence
- Innovation et production de connaissances
- Adaptation aux changements climatiques et gestion durable
- Gouvernance
- Partage d'information et transfert de connaissances

Un guide d'entrevue semi-dirigée a été bâti (français et anglais) pour aborder ces thèmes, en ciblant le point de vue des ministères et organismes ayant un intérêt dans la gestion nationale ou locale de cette problématique. Le guide est disponible à l'annexe A.

2.2. Critères et méthode d'échantillonnage sur le terrain

En vue de sélectionner les pays à analyser et à visiter, la carte d'exposition à l'érosion a permis de faire une première sélection (figure 2). D'après cette carte, la France, le Royaume-Uni, les Pays-Bas, l'Espagne, l'Estonie et l'Allemagne sont des pays côtiers qui possèdent des zones de très forte exposition à l'érosion côtière (rouge).

Pour ensuite établir les priorités parmi ces pays, les critères supplémentaires furent l'historique de routes à risques, le niveau d'organisation institutionnel en GIZC, les projets novateurs en ACC (adaptation aux changements climatiques), la haute exposition à l'érosion, les tendances récentes de submersion et la présence de dynamique de glace côtière (tableau 1). La France, le Royaume-Uni, les Pays-Bas et l'Allemagne rencontraient le plus de points positifs. En raison des difficultés linguistiques, des contraintes de temps et budgétaires, ce dernier pays n'a finalement pas été analysé.

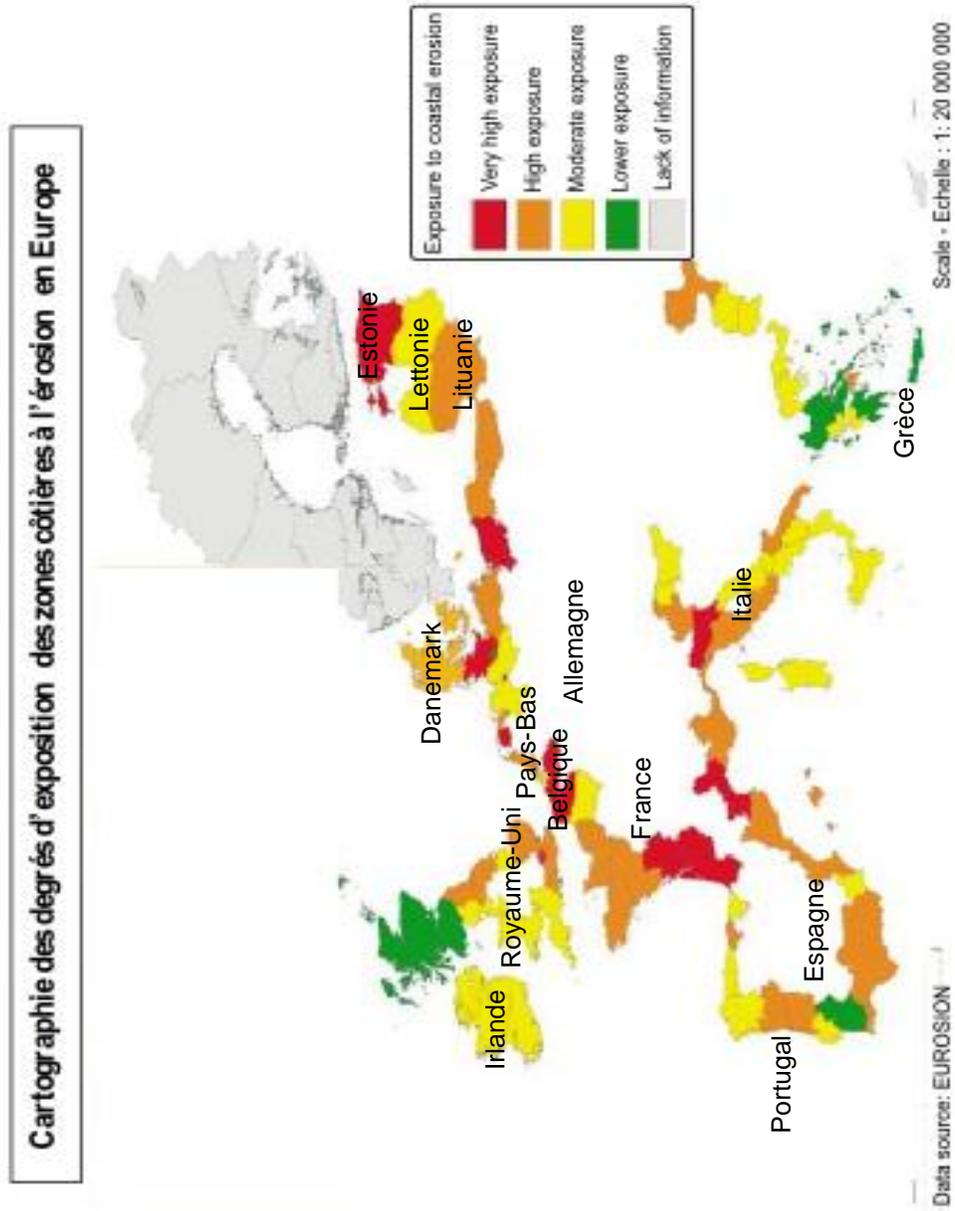


Figure 2 Exposition à l'érosion côtière

Source : Modifié de Service Eau et Prévention des Risques Naturels - mars 2009 (EUROSION)

Tableau 1 Critères de sélection des pays à visiter

	France	Royame- Uni	Pays- Bas	Espagne	Estonie	Allemagne
Historique de routes à risques	+	+				
Niveau d'organisation institutionnel en GIZC	+	+	+			+
Projets novateurs en ACC	+	+	+			+
Haute exposition à l'érosion	++	+	+			+
Tendances récentes de submersion (NMR)	+	+	++	+	+	+
Dynamique de glace	-	(Écosse)	-	-	+	(Côte balte)
TOTAL						
Positif (+)	5	5	4	1	2	4
Neutre	0	1	1	4	4	2
Négatif (-)	1	0	1	1	0	0

Afin de trouver des études de cas concrètes touchant la problématique de la vulnérabilité des routes, 1 à 3 sites d'intérêt local ou régional (dits *zones d'intérêt*) ont été identifiés dans chaque pays. Les critères de sélection étaient la présence de routes exposées à l'érosion ou à la submersion et le souci de couvrir une certaine diversité des types de côtes, vu la grande diversité des situations dans l'Est du Québec. Ces zones ont été identifiées en analysant la répartition du RR (réseau routier) sur *Google maps*, celle des types de côtes et en effectuant des recherches sur les moteurs internet par mot-clé dans la langue appropriée (p. ex. « routes » + [« érosion » ou « submersion » ou « dommages »]).

Plusieurs dizaines de demandes d'entrevues furent ensuite émises. Afin de cerner les bons acteurs à contacter, 12 cibles thématiques d'échantillonnage ont été établies, en se basant sur deux dimensions principales : 1) des thèmes principaux touchant à la problématique de la vulnérabilité des routes côtières et 2) des échelles d'acteurs (figure 3). Pour chaque cible nous avons appliqué le protocole suivant :

- recherche sur internet pour identifier les pages officielles ou documents officiels;
- identification de l'organisme responsable de ces cibles ou du/des acteurs responsables ou auteurs de documents particuliers;
- recherche des courriels et numéros de téléphone de ces organismes ou acteurs nominatifs à l'aide des organigrammes, des bottins de personnel ou de moteurs de recherche;

- envoi de demandes d'entrevue par courriel, parfois à 2-3 acteurs dans un même organisme;
- en cas d'absence de réponse, appels téléphoniques pour compléter ou tenter de compléter l'échantillonnage;
- échantillonnage « boule-de-neige » à l'occasion pour compléter (contact d'acteurs supplémentaires recommandés lors des entrevues).

Une difficulté particulière est à noter au Royaume-Uni : l'absence de bottin du personnel dans les ministères. La majorité des contacts disponibles consistait en des adresses génériques de demande d'information, ce qui a rendu l'échantillonnage plus difficile.

Une particularité est à noter aux Pays-Bas : la faible superficie du territoire simplifie la structure institutionnelle et entraîne l'absence de structures « régionales ». Des sous-divisions spatiales de l'ordre de grandeur d'une municipalité existent. Cependant, les principales structures et enjeux côtiers et routiers sont gérés à l'échelle centrale. Ainsi, les acteurs des ministères centraux étaient à même de nous informer quant à la situation locale dans la zone d'intérêt sélectionnée, rendant superflue la rencontre d'acteurs « locaux ».

	TRANSPORTS	ZONE CÔTIÈRE	RISQUES NAT.	ADAPTATION CC	AMÉNAGEMENT, DD
Ministères centraux	Ministère central de transports (1)	Ministère central de l'environnement /zone côtière (1)	Ministère central de la sécurité civile (1)	Ministère central responsable des changements climatiques (1)	Ministère central responsable de l'aménagement du territoire (1)
Zones d'intérêt	DR des transports dans chaque zone d'intérêt (1-2)	DR de l'environnement dans chaque zone d'intérêt (1-2)	DR de la sécurité civile dans chaque zone d'intérêt (1-2)		Ministère central responsable de l'aménagement du territoire (1)
Recherche	Centre d'expertise en matière de transports (1)	Centre d'expertise en matière de zone côtière (1)		Centre d'expertise en matière de CC et adaptation (1)	

Figure 3 Cibles thématiques d'échantillonnage dans chaque pays : 5 thèmes, 3 domaines d'acteurs.

CC = Changements climatiques, DD = développement durable. Les nombres entre parenthèses représentent le nombre d'entrevues visées.

2.3. Description et localisation de l'échantillonnage

Le résumé de l'échantillonnage est présenté à la figure 4. Vu le temps imparti, les ressources et l'importance des déplacements à effectuer, 20 entrevues ont été réalisées en France, au Royaume-Uni et aux Pays-Bas entre le 13 janvier et le 16 février 2013, en passant 7-10 jours dans chaque pays. La plupart des entrevues furent individuelles, mais certaines ont été réalisées en groupe afin de réunir plusieurs acteurs clés d'un même ministère ou organisme. Dans chaque zone d'intérêt sélectionnée, des visites de terrain ont également été réalisées durant une demi à une journée complète, dépendant de l'étendue à parcourir et du temps disponible.

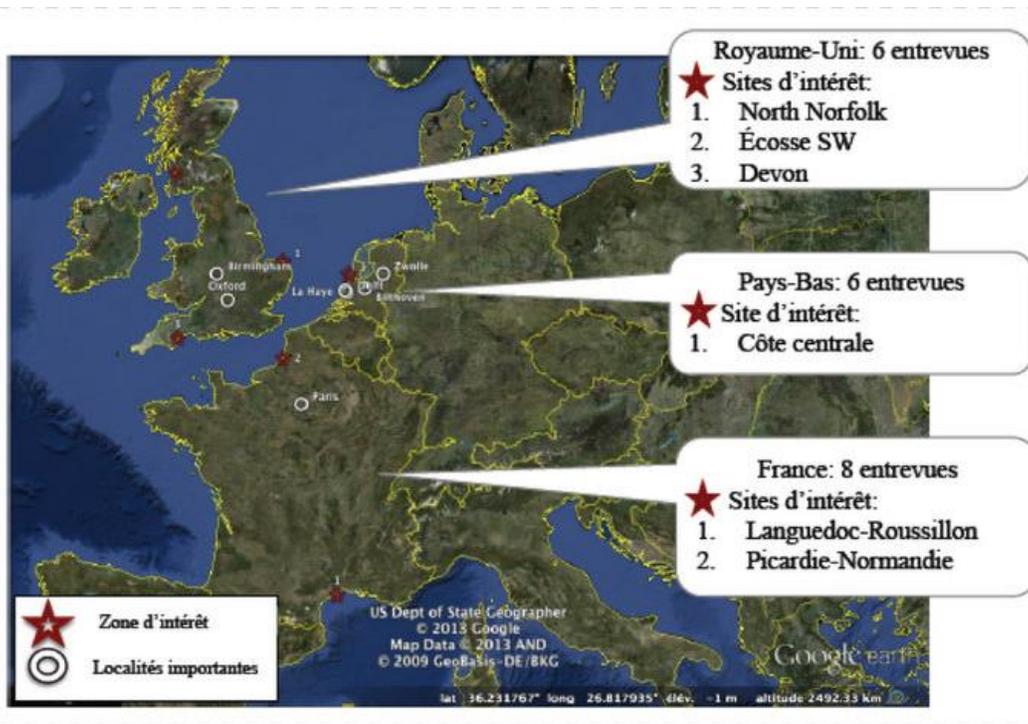


Figure 4 Localisation de l'échantillonnage, nombre d'entrevues par pays et zones d'intérêt visitées

Les tableaux 2, 3 et 4 résument pour chaque pays les différents organismes rencontrés, la cible d'échantillonnage et le nombre de participants à chaque entrevue.

Tableau 2 Description des entrevues en France

	Organisme, sous-division(s)	Cible d'échantillonnage	Participants
IFR01	MEDDE, Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) - Languedoc-Roussillon, Unité Dynamique Sédimentaire et Aléas Côtiers, Service Risques	Risques naturels, Aménagement du territoire, Zone côtière - site d'intérêt Languedoc-Roussillon	1
IFR02	Conseil général du département de l'Hérault (34), Direction générale des routes	Transport - site d'intérêt Languedoc-Roussillon	1
IFR03	Thau aggro, Service sur les espaces naturels	Zone côtière - site d'intérêt Languedoc-Roussillon	1
IFR04	MEDDE, Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM), Sous-direction des études et de la prospective, Service de l'administration générale et de la stratégie, Bureau des études économiques générales	Transport et ACC - ministère central	1
IFR05*	MEDDE, Conseil général de l'environnement et du DD, Collège des risques naturels et technologiques; MEDDE, Direction générale de la prévention des risques (DGPR), Plan submersion rapide	Risques naturels, zone côtière, développement durable - ministère central	2
IFR06	MEDDE, Directions départementales des territoires et de la mer, Service connaissances des territoires, urbanisme et risques, Bureau de la prévention des risques	Risques naturels, aménagement du territoire - site d'intérêt Picardie-Normandie	2
IFR07*	Université Caen-Basse Normandie, Laboratoire CNRS Caen Géographie Physique et Environnement (Geophen)	Zone côtière, risques naturels - Recherche multidisciplinaire	2
IFR08	Conseil général du département de la Somme (80), Aménagement et équipement, Infrastructures; Stratégie littorale; Pilotage de projets	Transport, aménagement du territoire, zone côtière - site d'intérêt Picardie-Normandie	3

*Entrevue téléphonique en raison d'intempéries ou de conflit d'horaire.
MEDDE = ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie.

Tableau 3 Description des entrevues au Royaume-Uni

	Organisme, sous-division(s)	Cible d'échantillonnage	Participants
IUK01	Norfolk County Council, North Norfolk District, Highways authorities	Transports - site d'intérêt North Norfolk	2
IUK02	Norfolk County Council, North Norfolk District, Coast and Community Project	Zone côtière, aménagement du territoire - Site d'intérêt du North Norfolk	1
IUK03	Transport Scotland, Major Transport Infrastructure Projects Directorate, Network maintenance; Environment & Sustainability Branch	Transport, ACC, Risques naturels, Aménagement, Développement durable - site d'intérêt en Écosse	2
IUK04	University of Birmingham, School of Civil Engineering, Birmingham Centre for Rail Research and Education, FUTURENET project	Transport – Recherche	3
IUK05	UK Environmental Agency (dans le Devon), Living with changing coast (European project); Réserve naturelle nationale et centre de recherche appliquée de Slapton Ley	Zone côtière, transports - ministère central, recherche et site d'intérêt du Devon	2
IUK06	University of Oxford, Environmental change Institute, UK climate impact program (UKCIP)	ACC - Ministère central et recherche	1

Tableau 4 Description des entrevues aux Pays-Bas

	Organisme, sous-division(s)	Cible d'échantillonnage	Participants
INL01	Arcadis Netherlands, Water Division, Director Coasts & Marine Systems, projet européen OURCOAST	Zone côtière - ministère central et recherche	1
INL02	Netherlands Environmental Agency, Knowledge for Climate Foundation & The Netherlands Organization for applied scientific research (TNO); Université de Delft	Transports - ministère central et recherche	1
INL03	The Netherlands Organization for applied scientific research (TNO), Développement régional, Projet Knowledge for Climate	Aménagement, ACC - ministère central et recherche	1
INL04	ministère des Infrastructures et de l'Environnement, Agence des autoroutes et de l'eau, Centre de gestion de crise	Risques naturels, Transports - ministère central	2
INL05	Delta Commissioner (Agence publique de gestion des risques d'inondation dans le Delta)	Zone côtière, Risques naturels, Aménagement du territoire, ACC - ministère central	1
INL06	Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL), Direction générale du secteur Eau, Agriculture et Alimentation, Projets sur développement spatial hydrique et changements climatiques	Zone côtière, ACC - ministère central	1

2.4. Données photographiques

La visite des sites d'intérêt a permis de constituer une banque photographique géoréférencée, dont les albums sont disponibles sur internet aux adresses inscrites au tableau 5, ainsi qu'à l'annexe B dans les dossiers par pays.

Tableau 5 Volume et adresses URL des albums photographiques pour chaque site d'intérêt visité

Site	Nombre de photographies Adresse URL
France - Languedoc-Rousillon	118 photos
https://plus.google.com/photos/109957857188470459808/albums/6082689391172058849?authkey=CPrKwKzZ_fSISg	
France - Normandie-Picardie	227 photos
https://plus.google.com/photos/109957857188470459808/albums/6082690936227281569	
Royaume-Uni - North Norfolk	26 photos
https://plus.google.com/photos/109957857188470459808/albums/6082693128180614833	
Royaume-Uni – Écosse	146 photos
https://plus.google.com/photos/109957857188470459808/albums/6082698441919131185?authkey=CJ3n5t-QlozJxwE	
Royaume-Uni – Devon	104 photos
https://plus.google.com/photos/109957857188470459808/albums/6082695858682682497	
Pays-Bas - Zone centrale	77 photos
https://plus.google.com/photos/109957857188470459808/albums/6082700670252712497	

2.5. Échantillonnage documentaire

Par les recherches sur les sites officiels et sur les moteurs de recherche, une quantité considérable d'informations et de documents a été consignée sur le sujet de la vulnérabilité des routes côtières face aux changements climatiques dans plusieurs pays. En plus des pays visités, un échantillonnage supplémentaire a été effectué pour l'Espagne, l'Allemagne, les États-Unis et les provinces maritimes du Canada. Une bibliographie exhaustive est disponible à l'annexe B, par pays, État ou province; les documents sont disponibles pour téléchargement depuis le support électronique supplémentaire accompagnant ce rapport. Dans la liste des références, un effort a aussi été fait pour mettre les adresses URL d'où les documents ont été téléchargés. Les liens étaient tous valides au moment d'écrire ce rapport.

Les cibles d'échantillonnage documentaire étaient les mêmes que celles présentées à la figure 3. Les grandes catégories de documents récoltés sont des plans/stratégies nationales ou documents officiels à propos des diverses thématiques, des documents soutenant les études de cas et des articles ou rapports scientifiques. L'information disponible sur les sites officiels de chaque ministère ou organisme fut aussi consultée et est référencée en cours de texte.

2.6. Analyse des données

Pour chaque pays, État ou province, une analyse thématique a été réalisée pour chaque thème sélectionné (voir section 2.1), en s'appuyant sur les diverses sources d'information décrites plus haut : les données récoltées durant les entrevues, les sites internet officiels, les documents obtenus et les visites de terrain.

Pour chacun des thèmes, il s'agissait de colliger les documents officiels, de souligner leurs particularités en matière de transport, en s'appuyant le cas échéant sur les entrevues ou la littérature scientifique, et de qualifier leur efficacité ou le potentiel des mesures décrites pour le Québec (succès, échecs ou pistes à éviter). À cette analyse s'ajoute la description de sites visités à l'étranger, pouvant éclairer les pratiques québécoises d'adaptation des infrastructures de transport aux changements climatiques et aux risques côtiers. Une analyse lexicométrique exploratoire (statistiques sur les mots utilisés) a également été effectuée sur les principaux documents français à l'échelle nationale. Elle visait à identifier la nature du lien entre le thème des transports, des zones côtières, de l'aménagement du territoire et de la gestion des risques naturels.

3. STRATÉGIES D'ADAPTATION À L'ÉCHELON NATIONAL

L'analyse de la place dévolue à l'adaptation aux CC et à la réduction de la vulnérabilité des infrastructures de transport dans les stratégies nationales des différents pays et de la façon dont celles-ci sont traitées, permettra de dégager différents constats applicables au Québec. La gouvernance en matière d'évaluation de la vulnérabilité des infrastructures de transport sera ensuite évoquée. Enfin, les spécificités de la législation et de la réglementation dont le Québec pourrait s'inspirer, à l'échelle nationale et locale, seront décrites.

3.1. Les différentes stratégies nationales

Tel qu'illustré au tableau 6, chacun des pays analysés possède des stratégies nationales dans les différents thèmes à l'étude, mais seul le Royaume-Uni possède une stratégie nationale dans l'ensemble de ces thèmes.

Tableau 6 Diversité des stratégies nationales d'adaptation par pays

Pays	Transport	Zone côtière (ZC)	Risques naturels (RN)	ACC	Aménagement & DD	Vulnérabilité des transports
France	✓	✓	In prep. (DGPR)	✓	✓	In prep. (DGITM) (nationale)
Royaume-Uni	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pays-Bas	✓	✓	✓	✓	Inclut dans ZC, RN et ACC	Thèse de Snelder, 2010
Nouvelle-Écosse	*	✓		✓	✓	
Nouveau-Brunswick	*	✓		✓		
Terre-Neuve-et-Labrador	*	✓		✓		
Île-du-Prince-Édouard	*			✓		
États-Unis (état fédéral)		✓	°	✓		

* : stratégie des transports à l'échelle des Maritimes (ministère des Transports du Nouveau-Brunswick, 2008)

° : stratégie d'ordre scientifique publiée par l'agence fédérale USGS (Holmes *et al.*, 2013).

Les différentes stratégies peuvent éclairer sur les capacités d'adaptation des différentes organisations responsables de la gestion des infrastructures de transport, même si nombre de ces documents n'y font pas directement référence. Malgré leur importance pour de nombreuses communautés côtières, notamment les plus isolées, la nécessité de maintenir l'intégrité des routes et de mettre en place une politique de prévention et d'adaptation aux risques côtiers dans un contexte de changements climatiques n'est pas toujours soulignée.

3.2. La place de l'adaptation des infrastructures de transport dans les documents officiels

L'analyse thématique dans les stratégies nationales de chaque pays a montré que le grand domaine de l'adaptation des transports s'articule autour de deux thèmes principaux : la réduction des gaz à effet de serre (GES) et les habitudes de mobilité des populations. Ces deux thèmes sont les plus fréquemment repris tant dans les stratégies de gestion de la zone côtière, des risques naturels, d'adaptation aux changements climatiques, d'aménagement ou de développement durable. Autrement dit, les stratégies d'adaptation portent surtout sur les aspects de « consommation » des transports, afin de réduire les impacts sur les changements climatiques. Il s'agit en fait de « mitigation » aussi appelé « mesures d'atténuation », au sens donné par la Stratégie internationale de prévention des catastrophes : « La réduction ou la limitation de l'impact négatif des aléas et des catastrophes » (UNISDR, 2009).

À l'opposé, l'aspect « récepteur » des transports, c'est-à-dire les impacts des changements climatiques sur les systèmes de transports et la nécessité de s'adapter à ces impacts, est quasiment absent des stratégies nationales. Par ailleurs, très peu de pays ont réellement initié des stratégies d'adaptation des transports ou des infrastructures de transport, il s'agit la plupart de stratégies où seules certaines mesures sont d'ores et déjà en œuvre. Néanmoins, plusieurs documents officiels traitant de la vulnérabilité des infrastructures de transport, en France, en Écosse, aux États-Unis et à Terre-Neuve-et-Labrador, méritent d'être signalés.

3.2.1. *L'analyse de vulnérabilité des infrastructures de transport face aux changements climatiques en France*

En France, un chapitre complet du Plan national d'adaptation aux CC est dédié aux infrastructures et services de transport. Ce plan d'action s'appuie sur les stratégies présentées au tableau 7. Plus de détails sont disponibles à l'annexe C.

Tableau 7 Stratégies essentielles à l'adaptation des infrastructures et des services de transport, d'après le plan national d'action face aux changements climatiques en France

Stratégie	Description
Connaissance des seuils de rupture	La mise en valeur de seuils critiques (seuils d'irréversibilité notamment)
Concertation	La mise en place d'approches participatives afin d'impliquer les acteurs concernés dans l'analyse
Contexte local	L'éclairage socio-économique
Solutions adaptables et sans regret	La priorité à la recherche de solutions flexibles, révisables ou de stratégies « sans regret »
Priorisation	Élaboration d'une échelle des priorités des mesures à prendre
Fixation du niveau de risque	La qualification des niveaux de risque acceptables

Source : adapté de DGITM, 2011.

3.2.2. Le plan de gestion de la vulnérabilité des infrastructures de transport en Écosse

L'Écosse a produit un chapitre complet dédié aux transports dans son cadre de gestion de l'ACC, intitulé « Scotland's Climate Change Adaptation Framework: Transport Sector Action Plan » (Transport Scotland, 2011). Ce plan d'action s'articule autour de trois « piliers » principaux :

- 1) « Comprendre les conséquences des changements climatiques
- 2) Doter les gestionnaires de compétences et d'outils
- 3) Intégrer l'adaptation dans les politiques publiques et la réglementation : passer à l'action ». (Transport Scotland, 2011, traduction libre)

Les principaux impacts sur les infrastructures propres à l'Écosse étaient les suivants :

- Exposition aux vagues de chaleurs (déformations de la chaussée)
- Exposition aux pluies diluviennes
- Exposition aux conditions hivernales
- Exposition aux glissements de terrain
- Exposition à la submersion

(Transport Scotland, 2011, traduction libre)

Le premier pilier peut être résumé par les stratégies présentées au tableau 8.

Tableau 8 Stratégies essentielles à la compréhension des conséquences des changements climatiques sur les infrastructures de transport, d'après le premier pilier du plan d'action Écossais

Stratégie	Description
Partage de données	Créer une infrastructure de coordination de l'information et des données
Localisation des enjeux	Collecte de données pour déterminer les secteurs où les infrastructures sont sensibles aux différents aléas
Choisir des adaptations adéquates	Déterminer des actions requises pour l'adaptation des infrastructures en incluant les projections climatiques
Améliorer les connaissances	Évaluer les effets des aléas méconnus sur les infrastructures de transport (rehaussement du niveau de la mer, brouillard)
Impacts sur les services réguliers	Évaluer les effets des conditions plus humides sur la circulation et les bouchons, avec une attention particulière pour le transport en commun
Impacts sur les services en situation extrême	Évaluer la robustesse des réseaux de transports à supporter les réseaux essentiels (life lines) en cas d'événements de tempête ou de forts vents
Réseautage	Établir des réseaux de collaborations avec d'autres pays/régions en situation similaire
Vulnérabilité côtière	Évaluer la vulnérabilité des infrastructures de transport face à l'augmentation du NMR et aux risques d'inondation/submersion

Source : adapté de Transport Scotland, 2011.

L'évaluation de la vulnérabilité côtière des infrastructures apparaît donc comme une action de premier ordre dans le premier pilier. La démarche n'intègre par contre aucun aspect particulier à l'érosion côtière.

3.2.3. L'impact des changements climatiques sur les infrastructures de transport aux États-Unis

Le site internet de la *Federal Highway Administration* recense de façon précise les différentes solutions possibles pour contrer les impacts des changements climatiques sur les infrastructures routières selon les saisons (http://www.fhwa.dot.gov/environment/climate_change/adaptation/resources_and_publications/vulnerability_assessment/index.cfm).

Selon cette revue de littérature, l'évaluation de cette vulnérabilité passe généralement par trois phases :

- Évaluer la vulnérabilité actuelle : identifier les conditions climatiques impactant les infrastructures, mais aussi les facteurs sociaux (changements de politiques) et économiques (évolution du marché) à partir notamment de données historiques (Mehdi *et al.*, 2006) ;
- Estimer les conditions futures : projection des effets des changements climatiques à une période donnée et à une saison donnée, en estimant également les changements prévus dans les facteurs de stress au système ou

l'apparition éventuelle de nouveaux facteurs de stress (Mehdi *et al.*, 2006 ; Snover *et al.*, 2007) ;

- Estimer les vulnérabilités futures : celles-ci dépendent de la sensibilité du système aux changements climatiques et de ses capacités de résilience, cette dernière dépendant des efforts actuels consentis pour s'adapter, de la présence d'obstacles à la capacité d'adaptation et de la rapidité des changements vs. cette capacité (Turner *et al.*, 2003 ; Snover *et al.*, 2007). Celles-ci peuvent être estimées par des critères qualitatifs, voire quantitatifs, ce qui permet de hiérarchiser les impacts futurs (Snover *et al.*, 2007).

Dans un rapport, la Federal Highway Administration (2012) propose par ailleurs un cadre d'évaluation sur la vulnérabilité aux changements climatiques et météorologiques extrêmes, avec de nombreuses méthodologies provenant de divers États américains (figure 5).

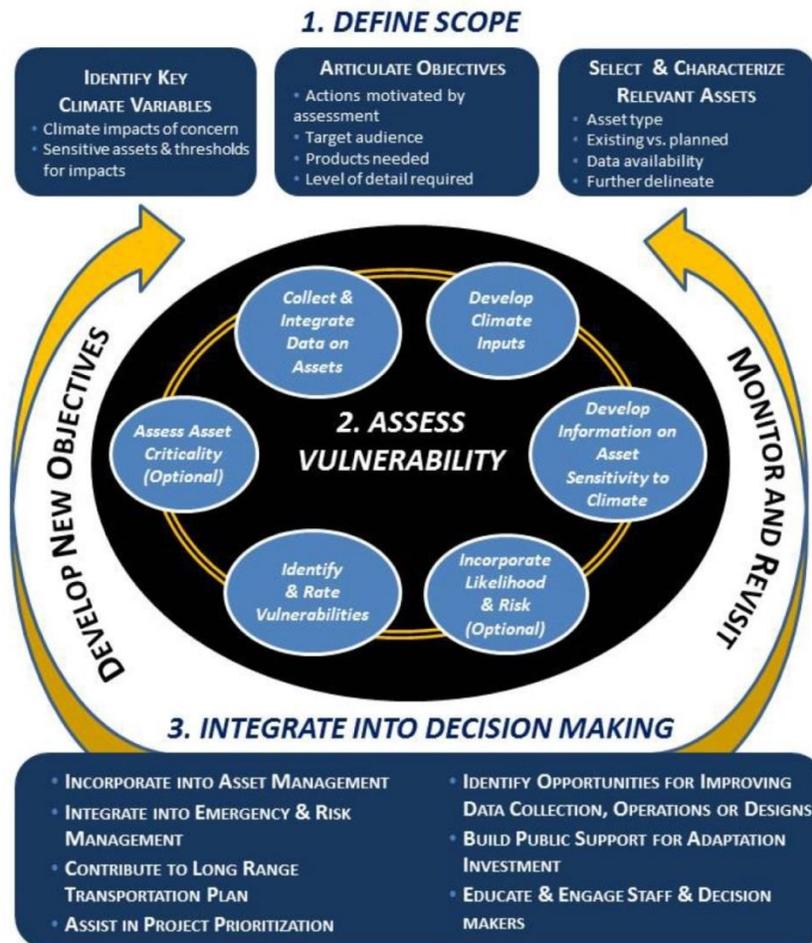


Figure 5 Cadre d'évaluation sur la vulnérabilité des infrastructures aux changements climatiques et météorologiques extrêmes aux États-Unis

Source : Federal Highway Administration, 2012.

3.2.4. *La caractérisation de la vulnérabilité des infrastructures de transport à Terre-Neuve-et-Labrador*

À Terre-Neuve-et-Labrador, une évaluation du risque d'inondation dans un estuaire a été réalisée sur la base des critères définis pour le transport et les services essentiels (AMEC Earth & Environmental, 2012) : critères géotechniques et de construction (en fonction du substrat), critères de fiabilité des voies et infrastructures de transport (pour les services essentiels), critères de coût (pour l'amélioration ou le remplacement des infrastructures), critères de perturbation des activités (au cours de la construction d'infrastructures nouvelles ou de leur remplacement) (figure 6).

CATEGORY	CRITERIA	Risk Description	Transportation & Essential Services			
			L	C	Risk	
Constructability / Functionality	CF1	Geotechnical & Construction	Potential for encountering poor soils and/or elevated groundwater conditions due to existing silty soils near watercourses.	3	4	12
	CF2	Infrastructure Requirements	Replacement of existing roads and bridges on arterial roads to remain usable during elevated water levels.	3	3	9
	CF3	Operations & Maintenance Requirements	Similar requirements to present, but may be more bridges and drainage structures.	3	2	6
	CF4	Property & Access	New arterial routes may be required which may require acquisition of land. May require realignment of roads in existing developments.	3	3	9
	CF5	System Reliability	Reliability required for acceptable operations of emergency services and first responders in an emergency situation.	4	3	12
Economy	E1	Added benefits	Projects could be defined and scheduled to address existing deficiencies in transportation and essential services.	3	3	9
	E2	Efficient Use of Existing Capacity	Use available capacity as much as possible.	3	3	9
	E3	Energy Consumption	Energy required for construction of new/replacement infrastructure.	3	2	6
	E4	Construction Cost	Consider cost of replacing existing key infrastructure to address climate change impacts only.	4	3	12
Natural Environment	N1	Impact on Significant Natural Features	Most works would occur in existing developed areas.	2	2	4
	N2	Impact on Aquatic Systems	Most works would occur in existing developed areas.	1	1	1
	N3	Impact on Ground & Surface Waters	Minimal impact due to use of conventional construction and mitigation measures.	1	1	1
	N4	Impact on Global Warming	Construction to relocate roads and buildings would require asphalt, construction materials, and energy.	3	2	6
Caring & Healthy Community	CH1	Displacement of Residents & Institutions	Consider impacts due to retreat from areas potentially impacted - affects residential and business/institutional uses.	2	4	8
	CH2	Disruption to Existing Community	Residential and commercial interruptions will occur during construction of new facilities located in existing developed areas of communities.	4	3	12
	CH3	Compatibility with Planned Land Use and Infrastructure	Existing land use plans and design guidelines will need to be revised to encourage positive adaptation to climate change impacts.	3	3	9

Figure 6 Critères d'évaluation du risque pour les transports et services essentiels

L = likelyhood (probabilité). 1 : peu probable, 2 : possible, 3 : probable et 4 : presque certain
C = consequences (conséquences). 1 : mineures, 2 : modérées, 3 : majeures, 4 : catastrophiques.
Risk = Risque : une échelle relative a été utilisée

Source : AMEC Earth & Environmental, 2011

Une autre étude a été menée pour évaluer l'exposition à l'isolement dans des communautés côtières de Terre-Neuve-et-Labrador (AMEC Environment & Infrastructure, 2012; figure 7). L'environnement physique, l'emplacement et la répartition de la route, ainsi que la population ont été évalués dans cette étude. Un indice d'isolement a même été calculé pour différentes municipalités, la présence d'intersections de la route côtière avec des cours d'eau ayant été prise en compte.

Community	Access Notes	Confinement	Isolation Report	Ranking
Badger	Multiple access routes all cross waterways near town	Unconfined	No	1
Belleoram	Isolated, coastal town; roads along coast	High	No	3
Carbonear	Coastal valley with many access routes	Low	No	1
Codroy Valley	River crosses main access road in several locations	Moderate	Yes	3
Cold Brook	River crosses access road in several locations	Moderate	Yes	3
Corner Brook	Several other rivers flow into area, main access roads cross rivers; few options	Moderate	Yes	2
Daniel's Harbour	Coastal town with main n-s road, but appear to be alternative access options	Unconfined	No	1
Deer Lake	Many roads, but many cut by streams	Low	No	1
Ferryland	Several access routes; only n-s roads along coast	Low	No	2
Gambo	Several access routes along coast and upland; water a factor with each route	Unconfined	No	0
Gander	Many roads along Gander River, into upland	Unconfined	No	0
Grand Bank	Main coastal road cut by waterways in both directions; no upland options	Moderate	No	3
Grand Falls	Many alternatives, several cut by rivers, especially on south side of Exploits	Unconfined	No	1
Goulds	No access issues	Unconfined	No	0
Hermitage-Sandyville	Singular highway located on peninsula high point; crosses many water bodies	Confined	No	3
King's Point	Few access roads cross small streams	Low	Yes	2
Petty-Harbour/Maddox Cove	Few access routes; small stream crossing	Moderate	No	1
Marystown	Many roads but most in low-lying areas or	Low	Yes	3
Weighting	Description			
0	Relatively unconfined with multiple access options			
1	Moderately low confinement with access options			
2	Moderately high confinement or limited access options			
3	Confined communities with exposed access option(s)			

Figure 7 Classement de la vulnérabilité des communautés aux effets indirects des inondations

Source : AMEC Environment & Infrastructure, 2012, p. 124-125

Des objectifs (aussi appelés « stratégies ») inspirés des modèles écossais, français, américain et de Terre-Neuve-et-Labrador pourraient toucher à trois thèmes principaux :

- **l'évaluation de l'impact des aléas** : utilisation de plusieurs critères comme les conditions climatiques à l'origine du problème, l'exposition à l'isolement ou encore les seuils de rupture, en tenant compte d'un inventaire des critères de conception des ouvrages pouvant être influencés par les CC;
- **la recherche de solutions**
 - à l'échelle des cellules hydrosédimentaires (seuils de risque acceptables) en tenant compte des usages multiples du territoire dans chaque cellule;
 - à l'échelle des infrastructures (quantification de la calibration nécessaire pour s'adapter aux CC, voir aussi chapitre 2, relocalisation des infrastructures);
- **la manière de gérer la vulnérabilité**, en collaboration avec les communautés locales et les différents niveaux administratifs, en prenant en compte les enjeux connexes aux infrastructures de transport et en facilitant le partage des données.

Stratégie 2

Se doter d'une stratégie nationale de gestion du trait de côte, avec un chapitre sur l'adaptation des infrastructures de transport.

Il est essentiel de prendre conscience que le trait de côte n'est pas statique dans le temps, que sa vitesse de déplacement évolue tant de manière temporelle que spatiale et que les changements climatiques et les interventions humaines peuvent modifier la vitesse à laquelle il évolue.

La présence d'un tel document renforce les capacités d'adaptation des infrastructures en donnant un cadre pour établir des objectifs d'actions et pour intégrer la gestion des transports et de sa vulnérabilité à celle de l'occupation du territoire côtier dans son ensemble. L'occupation du territoire côtier dans l'Est du Québec dépend d'ailleurs largement de l'intégrité durable des infrastructures de transport.

Étant donné la nécessité d'avoir une vision stratégique de gestion du trait de côte au Québec dans une optique d'ACC, il serait primordial qu'un tel document soit réalisé à l'échelle de la province. L'initiative annoncée des tables de concertation régionales de GIZC (Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026), dans lesquelles ces questions pourraient être abordées, est prometteuse, mais il sera aussi nécessaire d'avoir une vision plus globale, à l'échelle de la province, en matière d'aménagement des territoires côtiers et d'adaptation aux CC afin d'assurer une certaine équité entre les régions. Étant donné l'importance que revêtirait ce document stratégique et programmatique pour la gestion des infrastructures routières, le MTQ devrait revendiquer et contribuer à sa création.

Vu l'importance de l'enjeu des transports en région côtière, un volet à part entière devrait y être consacré dans une stratégie québécoise de gestion du trait de côte. Il est important que l'interface entre les transports et l'ACC aille au-delà des objectifs de réduction des GES. C'est une lacune fréquente dans les documents analysés des ministères des Transports. La formulation d'objectifs visant directement l'adaptation des services ou des infrastructures est essentielle (voir ci-haut des exemples d'objectifs d'adaptation).

Ces documents devront être publicisés et diffusés au grand public (voir exemples des Maritimes, annexe F). Un site internet compilant les solutions d'adaptation aux changements climatiques des infrastructures de transport pourrait également être créé.

À éviter :

Piège 1 : Dans les documents officiels émanant des ministères des Transports, se limiter à l'objectif de réduction des GES, en occultant l'adaptation des infrastructures et des services.

3.3. Gouvernance en matière d'évaluation de la vulnérabilité des infrastructures de transport

À l'échelle nationale, il existe deux figures de cas au niveau de l'organisation des deux principales compétences nécessaires à l'évaluation de la vulnérabilité des infrastructures de transport (figure 9) : les transports et l'environnement. La première (cas A) consiste en la combinaison des transports et de l'environnement dans un ministère commun :

- France : MEDDE : ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/>)
- Pays-Bas : Ministère des Infrastructures et de l'Environnement (*Rijkswaterstaat*, <http://www.rijkswaterstaat.nl/en/>)

Cette configuration a l'avantage théorique de favoriser le décloisonnement entre les compétences et facilite la collaboration multidisciplinaire, qui est nécessaire pour gérer les différents impacts des changements climatiques. Elle peut par contre s'accompagner d'une lourdeur administrative excessive.

La deuxième figure de cas (cas B) consiste en une grande agence paragouvernementale de l'environnement qui agit à titre de leader en environnement, y compris pour des analyses de vulnérabilité thématique ou des plans d'adaptation. Ces agences sont distinctes des ministères de l'environnement :

- Royaume-Uni : Agence de l'environnement (<http://www.environment-agency.gov.uk/>) vs. Ministère de l'Environnement, de la Nourriture et des Affaires Rurales (<http://www.defra.gov.uk/>).

- États-Unis : plusieurs agences fédérales dépendant de ministères différents s'intéressent aux questions de gestion des risques naturels et aux infrastructures de transport : concernant les infrastructures routières et leur vulnérabilité face aux risques la *Federal Highway Administration* (<http://www.fhwa.dot.gov/>), concernant la connaissance des aléas, mais aussi leur prévention la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (<http://www.noaa.gov/index.html>) et le *U.S. Geological Survey* : (<http://www.usgs.gov/>), concernant la gestion des risques naturels la *Federal Emergency Management Agency* (<http://www.fema.gov/>).

Ceci a pour avantage de fournir une expertise qui n'est pas sous la contrainte des changements de gouvernement.

En comparaison, le modèle québécois (cas C) ne comporte pas d'interface intrinsèque favorisant la collaboration interdisciplinaire. C'est le cas également des provinces maritimes du Canada, même s'il existe parfois une agence gouvernementale spécifique (*Climate Change Nova Scotia*, <http://climatechange.gov.ns.ca/>). Ceci pourrait défavoriser une évaluation complète de la vulnérabilité des infrastructures de transport. Il est important de souligner un élément intéressant dans l'organisation interne du ministère des Transports du Québec, soit l'existence au sein du ministère d'une Direction de l'environnement et de la recherche qui favorise l'émergence et la communication de nouvelles connaissances directement en lien avec les différentes facettes des transports.

L'organisation des compétences avec des interfaces multidisciplinaires facilite l'élaboration de stratégies et d'une expertise nationale en matière d'adaptation en favorisant l'approche intégrée de gestion des impacts (multiples et complexes) des changements climatiques. Se doter de telles structures constitue donc une stratégie d'adaptation en soi. Au Québec, les zones d'interface multidisciplinaire entre le ministère de l'environnement et celui des transports sont minces (figure 9), comparées aux modèles français, britannique, néerlandais ou américain. Ceci est sans compter les différents et la complexité entraînée par le partage des juridictions entre fédéral et provincial. Ainsi, au Québec, l'utilisation d'une approche intégrée et multidisciplinaire serait sans doute bénéfique pour l'évaluation de la vulnérabilité et l'adaptation des transports en territoire côtier. Comme cette approche multidisciplinaire est essentielle (voir section 4.1), il s'avère donc nécessaire de réfléchir à une structure de collaboration.

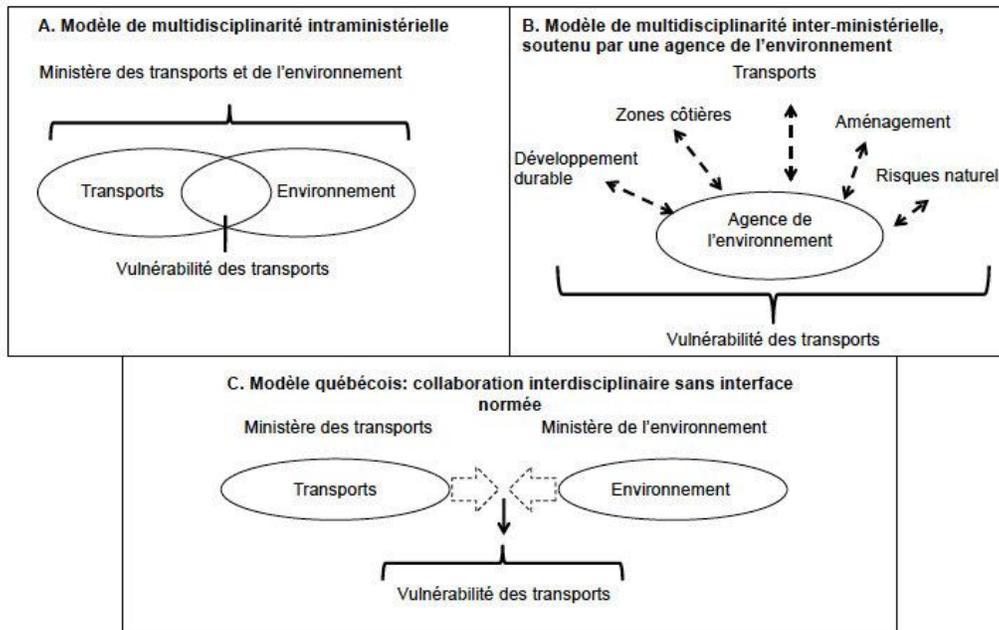


Figure 9 Organisation des compétences « environnement » et « transports » nécessaires à l'évaluation de la vulnérabilité des transports, selon trois modèles de collaboration interdisciplinaire au niveau de l'État.

A. Modèle de multidisciplinarité intraministérielle. B. Modèle de multidisciplinarité interministérielle soutenue par une Agence de l'environnement. C. Modèle québécois : collaboration interdisciplinaire sans interface normée.

Par ailleurs, l'approche britannique en matière de gestion des risques pour les infrastructures routières est relativement proche de celle du Québec. Pour la mise en place de la Stratégie britannique de gestion des risques de submersion et d'érosion côtière, la collaboration interministérielle a été au cœur de la démarche (TSO, 2011). Comme l'illustre la figure 10 ci-dessous, plusieurs ministères, organismes et autorités locales ont collaboré étroitement. Ce modèle, avec éventuellement la création d'une agence paragouvernementale de l'environnement, pourrait inspirer le Québec. **Dans le cas de problématiques interdisciplinaires telle que celle qui nous occupe, réfléchir explicitement sur ce cadre organisationnel apparaît être une clé pour le décloisonnement ministériel.**

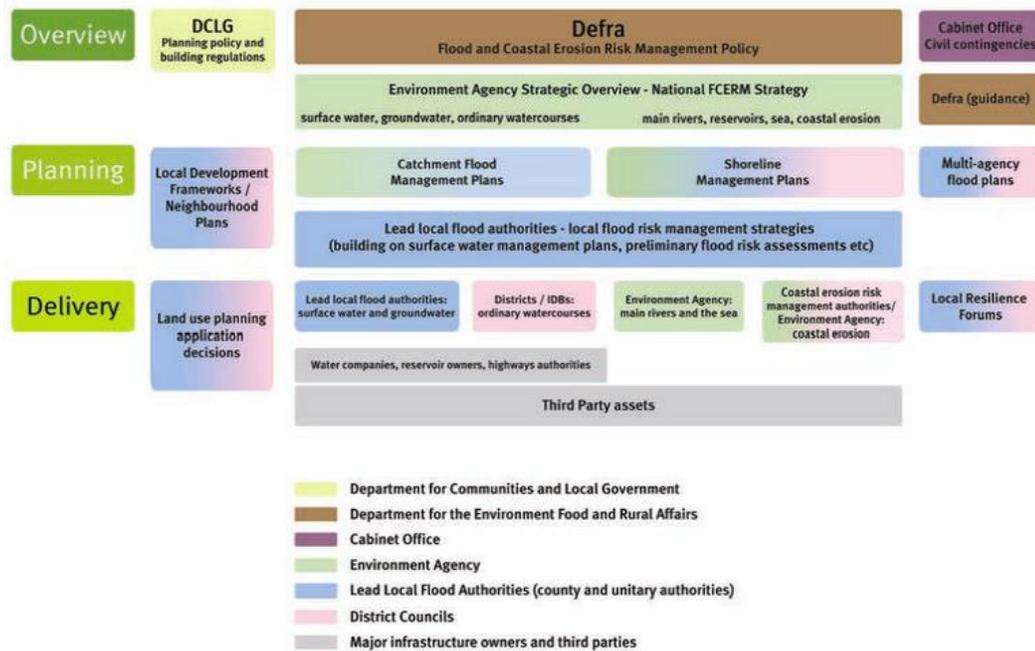


Figure 10 Collaboration interministérielle pour produire la stratégie britannique de gestion des risques de submersion et d'érosion côtière
Sources : TSO, 2011.

À retenir :

- Stratégie 3. À l'instar des Pays-Bas et de la France, se doter/identifier les zones d'interface multidisciplinaire dans l'organisation des compétences entre l'environnement et les transports.**
- Stratégie 4. Réfléchir le cadre organisationnel de collaboration interministérielle.**

3.4. Législation et réglementation en matière de risques naturels à l'échelon national

3.4.1. Niveau de risque acceptable

L'approche néerlandaise a retenu l'attention en matière de gestion des risques naturels. D'une part, l'approche se distingue dans son organisation, étant basée sur deux grands systèmes de divisions spatiales qui sont en voie d'être fusionnés, soit :

- 1) les bassins versants, auxquels sont associés des « conseils de l'eau » (*water board*), qui représente l'institution démocratique la plus vieille dans ce pays, même antérieure à la constitution d'un gouvernement;
- 2) les zones de sécurité, au nombre d'une douzaine, qui sont les unités spatiales où les services de situations d'urgence sont orchestrés.

D'autre part, les Pays-Bas ont déterminé un seuil acceptable face à la probabilité annuelle d'inondation par la mer et l'ont consigné dans le cadre législatif et réglementaire, soit une probabilité d'occurrence annuelle de 1×10^{-4} (soit en moyenne 1 événement tous les 10 000 ans), comparé à des seuils de récurrence de 8×10^{-4} par an pour les zones inondables fluviales (soit en moyenne 8 événements par période de 10 000 ans) (figure 11). En d'autres mots, il s'agit de seuils guidant la conception et la maintenance des infrastructures de protection. Ces seuils sont basés sur les distributions statistiques d'occurrence des aléas. La particularité est d'avoir donné un aspect légal à ces seuils, qui définissent des zones à différents niveaux de tolérance d'inondabilité. Durant les entrevues, les répondants rapportaient que, dans les faits, les structures côtières étaient conçues pour résister à des événements dont la probabilité d'occurrence annuelle était de 1/100 000, malgré le seuil légal de 1/10 000. Cette approche préventive de gestion du risque, étant consignée dans la législation, a pour avantage de justifier des dépenses nationales de protection contre la mer, et ouvre la porte à la justification de l'adaptation aux CC : pour maintenir le seuil de risque acceptable, il faut intégrer de nouvelles calibrations dans les structures de protection. Grâce à cette mesure et à des inspections complètes aux 6 à 10 ans, le rehaussement préventif contre l'augmentation prévue du niveau marin relatif est déjà entamé aux Pays-Bas. L'organisation par bassins versants guide également la gestion du risque, ce qui assure une gestion fortement connectée aux conditions locales.

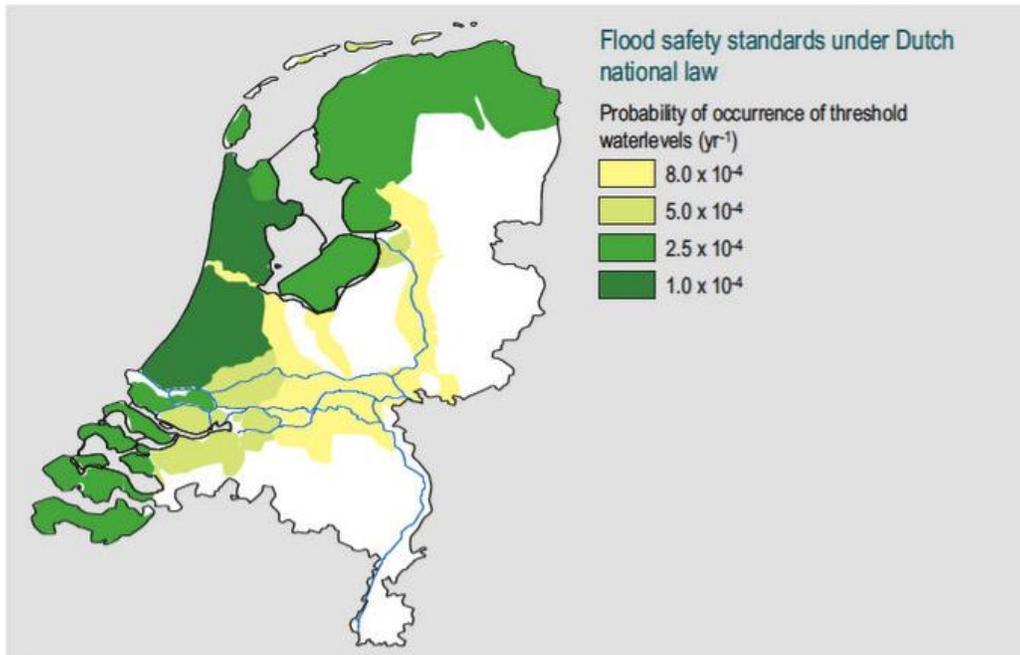


Figure 1. The Delta Commission's safety standards showing the annual risk of exceeding the normative water table.

Figure 11 Normes de sécurité de la Commission Delta montrant le risque annuel d'inondation

Source : Netherlands Environmental Agency and National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) (2004) p. 5.

À retenir :

Stratégie 5. Se doter d'un seuil (ou plusieurs seuils régionaux) acceptable(s) de tolérance aux aléas côtiers au Québec. En matière d'infrastructures de transport, deux types de seuils peuvent être distingués : 1) seuil de tolérance à la diminution de service (durée de fermeture de route temporaire pour un événement de submersion; durée de fermeture pour reconstruction suite à des dommages); ou 2) seuil de tolérance à la rupture de service (seuil économique de dommages irréversibles). La dimension de l'acceptabilité de ces seuils implique une démarche en concertation avec les communautés, ainsi qu'avec les autres ministères ou organismes parties prenantes dans la gestion intégrée des zones côtières.

3.4.2. Fonds collectif d'urgence

En matière de gestion des risques naturels, la France s'est dotée d'une mesure hors de l'ordinaire. Il s'agit d'un fonds national d'urgence créé en 1995, basé sur un principe de solidarité, nommé le « Fonds de prévention des risques naturels majeurs » dit « Fonds Barnier ». Sa responsabilité est étatique, mais sa mise en œuvre est privée. C'est-à-dire que les assureurs

privés versent une prime « catastrophe naturelle » dans ce Fonds, soit 12% des assurances habitations et automobiles (CDRNM de l'Eure, 2011 : 1). Par la suite, les dépenses sont décidées et administrées par l'État. À sa création, il servait principalement à financer l'expropriation de sites à haut risque, mais son utilisation s'est élargie : les municipalités peuvent dorénavant aussi solliciter ce fonds pour la réparation ou l'entretien d'infrastructures publiques à risque ou ayant subi des impacts.

L'aspect du financement des mesures d'adaptation est essentiel dans l'élaboration de stratégies de gestion des impacts des CC et un tel fonds, exemple déjà fonctionnel en France, apparaît comme une opportunité d'augmenter notre résilience collective. Au Québec, la magnitude des impacts des CC déjà sentis nécessite des mesures de cette ampleur (nationale) et de cette nature (solidarité). Pour l'instant, le seul mécanisme de financement disponible est celui du fonds d'urgence gouvernemental en cas de sinistre, qui peut être dégagé suite à un décret de situation d'urgence. Ces mécanismes de financement essentiellement *a posteriori* ne favorisent pas le financement de la prévention contre les impacts. Le « Cadre de prévention des principaux risques naturels » adopté par le gouvernement du Québec en 2006 (Gouvernement du Québec, 2013) et le nouveau « Cadre pour la prévention de sinistres » (96,4 millions pour 2013-2020; Gouvernement du Québec, 2013) adopté en 2013 permet également de financer différentes mesures pour s'adapter aux principaux sinistres tant en prévention qu'en réaction, dont les risques d'érosion et de submersion côtière. Ce cadre permettra en partie de mettre en action la nouvelle « Politique québécoise de sécurité civile 2014-2024 » annoncée en 2014 (Gouvernement du Québec, 2014). Un soutien est également apporté aux MRC et municipalités locales pour l'identification des solutions appropriées afin de protéger les biens et les infrastructures essentiels (études coûts-avantages notamment). Il existe aussi d'autres fonds consentis pour l'adaptation provenant du plan d'action sur les changements climatiques (PACC 2013-2020). Il pourrait être pertinent d'évaluer la faisabilité d'un fonds collectif pour faire face de manière anticipée non seulement à l'augmentation des risques naturels, mais aussi aux changements graduels causés par les changements climatiques.

À retenir :

Stratégie 6. Se doter d'un fonds collectif pour faire face aux impacts des changements climatiques : à la fois les impacts des événements extrêmes et ceux des changements graduels des milieux abiotiques devraient y être considérés.

3.5. Législation et réglementation en matière de gestion des zones côtières à l'échelon local

À l'échelle des responsabilités locales cette fois, le modèle de l'Angleterre s'est démarqué par une volonté nationale de soutenir les efforts locaux en matière de gestion intégrée des zones côtières, ce qui touche évidemment les infrastructures de transport. En effet, le ministère de l'environnement, de la nourriture et des affaires rurales (DEFRA) a réglementé le rôle de certaines structures ou outils de collaboration locale :

- « **Coastal groups** » : depuis 2008, divisés en 7 régions d'Angleterre, ils regroupent les autorités locales clés en matière de gestion de la côte et reçoivent du financement du gouvernement central (SCOPAC, 2013);
- « **Regional Flood defence Committees** » : organes de l'Agence de l'environnement, ces comités jouent un important rôle dans la gestion locale des risques d'inondations et côtiers, donnant des avis et approuvant des programmes de travail (UK Environment Agency, 2013a);
- « **Shoreline Management plans** » (SMP) : « une évaluation à haute résolution [échelle locale] des risques associés aux processus côtiers aidant à réduire les risques aux personnes, et aux sites développés, historiques, ou naturels [traduction libre] ». Une première vague de ces plans a été réalisée dans les années 1990 alors qu'une deuxième vague est présentement en cours, comprenant des solutions locales et les travaux requis en matière de protection côtière pour les horizons 0-20 ans, 20-50 ans et 50-100 ans (UK Environment Agency, 2013b).

L'officialisation de ces structures et outils est une mesure qui soutient l'adaptation en permettant de donner un cadre légal à la gestion locale de la vulnérabilité côtière. Le Québec, avec l'annonce du cadre de prévention des sinistres et la création des comités de concertation régionale visant à faire des plans de gestion régionale et intégrés, s'est engagé dans la bonne voie, mais leur mise en œuvre se fait attendre. De même, la reconnaissance, l'autorité et l'acceptabilité sociale dont jouiront ces structures et outils restent incertaines. Au RU, chaque SMP a fait l'objet d'une consultation exhaustive préalable avec plusieurs étapes de rétroaction, afin d'augmenter l'appropriation sociale du plan par les populations locales (IUK02). L'exemple de celui de North Norfolk est à citer en exemple.

À retenir :

Stratégie 7. Légiférer les rôles des groupes locaux interdisciplinaires et des outils de gestion (plans et leur élaboration) pour gérer la zone côtière.

3.6. Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, de nombreuses stratégies à l'échelon national ont été répertoriées. L'analyse terminologique des stratégies nationales de chaque pays a montré que le grand domaine de l'adaptation des transports s'articule autour de deux thèmes principaux : la réduction des gaz à effet de serre et les habitudes de mobilité des populations. Les impacts des changements climatiques sur les systèmes de transports et la nécessité de s'adapter à ces impacts sont quasiment absents de ces documents officiels.

Les résultats montrent aussi qu'un objectif de réduction de la vulnérabilité à l'échelon national implique trois grands domaines d'action stratégique : l'évaluation de l'impact des aléas, la sélection et la mise en œuvre des solutions, et la manière de gérer la vulnérabilité.

Finalement, d'autres leviers généraux de réduction de la vulnérabilité sont les suivants : 1) la gouvernance, notamment l'organisation des compétences étatiques en matière d'environnement et de transports, qui doit être intégrée ou collaborative, 2) la législation nationale, notamment en matière de risques naturels (niveau de risque acceptable et fonds d'urgence collectif) et 3) la législation en matière de responsabilités à l'échelon local, en particulier en matière de gestion des zones côtières.

4. STRATÉGIES LOCALES ET RÉGIONALES D'ADAPTATION RELATIVES À LA GESTION DES RISQUES

La gestion du réseau routier et celle de la zone côtière se matérialisent à des échelles fines, sous des responsabilités ou contextes régionaux ou locaux. Une portion de la collecte de données visait à identifier des stratégies de réduction de la vulnérabilité et d'adaptation à l'échelle régionale ou locale. Afin d'organiser l'ensemble des points à retenir, nous avons choisi de les présenter selon chacune des étapes de la boucle de gestion dans un contexte de risques naturels (figure 12) :

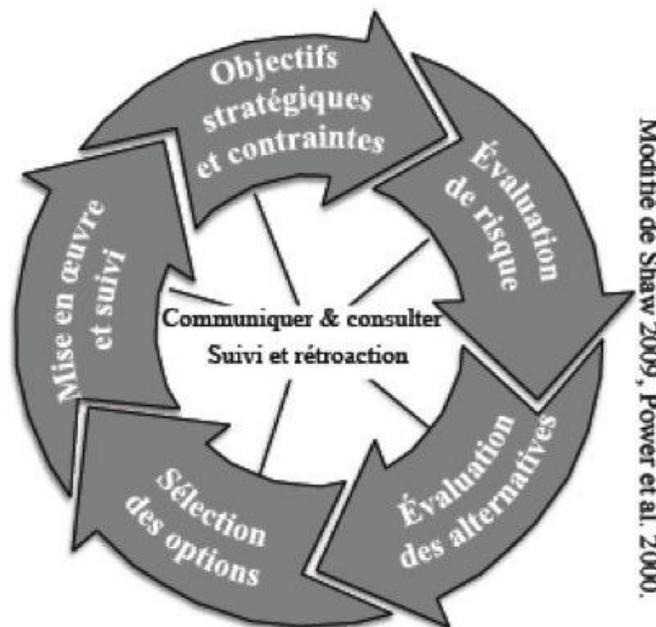


Figure 12 Étapes classique du cycle de gestion de risque
Source : modifié de Shaw, 2009, Power *et al.*, 2000.

4.1. Intention derrière la gestion du réseau routier et des risques côtiers

L'état de l'art sur la gestion de la vulnérabilité des réseaux essentiels s'appuie sur une vision systémique multidisciplinaire du réseau routier (p. ex. Robert et Morabito, 2011), c'est-à-dire que la route est abordée comme une infrastructure rendant un service essentiel à la société, en interaction avec d'autres réseaux essentiels, et l'intégrité de l'infrastructure et les conséquences potentielles des ruptures de service sur la société est l'enjeu principal de l'analyse de vulnérabilité. Ceci implique à la fois la connaissance de l'infrastructure, mais aussi un travail collaboratif avec les autres dimensions sociétales touchées par les ruptures de service à court (p. ex. sécurité civile),

moyen (p. ex. environnement et risques naturels) et long terme (p. ex. occupation du territoire).

De plus, dans le contexte de changements climatiques, une gestion dite adaptative est nécessaire, c'est-à-dire que la surveillance (*monitorage*) de l'état de l'environnement et l'évaluation en continu (itérative) de la performance des stratégies s'avèrent deux outils clés pour une gestion efficiente.

À ce chapitre, un projet de recherche britannique s'est démarqué par sa vision globale du réseau routier (RR). Le projet FUTURENET (IUK04) visait à évaluer la résilience de la demande de transports de passagers face aux risques naturels. Combiné à des modèles de demandes et de météorologie, sa particularité est de combiner deux paramètres : 1) les conditions limites du service (*serviceability*) et 2) la limite ultime de l'infrastructure (*ultimate limit state*, intégrité de l'infrastructure). Ainsi, l'état de la demande de réseau est évalué en fonction des délais de voyage dus à l'occurrence d'événements extrêmes (équivalents à un épisode de submersion), mais aussi fonction d'impacts majeurs tels que le blocage complet ou définitif du réseau (équivalent à l'érosion côtière). Une autre particularité du projet est d'avoir été endossé par les acteurs de la gestion des transports. Enfin, bien que le cœur des résultats concerne le réseau ferroviaire, il y a tout lieu de croire au potentiel d'une telle méthode pour le réseau routier. Voir aussi l'annexe D.

Un deuxième aspect qui a retenu notre attention est celui de l'inter-connectivité des réseaux essentiels, efficacement évaluée par Robert et Morabito (2011). Non seulement la rupture d'un réseau est-elle évaluée, mais les conséquences par « effet domino » sur d'autres réseaux essentiels y sont explicitement considérées. L'évaluation est réalisée sur la base du temps écoulé entre la rupture et l'enchaînement des impacts. En matière de vulnérabilité du RR, soit aux événements extrêmes (surcotes de tempête) ou même à plus longue échelle de vulnérabilité du RR à l'érosion chronique, cette démarche semble avoir un grand potentiel.

Outre la question de l'inter-connectivité des différents réseaux, la prise en compte du rôle de connexion des routes est essentielle dans une optique de gestion. Plusieurs documents soulignent la vulnérabilité à l'isolement des communautés le long des routes côtières (Fisher, 2011 ; AMEC Environment & Infrastructure, 2012), notamment dans les provinces Maritimes du Canada (*voir plus haut* et l'annexe F).

Enfin, étant donné que l'intention derrière la gestion de la vulnérabilité du RR dans l'Est du Québec mérite d'être clarifiée étant donné l'état de l'art, sur les impacts de la rupture du réseau, l'inter-connectivité des réseaux et l'exposition à l'isolement des communautés, l'intégrité des services rendus par le RR devraient constituer les fondements d'une gestion durable du RR en contexte de CC, plutôt que la seule intégrité de l'infrastructure physique.

Stratégie 8 Clarifier l'intention derrière la gestion de la vulnérabilité du RR dans l'Est du Québec : aller au-delà de la gestion de l'infrastructure par segments, en adoptant une approche systémique, multidisciplinaire et adaptative de gestion du réseau routier dans l'Est du Québec, fondée sur la gestion de l'intégrité des services rendus par l'infrastructure en tant que réseau, 1) en collaboration avec les diverses parties prenantes, 2) en considérant plusieurs échelles spatio-temporelles d'impacts potentiels, et 3) en intégrant continuellement *i* -l'état de l'environnement (information actualisées) et *ii* – des mises à jour continues de la réglementation pour assurer le maintien à long terme des services rendus par le réseau.

4.2. État de la situation et évaluation des risques naturels

L'état de la situation se divise en trois sections : un bref portrait de la situation dans les sites d'intérêt visités en Europe, les stratégies relatives aux études d'aléas et de risques naturels, et celles relatives à l'intégration des changements climatiques.

4.2.1. État de la situation dans les sites d'intérêt

Puisque la plupart des stratégies sont ancrées dans des contextes particuliers, avant de parler de stratégies, il est nécessaire de décrire l'état de la situation des régions visitées. Ainsi, le tableau 9 et le tableau 10 résument les différents types de côtes et d'aléas rencontrés pour chaque site d'intérêt visité.

Du point de vue des types de côte, il est à retenir qu'aucune région ne présente tous les types de côtes rencontrés dans l'Est du Québec et que c'est au Pays-Bas que la diversité est la plus faible. Néanmoins, l'ensemble de l'échantillonnage a permis de couvrir tous les types de côte à risque du Québec. L'étude bibliographique pour les provinces maritimes du Canada et le nord-est des États-Unis concerne également des côtes et des aléas semblables à ceux du Québec. Au plan des aléas identifiés, le Nord de la France était le site affecté par le plus grand nombre d'aléas, alors que le Sud de la France faisait face à des hauts taux d'érosion atteignant ceux du Québec.

Comparativement aux sites visités, la complexité du milieu physique québécois ajoute une difficulté à la gestion de la zone côtière, notamment de son volet risques naturels.

Tableau 9 Synthèse des types de côtes selon les sites visités

Site/ Type de côte	Côtes basses					Côtes hautes		
	Côte basse sableuse et terrasse de plage	Dune	Marais maritime/ estuaire	Flèche littorale	Côte basse rocheuse	Basse falaise	Moyenne falaise	Haute falaise
FR: L-R	✓(s)	✓	✓					✓(rr)
FR: P-N	✓(s, ga)	✓	✓	✓(ga)				✓(rs)
RU: NN	✓					✓	✓	✓
RU: ECO	✓		✓		✓	✓	✓	✓
RU: DEV	✓		✓	✓		✓	✓	✓
PB: CC		✓	✓					

Sites : FR: L-R: France, Languedoc-Rousillon, FR: P-N: France: Picardie-Normandie, RU: NN, Royaume-Uni, North Norfolk, RU: ECO: Royaume-Uni, Écosse SW, RU: DEV: Royaume-Uni, Devon, PB: CC: Pays-Bas, Côte centrale et septentrionale.
Types de sédiments : S: sable, Ga: galets, Rr: roche résistante (ignée, métamorphique), Rs: roche sédimentaire

Tableau 10 Synthèse des aléas identifiés dans les sites visités

Site	Submersion côtère	Érosion côtière [m/an]	Migration dunaire/ accrétion [m/an]	Glissement de terrain	Chute de blocs	Inondation fluviale	Érosion fluviale	Autres	Événements notables
FR: L-R	✓	✓ 0-6 ¹	□			✓		Tsunami séisme	Surcotes 1997, 2003
FR: P-N	✓	✓ 0,2 ²	✓	✓	✓	✓			Surcote 1953 Inondations 1990
RU: NN		✓ 0,3 ³ 1-8 ⁴		✓					

Site	Submersion côtière	Érosion côtière [m/an]	Migration dunaire/ accrétion [m/an]	Glissement de terrain	Chute de blocs	Inondation fluviale	Érosion fluviale	Autres	Événements notables
RU: ECO	✓	low to « definitely eroding » ⁵ , 0-4 ⁶		✓	✓				
RU: DEV	✓	✓ 0,15-2,0 ⁷		✓	✓	✓			
PB: CC	✓	✓ <1996 : environ 0,78 ⁸				✓			Surcote 1953 (mortelle)

Sites : FR: L-R: France, Languedoc-Rousillon, FR: P-N: France: Picardie-Normandie, RU: NN, Royaume-Uni, North Norfolk, RU: ECO: Royaume-Uni, Écosse SW, RU: DEV: Royaume-Uni, Devon, PB: CC: Pays-Bas, Côte centrale et nordique.

Sources : 1. SOGREAH (2011) 2. Costa *et al.*, 2004 Pour les falaises de craies de Picardie. 3. Thomalla and Vincent (2003) Pour les falaises meubles entre Sea Palling et Happisburgh. 4. BGS (2012) Falaises meubles de Happisburgh : -1m/an entre 1600-1850 et >8m/an entre 1992 et 2004. 5. GUARD et CRS (2003) Pour la majorité du trait de côte de Portencross, Irvine, Troon (Ayrshire), [Maps 7-12, p. 99-151/234] 6. Transport Scotland (2011) Pour l'ensemble des zones en érosion de l'Écosse. 7. Gallois (2011) Synthèse de auteurs : Pour les falaises sédimentaires dans l'Est du Devon : 0,15 m/an à 2 m/an; augmentation depuis 1-2 décennies. ⁸ de Ruig (1998) Taux à Egmond aan Zee avant la politique de stabilisation du trait de côte, estimé d'après la fig. 1 de l'article.

4.2.2. Études d'aléas et de risque

Les études d'aléas et de risque constituent la pierre angulaire de la gestion des risques. Au plan de la submersion, le contenu de ces études ne varie pas significativement d'un pays à l'autre. En effet, en 2007, les états membres de l'Union Européenne se sont dotés de la Directive 2007/60/CE, « relative à l'évaluation et la gestion des risques d'inondation », y compris par la mer (Europa.eu, 2007). Cette directive est orchestrée en 3 piliers : l'évaluation préliminaire, la production de cartes du risque d'inondation et la production de plans de gestion des risques d'inondation. Basées sur les unités de bassins versants, les cartes de risque comprennent la quantification des aléas (faible/moyen/fort) et les dommages potentiels en termes de population, de biens et d'environnement. Chaque pilier préconisé par la Directive doit être réévalué à tous les 6 ans. En France, la méthodologie est basée sur la cartographie de trois périodes de retour : les événements fréquents (10-30 ans), moyens (100-300 ans) et extrêmes (~1000 ans) (Bureau des risques météorologique - MEDDE, 2012).

Du côté de l'érosion côtière, les méthodologies et produits finaux sont plus fractionnés en raison de l'absence d'une directive européenne à ce sujet, mais le suivi et l'évolution de la ligne de rivage, la projection des taux d'érosion et les bilans sédimentaires pour certains tronçons d'intérêt, constituent une base répandue (p. ex. SOGREAH, 2011).

Deux approches ont aussi retenu l'attention. D'abord, au Royaume-Uni, soutenue par la Loi sur les Changements climatiques datant de 2008, l'obligation légale d'évaluer à l'échelle locale les aléas et de les intégrer dans les plans d'aménagement du territoire, à tous les 5 ans. Dans ce cadre, la première évaluation des risques associés aux changements climatiques a été publiée en 2012 (Gouvernement Britannique, 2012). Ensuite, malgré l'absence d'obligation européenne, l'Angleterre a conjointement traité des aléas de submersion et d'érosion, tel que déclaré dans sa politique d'évaluation de la gestion des risques d'inondation et d'érosion (DEFRA, 2009). Dans cette optique, ils ont officiellement sélectionné un mode de gestion de ces risques qui s'accorde avec les processus naturels (Environment Agency, 2012).

Au Nouveau-Brunswick, la Politique de protection des zones côtières (ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick, 2002) a notamment l'objectif de limiter les risques pour les humains provenant des ondes de tempête et des inondations, de protéger l'arrière-pays des ondes de tempête et de limiter les dépenses publiques nécessaires à la réparation des dommages causés aux biens publics, tels que les routes et les ponts. Ainsi elle prévoit un zonage de protection de 30 m, mais il est à noter que la politique n'a jamais été mise en œuvre.

Aux États-Unis, les *Local Emergency Planning Committees* sont des documents règlementaires qui identifient les dangers potentiels et les caractérisent, identifient les ressources disponibles, font des propositions pour atténuer les risques et possèdent des plans d'urgence à l'échelle d'une municipalité ou d'un comté.

En France, les *Plan de Prévention des Risques Littoraux* (PPRL) ont pour objectif de maîtriser l'urbanisation dans les zones à risques et y réduire la vulnérabilité des populations et des biens existants. L'étude des risques naturels est de compétence nationale et est confiée à la direction régionale des services de l'État en charge de l'environnement et de l'aménagement du territoire (DREAL). Des guides décrivent la méthodologie pour la mise en place de PPRL (MATE/METL, 1997). Par ailleurs, Transport Scotland (Winters *et al.*, 2008) a produit une étude intéressante et complète sur l'évaluation et la gestion de l'aléa spécifique des glissements de terrain pour son réseau de transport. Du point de vue méthodologique, l'étude est très complète et aborde autant les événements historiques et leur gestion, la quantification, classification et gestion des risques en utilisant les SIG pour une cinquantaine de sites prioritaires, la prévision des risques en considérant les paramètres climatiques et leurs projections futures et des recommandations. Les solutions utilisées sont présentées à la section suivante.

Différentes études dans les provinces maritimes ont également documenté la vulnérabilité des infrastructures routières aux aléas côtiers et proposé des méthodologies adaptées pour la caractériser, en utilisant notamment des indices (De Romilly *et al.*, 2005 ; Catto *et al.*, 2006 ; Spooner, 2009 ; Robichaud *et al.*, 2011 ; Aubé et Kocyla, 2012 ; NSTIR, 2012, voir le détail dans l'annexe F). Une étude souligne en particulier l'importance de la prise en compte du rôle de connexion des routes et l'exposition à l'isolement des communautés le long des routes côtières non connectées; un indice d'isolement est proposé (AMEC Environment & Infrastructure, 2012). Plusieurs de ces études ont été financées par le programme ACAS (*Atlantic Climate Adaptation Solutions*), conjoint aux quatre provinces maritimes et au gouvernement fédéral canadien, qui a pour objectif la planification de l'adaptation aux changements climatiques et la prise de décisions, en particulier au niveau municipal, par le biais de différents projets d'évaluation de la vulnérabilité des zones côtières et intérieures aux impacts climatiques (<http://atlanticadaptation.ca/acasa/>).

À retenir :

Stratégie 9. Reconnaissance légale : À l'instar de la directive européenne sur les inondations, de la loi sur les changements climatiques au Royaume-Uni de la Politique de protection des zones côtières du Nouveau-Brunswick, reconnaître la nécessité d'évaluer et de gérer l'évolution constante des risques naturels côtiers pour un aménagement durable du territoire.

Stratégie 10. Méthodologie commune : À l'instar du modèle français, adopter une méthodologie commune d'évaluation et de cartographie des risques de submersion et d'érosion côtière. L'utilisation d'indices de vulnérabilité des infrastructures routières exposées aux inondations proposée dans des études pourrait être adoptée par les gestionnaires, tout comme la prise en compte du niveau de connectivité des routes.

Stratégie 11. Responsabilité de connaissance publique : Formaliser la responsabilité d'acquisition et de mise à jour des connaissances par les autorités (ministères et organismes ? MRC ? Municipalités ?).

4.2.3. Intégration des changements climatiques

L'intégration des tendances climatiques dans les évaluations d'aléas et de risque constitue une nécessité pour s'adapter aux changements climatiques. D'un point de vue général, l'analyse de vulnérabilité du réseau de transport proposée par la DGTIM française (direction responsable des transports au sein du ministère) comporte une mesure intéressante qui vise à faire le relevé détaillé des paramètres de construction, calibration ou entretien des infrastructures de transport qui pourraient être affectées par les tendances climatiques (variables hydroclimatiques ou météo-marines) (IFR04).

Un guide conçu pour sensibiliser les municipalités aux changements climatiques dans le cadre de la gestion de leurs infrastructures à Terre-Neuve-et-Labrador rappelle l'impact de certaines modifications climatiques attendues, comme les périodes de chaleur extrême, l'augmentation des cycles de gel-dégel ou l'élévation du niveau de la mer, sur les infrastructures, notamment routières (CBCL, n.d.). Le coût pour maintenir les infrastructures, les remplacer ou les déplacer pourrait augmenter de 10% à 20 % en 2030. Un guide à destination des municipalités et promouvant l'intégration des changements climatiques aux processus décisionnels existe également à l'échelle canadienne (Richardson, 2010) et québécoise (Ouranos, 2010).

En Nouvelle-Écosse, les routes nouvellement construites sont conçues pour tenir compte des changements climatiques anticipés : respect des codes de construction nationaux et des critères écologiques de construction de conception, ponceau dimensionné pour des tempêtes centennales (NSTIR, 2012). Au Nouveau-Brunswick, les devis pour la conception des différentes infrastructures routières sont en cours de modification pour tenir compte en particulier des augmentations à prévoir des débits de crue, des ondes de tempête, de l'élévation du niveau des mers et de l'affaissement du sol (ministère des Transports du Nouveau-Brunswick, 2010). Dans les zones potentiellement vulnérables aux conséquences des changements climatiques comme les zones côtières, le ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick doit être consulté.

D'un point de vue spécifique à chaque aléa côtier, les approches sont différentes en matière de submersion et d'érosion côtière et voici les principales avenues à retenir :

- **Submersion :**

- L'impact exercé par l'élévation du niveau marin est avant tout vertical, ainsi, il s'agit de créer un **espace d'accommodement vertical**; les Néerlandais procèdent déjà à un ajustement vertical de chaque tronçon de digue côtière lors de la routine d'entretien prévue aux 6 ans (INL01, INL05, INL06);
 - la calibration de la **résistance des structures** pourrait aussi être augmentée pour faire face à l'augmentation d'intensité des événements extrêmes.
 - Avec la hausse du niveau marin, les systèmes côtiers tendent à migrer en altitude et latéralement, d'où l'importance de maintenir un **espace tampon ou de liberté suffisant** entre les infrastructures et la ligne de rivage pour éviter le phénomène de « coastal squeeze » et assurer la résilience des écosystèmes côtiers et le maintien des processus naturels (Doody, 2004).
- **Érosion côtière :** L'impact des changements climatiques sur l'érosion côtière n'apparaît pas direct et uniforme sur l'ensemble du littoral, car les caractéristiques intrinsèques des types de côtes, des conditions météorologiques et des protections côtières de toute l'unité homogène côtière influencent l'aléa d'érosion. En conséquence, une approche adaptée doit être

appliquée pour intégrer les tendances climatiques dans la mesure et la projection de l'aléa. Dans l'ensemble, trois éléments peuvent être retenus :

- l'approche doit être itérative, c'est-à-dire que la meilleure intégration des changements climatiques consiste à se doter de données à jour sur les attributs de la côte, en faisant l'acquisition de données à répétition fréquente ou en continu de la position de la ligne de rivage et du trait côte, de leur état ainsi que du bilan sédimentaire afin d'ajuster les stratégies choisies. Le cadre spatial devrait être l'unité et les cellules hydrosédimentaires; à l'instar de la directive d'inondation française, il apparaît nécessaire de faire **la mise à jour du trait de côte aux 6 ans, voire plus fréquemment vu les taux d'érosion globalement supérieurs au Québec** (Bureau des risques météorologiques - MEDDE, 2012);
- l'effet de l'érosion se manifeste par un recul latéral (horizontal), un **espace d'accommodement horizontal** pour permettre aux milieux naturellement dynamiques de s'ajuster aux événements de tempête apparaît une stratégie prometteuse.
- L'érosion côtière s'effectue aussi de manière verticale, notamment par l'abaissement du profil de plage ou de l'estran, ce qui favorise le phénomène de submersion. La mise en place d'une solution pour atténuer l'érosion peut exacerber le risque de submersion. Il existe donc une interrelation entre les aléas, de sorte que l'évaluation des risques aléas côtiers devrait se faire selon une **approche multi-aléas**.

À retenir :

Stratégie 12. Recensement de paramètres : À l'instar du modèle français, effectuer un recensement de tous les paramètres de calibration des ouvrages de protection qui peuvent être affectés par les tendances des changements climatiques.

Stratégie 13. Accommodation verticale contre la submersion : À l'instar du modèle néerlandais, procéder à un ajustement vertical lors de l'entretien de routine des structures de protection contre la submersion pour prendre en compte l'élévation du niveau de la mer et le franchissement des vagues lors du déferlement.

Stratégie 14. Accommodation horizontale contre l'érosion et la hausse du niveau marin : Pour éviter le « *coastal squeeze* », conserver un espace tampon entre les infrastructures et la ligne de rivage dans une optique d'accentuation des aléas et de la migration latérale des écosystèmes côtiers en raison des changements climatiques.

Stratégie 15. Intégration en continu des nouvelles tendances : Procéder à la mise à jour de la ligne de rivage et du trait de côte ainsi que du bilan sédimentaire aux 6 ans, voire plus fréquemment vu les taux d'érosion globalement supérieurs au Québec.

4.3. Solutions pour réduire la vulnérabilité

D'après l'inventaire des alternatives proposées à l'étranger, les solutions pour faire face aux risques côtiers se déclinent selon le degré d'adaptation du réseau routier aux aléas et aux changements environnementaux. Il y a absence d'adaptation lorsque l'objectif est le maintien intégral du réseau et du service de transport et ce, sans aucune modification des infrastructures, alors que l'adaptation maximale consiste à modifier l'activité humaine plutôt que le milieu. D'un autre point de vue, en s'inspirant d'un rapport écossais sur les glissements de terrain et le réseau routier (Winter *et al.*, 2008), d'un rapport sur l'adaptation aux changements climatiques du ministère des Transports de Nouvelle-Écosse (NSTIR, 2012) et du réseau de recherche néerlandais sur les changements climatiques (Knowledge for Climate, comm. pers.), trois groupes de solutions peuvent être distingués selon les stratégies de réduction de la vulnérabilité :

- **la réduction de l'aléa**, qui implique des méthodes d'ingénierie protégeant la route, réduisant l'opportunité d'occurrence des aléas,
- **la réduction de l'exposition des infrastructures (ou adaptation des infrastructures)**, qui implique le déplacement de la route;
- **la réduction de l'exposition des personnes aux aléas (ou adaptation de la circulation)**, qui implique la sensibilisation des citoyens, des systèmes d'avertissement, de la signalisation (préventive et en temps réel) et la fermeture de routes (exemple : des barrières automatiques).

Les différentes mesures de réduction de la vulnérabilité sont ainsi synthétisées au tableau 11, selon le degré d'adaptation et les stratégies de gestion. Les différentes solutions sont analysées en fonction de ce tableau et des types de côte.

Tableau 11 Solutions touchant le réseau routier, selon le degré d'adaptation, le degré de modification du service et la stratégie de réduction de la vulnérabilité

Degré d'adaptation	Stratégie de réduction de la vulnérabilité	Mesures de réduction de la vulnérabilité
<u>Absence d'adaptation</u> : Aucune modification de service	Gestion de l'infrastructure pour réduire les aléas	1. Maintien du service tel quel Renforcement des protections côtières (structurelles, non structurelles) Autres mesures pour maintenir le service
	Gestion de l'infrastructure et de la circulation pour réduire l'exposition des personnes	2. Acceptation d'une baisse de service temporaire Signalisation d'aléas temporaire Dispositif de blocage temporaire de la route (barrières)
		3. Acceptation d'une baisse de service permanente Retranchement d'une voie Mesures pour encourager l'intermodalité et le transport collectif (ajout de piste cyclable et arrêts de bus)
		4. Acceptation d'une perte d'infrastructure Blocage permanent par des clôtures ou blocs de béton Abandon ou démantèlement des infrastructures
	<u>Plus haut degré d'adaptation</u> : Acceptation d'une modification de service	Gestion de l'infrastructure et de la circulation pour réduire l'exposition des infrastructures et des personnes
6. Acceptation d'une perte nette de réseau et de service de transport Intégration de la relocalisation des transports dans un projet plus large de relocalisation des populations Anticipation : statut de conservation du milieu, démantèlement et retour aux processus naturels		
Acceptation passive et hasardeuse d'une perte de service	Absence de gestion et de prise en charge des conséquences (<i>statu quo</i>)	7. Laisser-aller : perte nette de réseau, sans mesure de gestion Risque pour la santé et sécurité (enclavement, isolement de populations riveraines, perte d'accès) Dégradation des services écosystémiques Dégradation du paysage et du potentiel récréotouristique

4.3.1. *Maintien du service*

Cette stratégie correspond à viser la réduction de l'aléa. C'est le cas avec la plupart des mesures côtières et d'autres mesures visant les mouvements de terrain.

4.3.1.1. *Protections côtières*

Selon une définition de gestion durable « forte » (Dietz et Neumayer, 2007), les milieux naturels devraient être gérés en favorisant la pérennité des services écosystémiques. Dans le domaine de la zone côtière, cette approche de gestion dite « basée sur les processus naturels » est une approche recommandée dans le milieu scientifique et surtout rencontrée au Royaume-Uni (Environment Agency, 2010, 2012). Elle implique que les solutions côtières sont non structurelles, c'est-à-dire qu'elles ne modifient pas et laissent libre cours aux processus naturels, voire les renforcent. Les solutions qui, à l'opposé, cristallisent et réduisent significativement les échanges sédimentaires sont dites structurelles. Elles correspondent généralement à des ouvrages lourds de défenses côtières (Dawson et al., 2011). Le tableau 12 présente ainsi les solutions structurelles et non structurelles inventoriées, selon leur position sur le profil de côte. Les principales mesures sont illustrées ci-dessous. Pour plus de détails, voir les annexes de chacun des pays cités.

Tableau 12 Protections côtières rencontrées sur le terrain pour le maintien du réseau routier

Mesures structurelles (ouvrages de défense côtière)	Mesures non structurelles
Zone pré littorale	
<ul style="list-style-type: none"> • Brise-lames émergés (idem jetée portuaire) (FR) • Barrières anti-submersion (RU, PB) 	<ul style="list-style-type: none"> • Brise-lames submergés (« boudins ») en géotextiles, calibrés pour les houles de tempête (FR)
Zone intertidale	
<ul style="list-style-type: none"> • Enrochement vertical, incliné, horizontal, avec/sans promenade ou aménagement urbain, en tétrapodes, cote supérieure à la route ou au quai, en pied de falaise (FR, RU) • Muret de béton vertical, incliné, déflecteur de vagues, en paliers, cote supérieure à la route (FR, RU) • Revêtements (matériaux de toutes sortes) • Épis (+recharge) (FR, RU) • Dignes/bétonnage de dunes bordières (PB) • Barrières massives anti-inondation et zone de stockage de l'eau (RU, PB) 	<ul style="list-style-type: none"> • Système de drainage de plage comme Écoplage® (sous la plage) (FR) • Presqu'île artificielle : recharge massive de la zone intertidale en amont d'une cellule hydrosédimentaire à l'aide d'une drague à sédiments (PB)
Côtes basses : Zone de dunes, de haute-plage ou d'arrière-plage	
<ul style="list-style-type: none"> • Gabions derrière un cordon (FR) 	<ul style="list-style-type: none"> • Recharges de sable ou galets, par voie maritime ou terrestre (FR, PB) • Ganivelles en treillis (FR), • Revégétalisation de dunes (FR)
Côtes à falaise	
<ul style="list-style-type: none"> • Mesures de protection rigides : revêtement incliné ou vertical sur le talus (FR), au sommet (p. ex. dallage de pierres) pour empêcher l'infiltration (FR), en béton (FR), roches (FR) • Revêtement horizontal au pied du talus 	<ul style="list-style-type: none"> • Revêtement « souple » en géotextile (FR)

Note : entre parenthèses sont indiqués les pays où ces solutions ont été observées sur le terrain (FR : France, RU : Royaume-Uni, PB : Pays-Bas).

a) Protections côtières structurelles

Les solutions structurelles offrent des solutions technologiques aux risques côtiers et s'inscrivent directement dans une stratégie de résistance côtière et de maintien de l'intégrité des infrastructures routières, sans compromis sur le service. Ces solutions protègent avantagement un segment spécifique de côte, mais elles ont le désavantage d'affecter la dynamique sédimentaire de toute l'unité côtière, en bloquant les sources sédimentaires, en modifiant le déferlement des vagues et le jet de rive et en déplaçant les problèmes d'érosion à des points plus en aval de la dérive littorale (Bernatchez et Fraser, 2012) et en favorisant pour les côtes basses sableuses le risque de submersion (Bernatchez et al., 2011a). Leur sélection doit donc être faite en

toute conscience, leur utilisation avec parcimonie et en assumant les impacts indirects immédiats et ultérieurs qu'elles peuvent créer. D'ailleurs, dans la littérature scientifique, le paradigme de la protection a changé au cours de la dernière décennie. En effet, la stratégie de résistance côtière à tout prix, comme on la retrouve encore au Pays-Bas de par leur grande exposition à la submersion et leur loi sur la gestion du risque acceptable (voir plus haut, section 3.4.1), a laissé place à des approches considérant la dynamique à long terme et sur toute une unité côtière et le respect des processus naturels. Les Britanniques ont explicitement adopté cette approche (Environment Agency 2010, 2012). Les solutions structurelles illustrées aux encadrés ci-dessous sont donc encore monnaie courante, mais plusieurs commencent à les questionner et constater leur déficience à soutenir une gestion durable de la zone côtière.

- **Brise-lames** (encadré 1) : utilisées en série, ces solutions ont pour effet de dissiper une partie de l'énergie des vagues avant qu'elles n'atteignent la côte, en plus de créer une opportunité d'activité économique dans le cas des bassins de pêche. Leur utilisation présente un intérêt technique, mais mérite une évaluation des impacts potentiels de leur déploiement sur le milieu ainsi qu'en milieu froid une évaluation de l'impact des processus glaciels sur la structure. Il faut aussi déterminer si les coûts d'entretien excèderaient les bénéfices.

Encadré 1 Solutions structurelles en zone pré littorale et intertidale



Brise-lames émergés en France et au Royaume-Uni

Stratégie 16 Évaluation technique des brise-lames : Évaluer les possibilités et limites techniques de l'implantation des brise-lames pour les estrans au Québec.

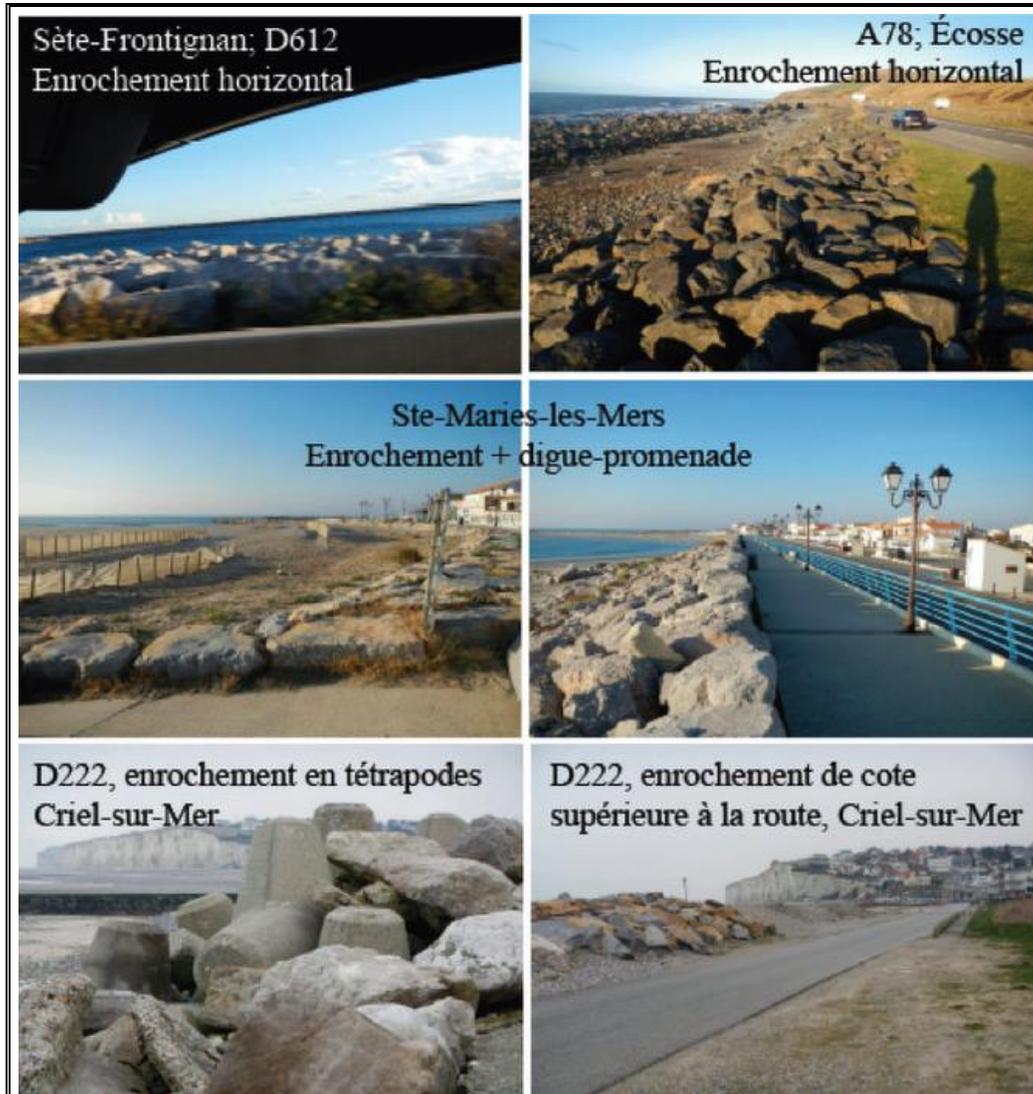
- **Enrochement, murets, revêtements, digues** (encadrés 2A, 2B, 2C, 2D) : Ces structures massives sont coûteuses à l'installation et ont des coûts d'entretien tout aussi élevés, en plus de modifier considérablement la dynamique de toute l'unité hydrosédimentaire concernée. Sur les côtes sableuses, elles ont souvent pour effets d'exacerber le déficit sédimentaire des plages. Leur utilisation doit être faite en concertation avec l'ensemble des

usagers d'une cellule côtière. Ces types d'ouvrage de protection constituent parfois la seule solution possible pour protéger la côte notamment en bordure de falaises affectées par des mouvements de terrain. De plus, ces ouvrages sont souvent la solution privilégiée en milieu urbanisé ou de bâti dense, ou lorsque l'espace entre le milieu bâti et la mer manque ou est très restreint.

- **Épis** (encadré 2E) : L'utilisation de courts épis demeure une solution préconisée par les Britanniques pour diminuer le transit sédimentaire et stabiliser les estrans le temps de prévoir une relocalisation des enjeux (North Norfolk District Council, 2012, voir l'encadré 16 plus bas). Cependant, des épis mal dimensionnés, mal positionnés ou mal conçus ont des impacts aussi importants que les enrochements, murets, revêtements et digues. C'est le cas à Cayeux-sur-Mer en Picardie, où l'introduction d'épis en amont a mené à un déficit sédimentaire important en aval. Ainsi, leur utilisation doit elle aussi être faite en concertation avec l'ensemble des usagers d'une cellule côtière et les conséquences sur la dynamique sédimentaire bien appréhendées.

Stratégie 17. Concertation pour les techniques structurelles. Évaluer l'utilisation des enrochements, murets, revêtements, digues et épis en concertation avec l'ensemble des usagers du secteur, en analysant les conséquences à l'échelle de la cellule hydrosédimentaire et après des analyses coûts-avantages comparant différents scénarios.

Encadré 2 Solutions structurelles en zone intertidale



A. Enrochements à divers sites en France et en Écosse

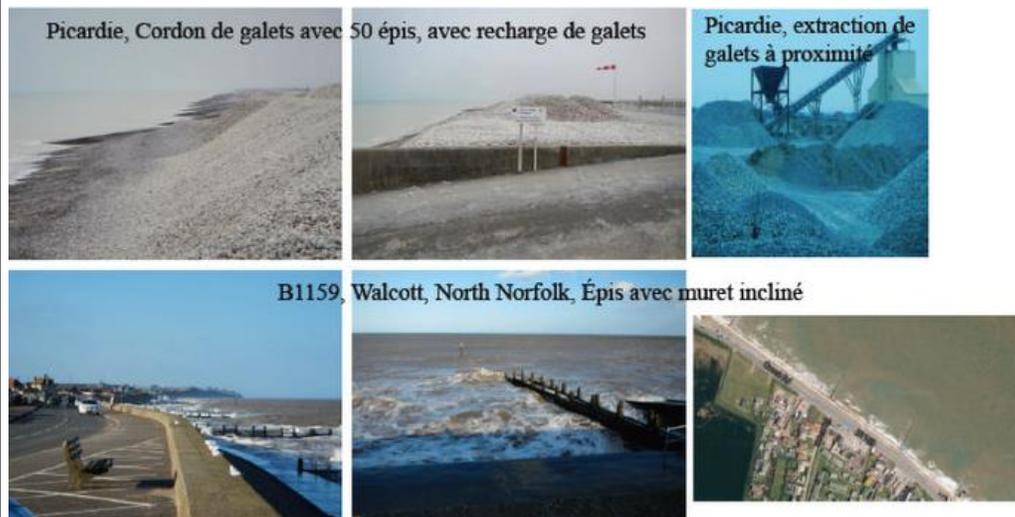


B. Dignes et enrochements aux Pays-Bas





D. Revêtements à divers sites aux Pays-Bas et en France, tant en côte basse que falaise



E. Épis en Picardie (entre Ault et Le Hourdel) et dans le North Norfolk

- **Gabions** (encadré 3) : Les gabions sont des séries de cages rectangulaires disposées parallèlement au trait de côte, formées de galets enserrés dans un maillage de broches. Tous les gabions observés lors de cette étude et dans le cadre d'autres visites de terrain en Irlande du Nord présentaient des dommages même s'ils étaient très récents. En ajoutant les effets du gel-dégel et des processus glaciels, cette solution n'apparaît pas présenter un potentiel technique intéressant et durable pour les côtes du Québec. De plus, lorsqu'ils sont fortement endommagés, les morceaux de broche sont dispersés sur la plage et peuvent constituer un risque pour les utilisateurs. Ils peuvent cependant constituer une solution très temporaire lorsqu'il y a rareté de matériel d'excavation approprié pour les enrochements ou épis. Il est à voir si les coûts de construction et d'entretiens en valent l'investissement. Un essai réalisé à Pointe-aux-Outardes sur la péninsule de Manicouagan sur la Côte-Nord à la fin des années 90 a été un échec total en plus d'introduire des graviers dans un milieu sablonneux.

Encadré 3 Solutions structurelles en zone de dunes, haute-plage, arrière-plage



- **Barrières anti-submersion et double usage de lieux désignés pour absorber les événements majeurs de submersion** (encadré 4 et encadré 5) : Deux mégasystèmes de barrières anti-inondation ont été installés pour protéger Rotterdam (Pays-Bas) et Londres (RU). À Rotterdam, la barrière est complètement automatisée et protège la ville, centre économique des Pays-Bas. À Rotterdam, au cas où il y a une inondation fluviale en même temps qu'une surcote de tempête (barrières fermées), des terrains urbains ont été identifiés pour détourner et stocker l'eau continentale, tels des stationnements et parcs de jeux d'enfants. Il est cependant à noter que les coûts pour la construction de ces barrières sont astronomiques : 647 M\$ (450 M€, fin 1990) pour Rotterdam et 1 G\$ (634 M£, depuis 1984) pour Londres.

Stratégie 18. Barrières estuariennes anti-submersion. À l'instar des cas des Pays-Bas et du Royaume-Uni, où les enjeux majeurs (moteurs économiques nationaux) justifient l'investissement, évaluer la possibilité d'utiliser des barrières estuariennes anti-submersion pour éviter l'envahissement par les eaux en cas de surcote de tempête dans certains secteurs clés.

Stratégie 19. Double usage de lieux désignés pour absorber les événements majeurs de submersion. À l'instar des réservoirs de stockage aux Pays-Bas, introduire un double usage de certains lieux désignés en identifiant des réservoirs naturels ou en évaluant la possibilité de créer des réservoirs de stockage (en milieu urbain ou naturel) dédiés à la canalisation des eaux de surcote de tempête pour éviter l'engorgement et le débordement aux abords des estuaires, là où les enjeux sont assez majeurs pour le justifier (route principale unique, institutions publiques vitales, cadre bâti très dense...).

Encadré 4 Barrières estuariennes anti-submersion et stockage de l'eau en milieu urbain aux Pays-Bas



A. « Maeslantkering » : Barrières près de Rotterdam aux Pays-Bas

Source : <http://www.seacityresearchnet.com/archives/category/existing-adaptations/movable-barrier>



B. Illustration de stationnement prévu à Rotterdam pour le stockage de l'eau pluviale en cas d'épisode simultané de surcote et d'inondation fluviale.

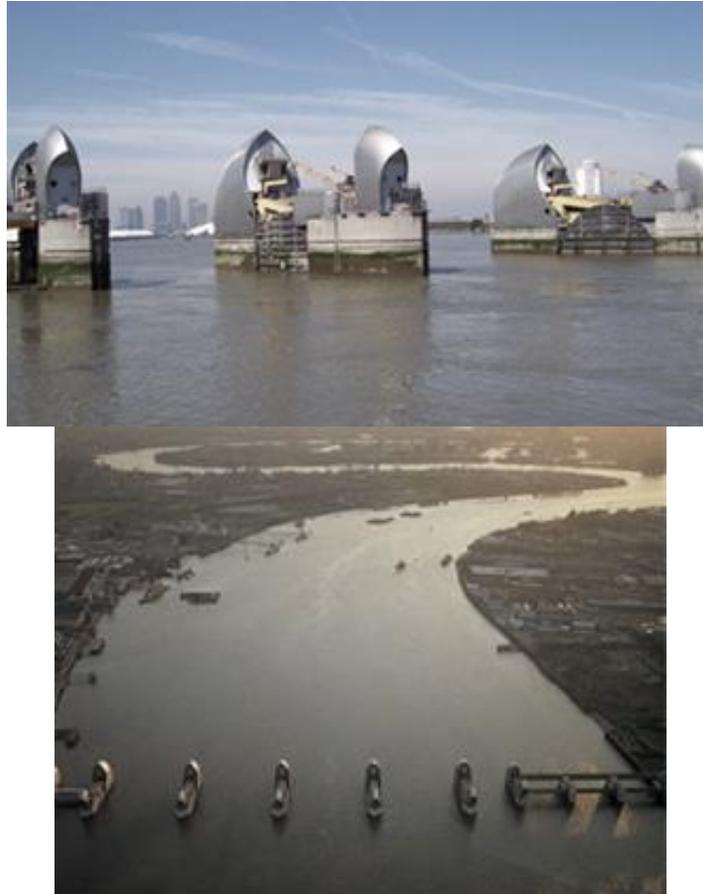
Source : <http://www.waterworld.com/articles/wwi/print/volume-25/issue-5/editorial-focus/rainwater-harvesting/rotterdam-the-water-city-of-the-future.html>



C. Illustration de terrains de jeu pour enfants avec la présence de ruisseaux qui peuvent servir de zones de stockage de l'eau en milieu urbain lors de précipitations abondantes ou d'inondations fluviales.

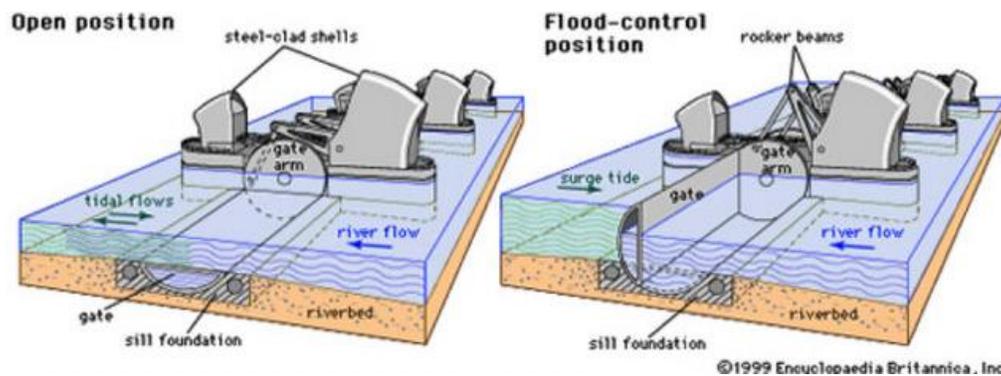
Source : <http://www.waterworld.com/articles/wwi/print/volume-25/issue-5/editorial-focus/rainwater-harvesting/rotterdam-the-water-city-of-the-future.html>

Encadré 5 Barrières estuariennes anti-submersion à Londres



A. Barrières massives sur la Tamise à Londres.

Source : <http://www.seacityresearchnet.com/archives/category/existing-adaptations/movable-barrier>



B. Fonctionnement de la barrière sur la Tamise

Source : <http://www.seacityresearchnet.com/archives/category/existing-adaptations/movable-barrier>

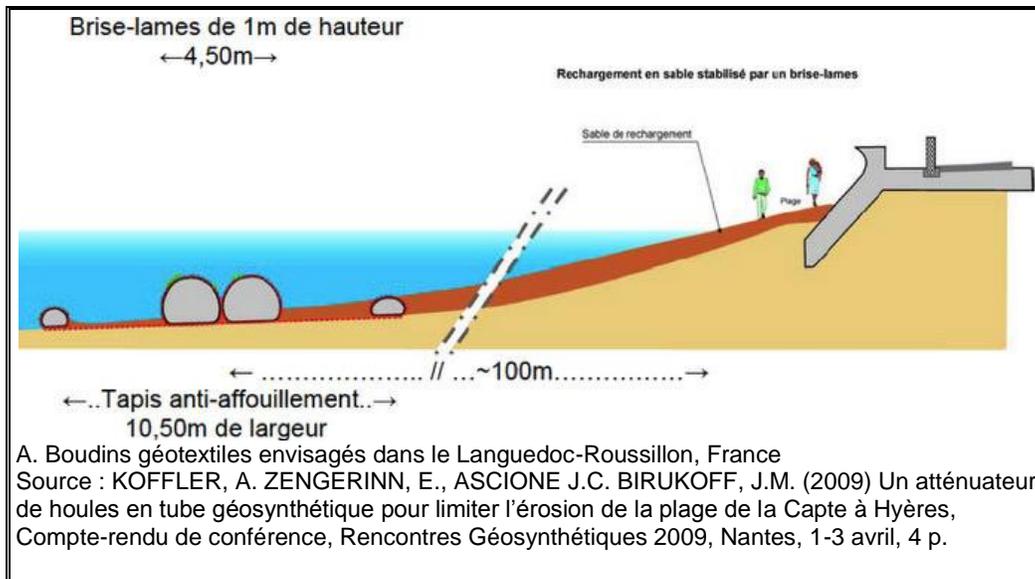
b) Protections côtières non structurales

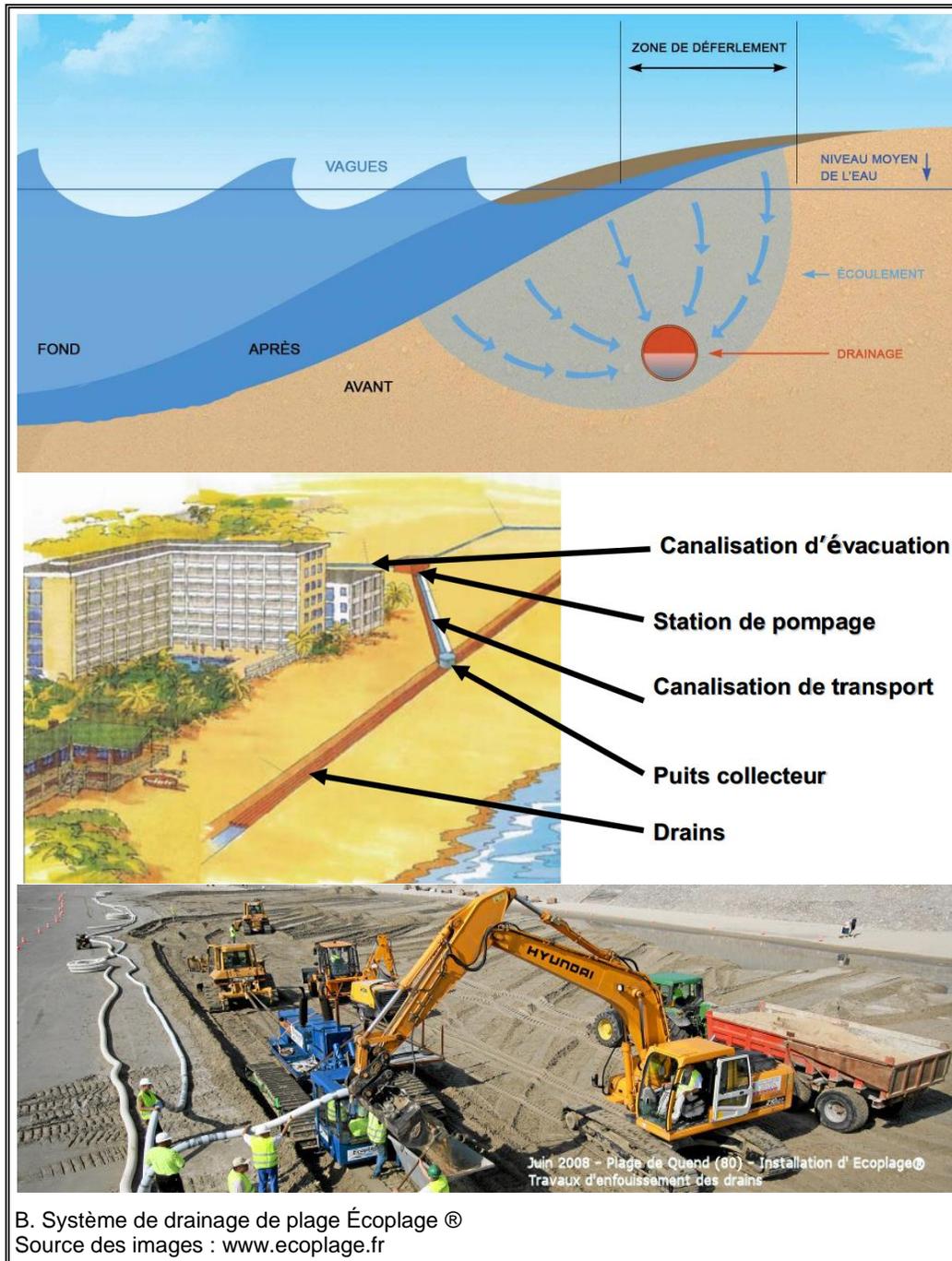
À l'inverse des solutions présentées ci-haut, les solutions non structurales renforcent la dynamique côtière naturelle et s'inscrivent dans un paradigme de gestion durable forte. Dans cet esprit, il serait souhaitable d'évaluer la faisabilité de toutes ces solutions dans un contexte québécois. Ces diverses solutions sont illustrées ci-dessous.

Stratégie 20. Évaluer la faisabilité des solutions non structurales dans un contexte québécois.

- **Boudins géotextiles** (encadré 6A) : Des plans sont projetés pour l'installation de boudins géotextiles dans la zone pré littorale au large du Lido de Sète-Marseillan (encadré 6). Il est à noter que la dynamique glacielle et le nivellement du profil de la zone pré littorale peuvent limiter l'utilisation des boudins. Par ailleurs, l'installation du tapis anti-affouillement modifie significativement l'interface eau-sédiments.
-
- **Système de drainage Écoplage®** (encadré 6B) : Le principe de drainage est basé sur la création d'une dépression hydro-statique sous le niveau de la plage dans la zone de déferlement, de manière à retenir le sable. La largeur d'estran nécessaire à l'installation de ce dispositif limite beaucoup les possibilités d'utilisation de cette méthode au Québec. De plus, les usagers rapportent que le système serait plus efficace contre des houles normales en milieu microtidal, comme la Méditerranée (IFR06).

Encadré 6 Exemples de solutions côtières non structurales





- **Extraction de sédiments et recharge de plage ou de systèmes côtiers en amont d'une cellule hydrosédimentaire** : Aux Pays-Bas, un îlot sableux a été artificiellement créé, à proximité de la côte, via le dépôt de sédiments locaux apportés par une drague à sédiments (« sand engine ») (Stive *et al.*, 2013) (encadré 7). Cet îlot mesure 2 km de long sur 1 km de large. L'objectif est d'alimenter une cellule hydrosédimentaire le long de

laquelle des habitations sont exposées au recul du trait de côte. Bien qu'il s'agisse d'une mesure non structurale, les conséquences écologiques sur les fonds marins et pour les ressources halieutiques au niveau du site d'extraction en mer peuvent être très importantes. Par ailleurs, l'appel au vide créé par l'extraction du matériel peut aussi perturber la dynamique sédimentaire, surtout s'il est effectué proche du rivage (voir annexe E, Pays-Bas, pour plus de détails). Ce type de recharge de plage effectué avec des navires munis de pompes à sédiments n'a pas encore été expérimenté au Québec bien que ce type de navire existe (Groupe Ocean, 2014). L'exemple de la recharge de galets sur la flèche du Hourdel en Picardie, couplée à une batterie d'épis, peut également être cité. L'extraction est cette fois-ci effectuée sur le continent dans la zone avoisinante. À noter que traditionnellement des prélèvements de galets étaient pratiqués sur la flèche de galets pour la construction jusqu'à son interdiction dans les années 1980.

Encadré 7 La drague à sédiments à Ter Heijde, Zuid-Holland aux Pays-Bas



A. Bateaux de dragage en pleine action de recharge

Sources : <http://www.dezandmotor.nl/en-GB/the-sand-motor/facts-and-figures/#/>



B. Îlot artificiel créé à Ter Heijde par la drague à sédiments

Source : <http://www.seacityresearchnet.com/archives/tag/sand-engine>

- **Revégétalisation de la côte** (voir plus bas encadré 14, p 105) : La plantation d'espèces halophiles et psammophiles en haut de plage et en milieu dunaire est une solution non structurelle peu coûteuse et efficace dans certaines conditions pour fixer le trait de côte ou tout du moins maintenir un espace tampon. Elle nécessite néanmoins que les enjeux, bâtis ou routiers, ne soient pas à proximité immédiate de la ligne de rivage. Les exemples de revégétalisation réussis sont nombreux notamment au lido de Sète. Cela peut passer plus simplement par la protection des milieux dunaires et des autres écosystèmes qui protègent le rivage (Fisher, 2011).
- **Revêtement géotextile de falaise ou talus** (encadré 2D, encadré 15, p. 107) : Parmi les protections implantées à Ault, en Picardie, des **revêtements géotextiles** ont aussi été implantés pour empêcher l'infiltration et favoriser le drainage de la falaise, de manière à ralentir l'érosion des falaises rocheuses. Il est néanmoins à déterminer si les revêtements auraient un réel effet sur les falaises rocheuses québécoises. Toutefois, il serait intéressant d'évaluer et de tester si certains types de revêtement pourraient réduire les processus cryogéniques qui sont importants au Québec (Bernatchez et Dubois, 2008; Bernatchez *et al.*, 2011b). Les processus hydrogéologiques particulièrement actifs dans les falaises meubles du Québec, qui entraînent leur recul rapide, limitent l'intérêt d'un tel procédé.

Stratégie 21. Évaluer le potentiel des boudins géotextiles en climat froid. À l'instar du projet de boudins géotextiles au large du lido de Sète-Marseillan, le potentiel d'utilisation de ce système au Québec est à évaluer en raison des contraintes liées à la dynamique glacielle.

Stratégie 22. Évaluation technique de l'Écoplage. Évaluer les possibilités et limites techniques du transfert du système de drainage Écoplage® pour les estrans au Québec.

Stratégie 23. Évaluer les coûts et opportunités d'extraction de sédiments locaux pour combler le déficit sédimentaire. À l'instar des recharges de sable des Pays-Bas ou de galets en Picardie, évaluer les coûts et bénéfices d'utilisation du matériel sédimentaire allochtone pour régénérer les plages en érosion en utilisant les sédiments de dragage non contaminés (port, chenaux...) ou des sédiments terrestres (dépôts quaternaires), et en veillant à conserver une granulométrie similaire à celui du site à recharger. La plaine côtière du Québec maritime, en raison de la Mer de Goldthwait, présente de nombreux deltas et dépôts littoraux postglaciaires qui sont susceptibles d'offrir un bon potentiel pour des sablières ou gravières à proximité du littoral.

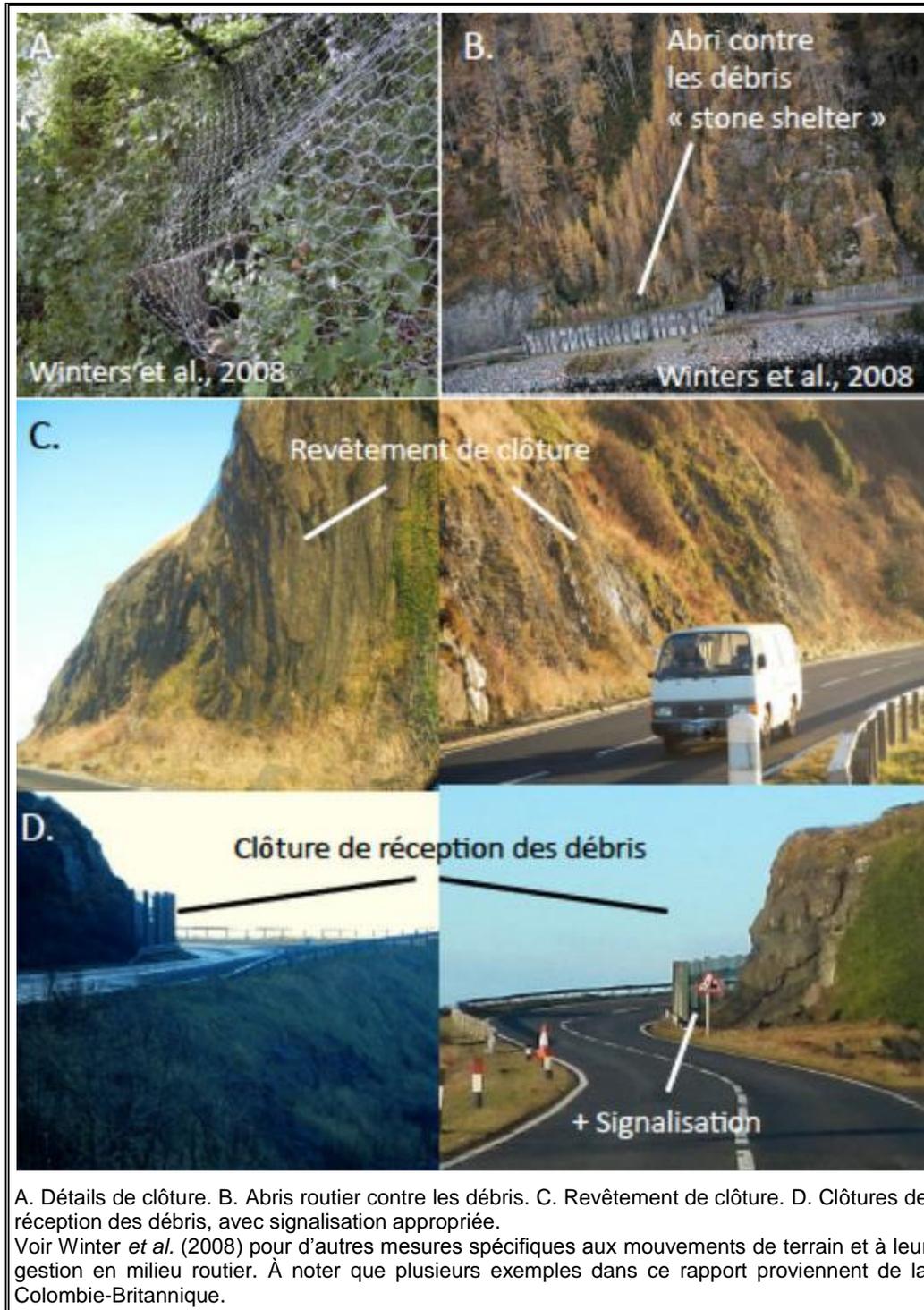
Stratégie 24. Favoriser les méthodes douces de protection de la côte. Encourager les projets locaux de replantation de milieux dunaires ou de front de terrasse de plage, en partenariat avec le milieu. Au Québec, les organismes du milieu, notamment *Attention Fragiles* et certains comités ZIP possèdent une expertise et des expériences dans ce domaine.

Stratégie 25. Évaluer le potentiel des revêtements de falaises rocheuses en géotextile. À l'instar de leur utilisation sur les falaises crayeuses à Ault, le potentiel d'utilisation de ce revêtement au Québec est à évaluer surtout pour évaluer la réduction potentielle des processus liés au climat froid.

c) Autres solutions visant les mouvements de terrain

Dans le cas des aléas de mouvement de terrain, différents dispositifs impliquant des clôtures (revêtement, ou en pied de talus) peuvent réduire la quantité de débris sur la chaussée (encadré 8). Les Écossais font face à ces problèmes et ont produit un document très intéressant sur le sujet (voir Winter *et al.*, 2008). Les abris recouvrant la route et des bassins de rétention des débris ou fosses de captage de débris d'éboulis font aussi parties des solutions qu'ils proposent. Ces mesures s'appliquent aux côtes à falaises lorsque la route est située au pied de celles-ci (par exemple, comme dans le cas de la route 132 le long du nord de la péninsule Gaspésienne).

Encadré 8 Cas de l'Écosse : Mesures de réduction de l'aléa mouvement de terrain sur la route



Stratégie 26. Réduction de l'aléa sur l'infrastructure. À l'instar de l'exemple écossais, utiliser des revêtements et abris routiers pour limiter ou canaliser l'extension spatiale des mouvements de terrain, des avalanches et des chutes de blocs de glace au Québec (notamment pour le nord de la Gaspésie), afin de réduire les aléas atteignant l'infrastructure.

4.3.1.2. Solutions relatives à la gestion de l'infrastructure

Outre les solutions côtières, qui consistent à réduire l'aléa d'érosion ou de submersion notamment en installant des protections côtières, d'autres mesures d'atténuation de la vulnérabilité des infrastructures routières peuvent être mises en place.

Ainsi, dans une étude sur l'évaluation des risques côtiers sur les routes de Nouvelle-Écosse, l'une des solutions envisageables consiste en la surélévation de la route en fonction du niveau de submersion attendu (McGillis *et al.*, 2010). D'autres mesures sont envisageables : veiller à la taille adéquate des ponceaux et des ouvrages de drainage pour assurer la sécurité routière, renforcer les éléments de la route qui sont particulièrement vulnérables à l'érosion ou à la submersion (Fisher, 2011), nécessité d'adapter l'usage de sels sur les routes pour limiter les dommages et la fréquence des opérations de maintenance pour améliorer la sécurité dans un contexte de changements climatiques (CBCL, n.d.).

Stratégie 27. Utilisation de solutions spécifiques aux infrastructures routières. À l'instar de l'exemple néo-écossais, rehausser les routes soumises à la submersion en prenant en compte l'élévation du niveau marin relatif à un horizon d'aménagement et adapter les pratiques d'entretien aux réalités des changements climatiques.

4.3.2. Acceptation d'une baisse de service temporaire

Dans le cas d'événements de submersion ou de mouvements de terrain, il existe quelques solutions pour remédier à une baisse temporaire du service routier : la signalisation temporaire d'aléas, le blocage partiel de la route et le blocage complet de la route ou de ses voies attenantes (encadré 9).

Encadré 9 Solutions relatives à l'acceptation d'une baisse de service temporaire

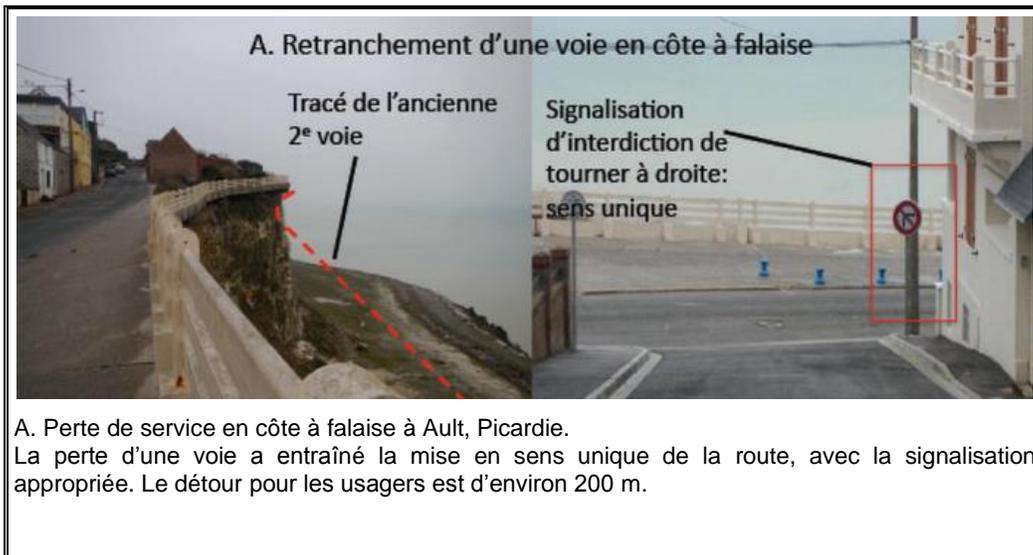


Stratégie 28. Acceptation d'une baisse de service temporaire. À l'instar des exemples français, britannique et néerlandais, utiliser une signalisation temporaire d'aléas, le blocage temporaire d'une voie, de toutes les voies ou des voies attenantes pour protéger la voie principale, dans le cas d'une diminution temporaire de service.

4.3.3. Acceptation d'une baisse de service permanente

Contrairement à la catégorie précédente, dans le cas de l'aléa d'érosion, la perte de service est permanente, bien que l'infrastructure subsiste, au moins partiellement. Tant en côte basse qu'en côte à falaise, la principale mesure rencontrée dans cette situation est le retranchement d'une voie (encadré 10). Cependant, il est possible d'ajouter des mesures pour encourager l'intermodalité et le transport collectif (ajout de piste cyclable et arrêts d'autobus) afin de compenser cette perte. La signalisation routière est également à planifier.

Encadré 10 Acceptation d'une baisse de service permanente





Stratégie 29. Acceptation d'une baisse permanente de service. À l'instar des exemples français, retrancher une voie (transformation en sens unique), utiliser des mesures de diversification des accès (intermodalité) et des signalisations permanentes d'aléas pour s'adapter à une baisse permanente de service.

4.3.4. Acceptation d'une perte d'infrastructure

En situation où des impacts d'aléas sont répétés et où le coût du maintien des infrastructures routières excède les bénéfices, la stratégie appropriée est l'acceptation d'une perte d'infrastructure (encadré 11). Celle-ci peut être réalisée par le blocage permanent avec des clôtures ou des blocs de béton. Dans l'échantillon analysé, cette situation était restreinte aux côtes à falaises. Il faut de plus inclure le démantèlement des infrastructures si une remise en état naturel est envisagée, afin d'assurer la santé et la sécurité des usagers.



Stratégie 30. Acceptation d'une perte d'infrastructure. À l'instar des exemples français et britannique, utiliser des clôtures et des blocs de béton pour limiter ou bloquer complètement l'accès de routes ayant subi des pertes irréversibles et remettre à l'état naturel le site.

4.3.5. Mesures préventives pour assurer le maintien du service en tout temps par relocalisation

Dans le cas où les impacts des aléas sont fréquents et où il est impératif de maintenir un service en tout temps, deux options sont possibles :

- prévoir le tracé alternatif sur des voies existantes ou construire une voie de contournement pour les brèches temporaires de service et continuer de protéger la voie contre la dégradation permanente ;
- déplacer le service du réseau routier dans le cas de brèches permanentes ou trop fréquentes de service.

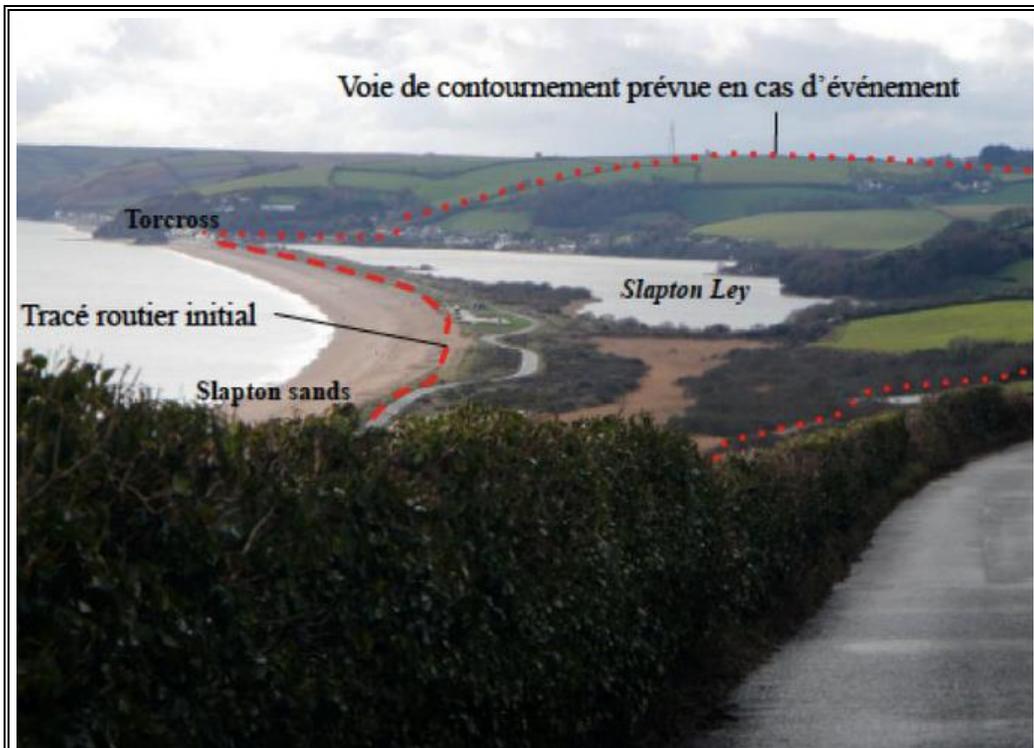
L'enjeu est ici le service de transport assuré par le réseau routier.

Les cas de submersion se prête davantage à l'utilisation de voies de contournement que les cas d'érosion puisque la surcote est un phénomène temporaire qui se résorbe. Néanmoins, l'augmentation du niveau marin pourrait changer cette réalité et entraîner des épisodes d'érosion fréquents lors

de surcotes de tempête. Il peut ainsi être rentable, selon une vision à long terme, d'envisager le déplacement d'un tronçon de route ou l'utilisation d'un tracé alternatif. Cependant, le souci lors du déplacement de la voie, est d'intégrer cette relocalisation dans un projet plus large de relocalisation des populations, afin d'harmoniser les divers usages du territoire. En effet, les conséquences pour les populations peuvent être importantes et il est souhaitable que ces mesures soient établies en concertation avec les populations concernées (voir l'exemple de relocalisation entamé à Ault (France), l'encadré 15 peut servir de modèle).

Recul de la route et voie de contournement temporaire (encadré 12) : À Slapton Sands dans le Devon (RU), suite à des épisodes de tempêtes et d'érosion ayant coupé la route, certains tronçons ont été reculés de la côte vers l'intérieur des terres et une voie de contournement a été prévue en cas d'événement majeur (IUK05). Néanmoins, la voie de contournement est une route rurale (une seule voie de circulation en grande partie) et dans son état actuel elle ne pourrait recevoir le trafic de manière permanente. Le problème reste en suspens jusqu'à la prochaine situation d'urgence ou les prochains dommages importants.

Encadré 12 Recul de la route de Slapton Sands à Torcross (Devon, RU), et voie de contournement



A. Vue du tracé de la route bordant le Slapton Ley, tracé routier initial et voie de contournement prévue en cas d'événement majeur (d'après IUK05)



Stratégie 31. Recul de la route suite à des dommages récurrents et voie de contournement temporaire. À l'instar de l'exemple de Slapton Sands, combiner le recul progressif d'un tronçon fréquemment endommagé par les aléas et la planification de voies de contournement temporaires pour faire face aux événements inévitables.

4.3.6. Acception d'une perte permanente de réseau et de service de transport

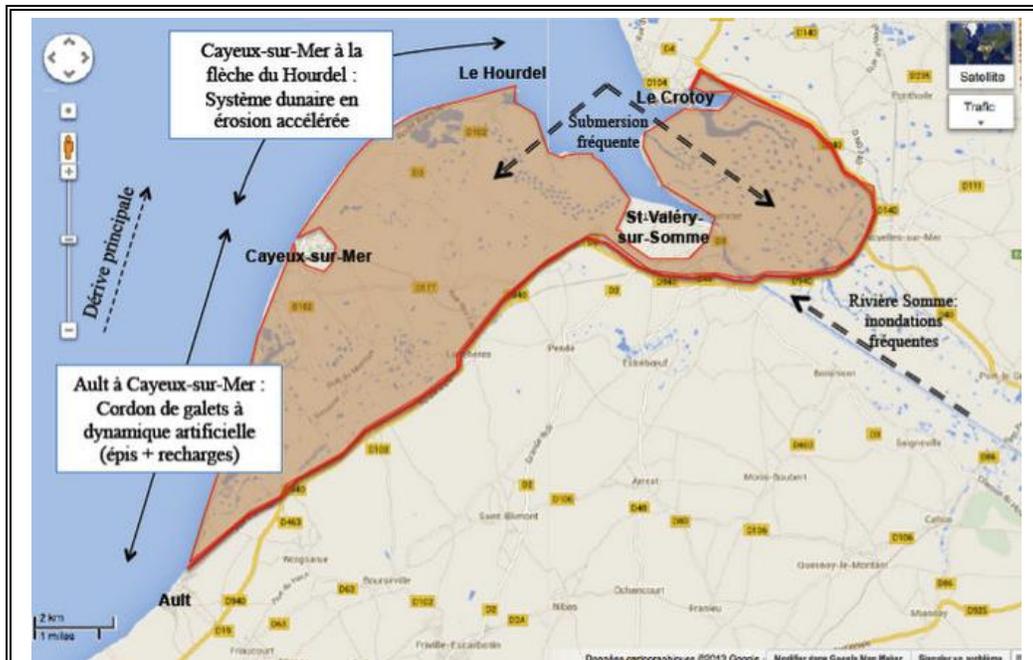
La relocalisation des enjeux vers l'intérieur des terres est envisagée dans plusieurs cas où les enjeux bâtis ou routiers ont justifié de multiples mesures structurantes au fil des décennies, mais où la tendance au recul côtier et/ou à la submersion apparaît irréversible, ou bien encore, lorsque les coûts de la défense côtière sur plusieurs décennies en excèdent les bénéfiques. Cette solution est également appelée recul stratégique, retrait stratégique, ou réaligement planifié (*management realignment*) au Royaume-Uni. On parle de dépoldérisation lorsqu'il s'agit d'un retrait d'enjeux situés sur une côte basse qui avait été poldérisée, c'est-à-dire où il y avait eu gain de terres (empiètement) au dépend de la mer grâce à la construction d'une digue. Ce concept trouve son origine aux Pays-Bas (voir par exemple, de Ruig 1998), où ont été créés les premiers polders au Moyen-Âge. La dépoldérisation ne nécessite pas toujours la relocalisation de biens bâtis puisqu'il peut s'agir d'un simple retour à un marais maritime de terrains agricoles par la destruction d'une digue, dans un objectif strictement écologique retour à un milieu naturel ou de limitation du « coastal squeeze ».

4.3.6.1. *Relocalisation stratégique en côte submersible
artificialisée : dépoldérisation*

La dépoldérisation est une avenue envisagée en France, entre Ault et la baie de Somme, où une zone humide, nommée les Bas-Champs, est limitée par un cordon de galets de plusieurs kilomètres, artificiellement maintenue depuis plusieurs décennies, et plusieurs digues dans l'estuaire de la Somme, dont les plus anciennes datent du XVI^e siècle (encadré 13). Ce polder, situé à moins de 3-4 m d'altitude, est essentiellement une zone de conservation, de chasse et pêche (IFR06, IFR08). La route D940 longe ce territoire sur un talus naturel, qui correspond à l'ancienne ligne de rivage, et qui constitue une limite de zonage évidente. La présence de nombreux petits étangs indique l'absence de drainage du polder, alors que le secteur peut être soumis à des inondations fluviales et à des épisodes de submersion marine par l'estuaire de la Somme. Par ailleurs, la flèche de galets est en érosion entre Ault et le Hourdel. Elle est maintenue artificiellement à l'équilibre grâce à des recharges de galets annuelles et à l'entretien d'une cinquantaine d'épis. Une quinzaine d'épis supplémentaires doivent être construits pour protéger le village de Cayeux-sur-Mer situé à mi-chemin entre Ault et Le Hourdel. La « route blanche » (D102) qui reliait Cayeux à Le Hourdel, en suivant le cordon de galets a été fermée à la circulation automobile suite à une importante tempête en 2008. Le transport se fait maintenant par la route alternative à l'intérieur des terres en longeant la limite interne du polder et la chaussée sur la flèche a été reconvertie en « voie verte » pour les vélos et piétons (Syndicat mixte de la Baie de Somme, 2012). La stratégie doit aussi compter sur des investissements pour le démantèlement d'anciennes structures de protection (ici, des épis en béton armé), pour des raisons de sécurité et d'hygiène.

Stratégie 32. *Relocalisation stratégique en côte submersible par dépoldérisation.*
À l'instar de l'historique néerlandais et de l'exemple d'Ault en baie de Somme, évaluer la possibilité d'appliquer la dépoldérisation à certains milieux submersibles qui ont été artificialisés, comme les aboiteaux.

Encadré 13 Cas de dépoldérisation envisagée aux Bas-Champs entre Ault et la Baie de Somme



A. Description du territoire concerné par le scénario de dépoldérisation.
La zone en rouge correspond au territoire concerné. Cartographie approximative d'après les entrevues IFR06 et IFR08, sur fond de carte Googlemaps.

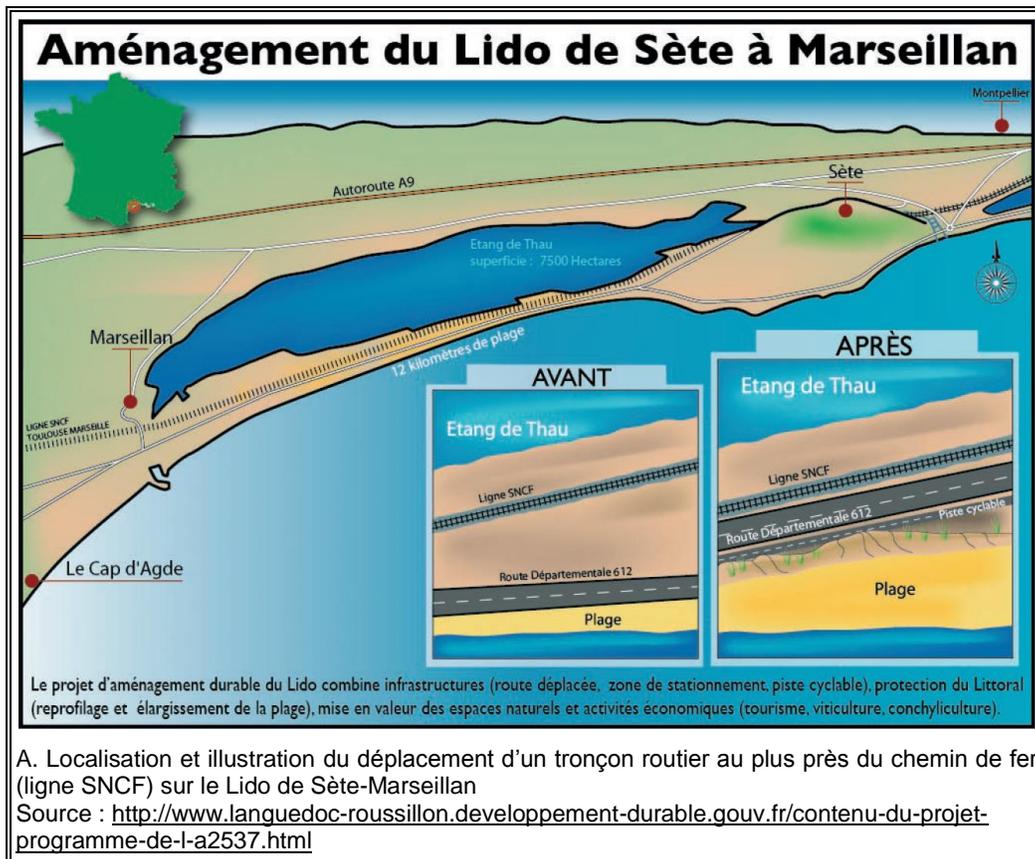


B. « La route Blanche » (RD102) qui reliait Cayeux-sur-Mer à Le Hourdel a été fermée suite à la tempête de 2008.
Source : Panoramio, 2013

4.3.6.2. *Relocalisation stratégique en côte basse avec intervention : régénération des processus côtiers naturels*

La simple relocalisation d'enjeux situés dans un secteur soumis à l'érosion côtière ou à la submersion peut s'accompagner d'une régénération des processus naturels côtiers afin d'améliorer la valeur ajoutée du site, particulièrement dans un objectif d'usage récréotouristique. Par exemple, au Lido de Sète-Marseillan, la route a été reculée le plus près possible du chemin de fer (sur des terres publiques) (encadré 14). Ce retrait a été accompagné d'une recharge de plage, de revégétalisation et de ganivelles sur la dune. Il est à noter que les coûts de déplacement avoisinent les 79 M\$ (55M€) pour les 12 km de route concernés. Les autorités en ont profité pour aménager des voies cyclables, des arrêts pour favoriser le transport collectif, des traverses en bois pour limiter le piétinement et favoriser l'accès pour les personnes à mobilité réduite, ainsi que de nouveaux stationnements et blocs sanitaires pour soutenir l'usage récréotouristique du tronçon (voir annexe C de la France pour plus de détails).

Encadré 14 Cas du Lido de Sète-Marseillan : relocalisation stratégique avec régénération





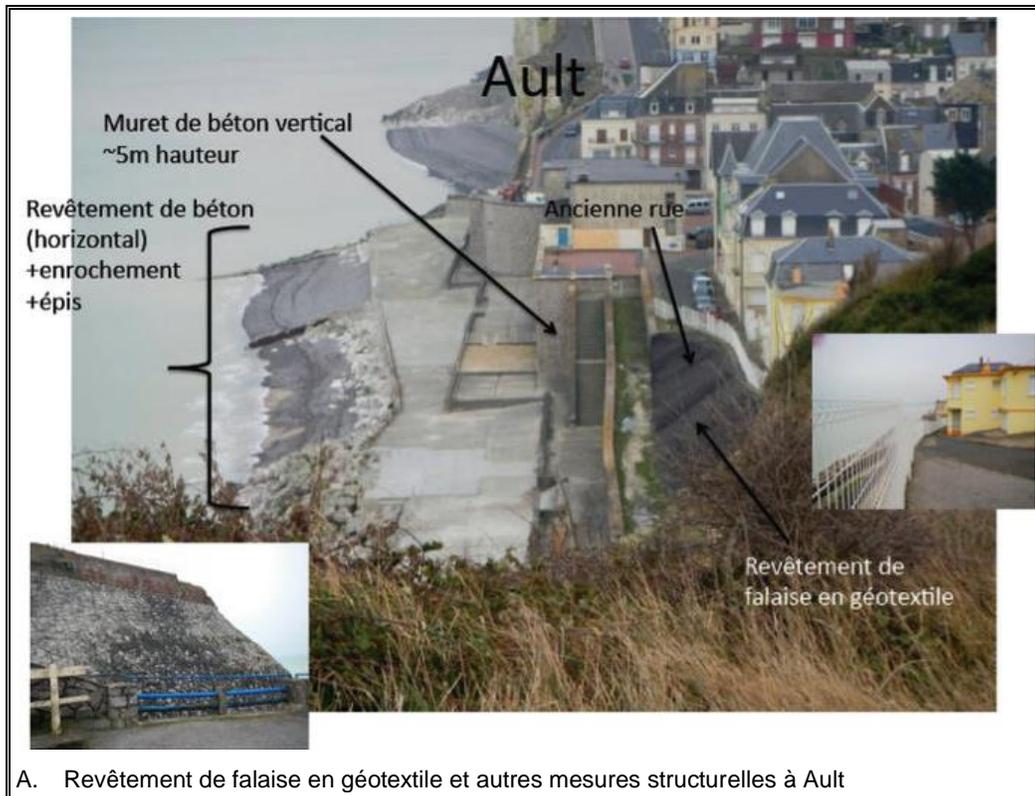
Stratégie 33. Relocalisation stratégique de la route, régénération des processus naturels et aménagements récréotouristiques. À l'instar de l'exemple du Lido de Sète-Marseillan, évaluer les possibilités de relocaliser un tronçon routier fortement exposé sur des terres publiques avoisinantes, en incluant la régénération des processus naturels et des aménagements pour diversifier les usages du littoral.

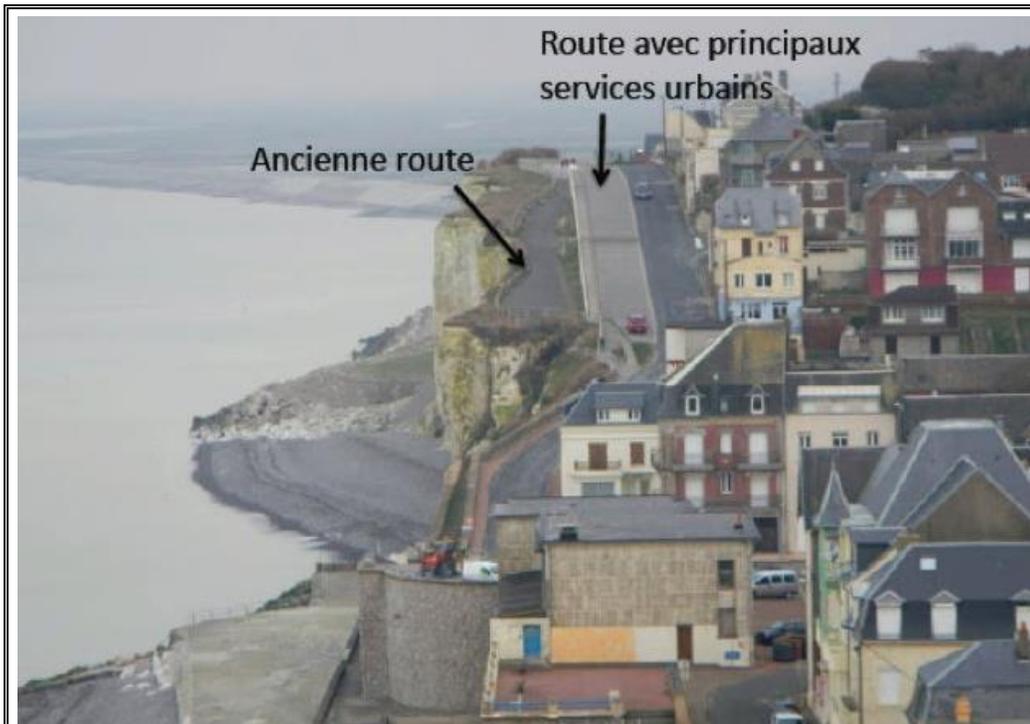
4.3.6.3. *Relocalisation stratégique en sommet de falaise habitée : Planification urbaine*

Dans le cas de falaises vives reculant rapidement, le retrait des enjeux bâtis et routiers de la zone exposée devient inévitable, même si des solutions d'atténuation pourront ralentir le recul et donner le temps de procéder à la planification urbaine. Par exemple, juché en haut de falaises de craie de 10 à 20 m de haut, le village d'Ault (France) fait partie des projets pilotes nationaux (appel à projets Cousin) sélectionnés pour une démarche de **relocalisation stratégique d'un quartier**, dans le cadre de la Stratégie nationale de gestion du trait de côte (encadré 15). Divers revêtements et des protections côtières multiples ont été installés depuis une trentaine d'années par la municipalité. Les coûts ont entraîné une dette qui sera bientôt épongée, mais simultanément, les protections côtières et revêtements sont en fin de leur

durée de vie utile et la situation est au même point qu'il y a 30 ans (IFR06, IFR08). D'autres enjeux tels l'exposition des réseaux urbains vitaux s'ajoutent à la complexité de la problématique et doivent être considérés dans l'évaluation des solutions.

Encadré 15 Cas d'Ault, « village belvédère » sur une côte à falaise crayeuse, Picardie (France)





B. Localisation des enjeux routiers à Ault : ancienne route et nouvelle route où les principaux services urbains sont exposés (électricité, aqueduc)
Note : d'après IFR06, IFR08



C. Projet de relocalisation stratégique au site du Moulinet à Ault
Source : Syndicat mixte de la Baie de Somme (2011) Aménagement du site du Moulinet – Ville de Ault : Dossier de concertation, 10 p.

Stratégie 34. Relocalisation stratégique en sommet de falaise habitée par planification urbaine. À l'instar de l'exemple de Ault (France), amorcer des démarches de planification de l'aménagement du territoire en concertation avec les populations, ministères et organismes concernés pour relocaliser les enjeux dans les secteurs de falaises meubles ou rocheuses où les ouvrages de protection ne constituent pas une solution durable pour freiner le recul du trait de côte.

4.3.6.4. Relocalisation graduelle des enjeux (tout type de côte) : cascade de scénarios d'utilisation du territoire en concertation avec les populations

Dans le cas où les usages sont multiples et les enjeux complexes, il est nécessaire d'envisager une approche d'aménagement territorial où les différentes stratégies (avancement du trait de côte vers la mer à l'aide de nouvelles structures, défense de la ligne de rivage « hold-the-line » ou relocalisation stratégique) se chevaucheront de zone en zone et à travers le temps, et où il sera essentiel de construire l'acceptabilité sociale de ces choix, qui peuvent être lourds de conséquences pour certains.

Au Royaume-Uni, ce type d'approche est plus fréquente, comme dans le North Norfolk (encadré 16). Dans ce comté, l'installation de multiples structures de protection, suite à la surcote de 1953 ayant fait plusieurs morts, a bloqué les sources sédimentaires et provoqué un recul du trait de côte accéléré durant les six dernières décennies (IUK02). Ainsi, des villages ont vu leurs falaises reculer, comme celui d'Happisburgh, qui a vu ses falaises s'éroder à des taux de plus de 8 m/an (voir l'encadré 16A, 16B), alors que les structures de protection ont créé un profil de côte en promontoire, ce qui a rendu les habitations exposées de toutes parts. Une quinzaine de propriétés ont ainsi été détruites par l'érosion côtière. Du point de vue routier, le réseau était perpendiculaire au trait de côte et les voies ont simplement été bloquées par des blocs de béton à quelques mètres de la rupture de pente.

En d'autres mots, la stratégie adoptée était l'acceptation d'une perte nette de service et de réseau. Devant cet état des faits, un budget massif d'expropriation, 5,2 M\$ (3 M£) pour ce seul comté, a été administré dans le cadre du programme gouvernemental Pathfinder (DEFRA, 2012). Ce programme a financé de telles mesures dans 15 sites prioritaires dans toute l'Angleterre, dont 5 sites qui ont nécessité à eux seuls la majorité de ce budget. Une démarche de planification spatiale en concertation avec les citoyens a également été entamée en 2003 pour tout le littoral du Norfolk, sous-divisé en petites unités de gestion.

Le résultat, un « Shoreline Management Plan », a été récemment entériné (North Norfolk District Council, 2012) et est basé sur une « cascade » ou succession de scénarios de stratégies côtières, qui s'étend sur des horizons de 20, 50 et 100 ans. Pour le village d'Happisburgh, la résistance (« hold the line ») sera de mise pour le court terme, le temps de se préparer pour que dans 50 à 100 ans on puisse laisser la côte reculer jusqu'à une position plus durable, c'est-à-dire, en permettant d'annuler l'effet de « promontoire » dans le profil (encadré 16C). Derrière ces choix de planification se cache une méthodologie d'évaluation multicritères de plusieurs scénarios, qui ont été soumis à la consultation de la population (North Norfolk District Council, 2009), tel qu'illustré pour une côte basse à l'encadré 16D (voir l'annexe D sur le Royaume-Uni pour plus de détails).

Encadré 16 Cas du North Norfolk et d'Happisburgh : Cascade de stratégies



10.04.2005 (C) Mike Page
<http://www.bgs.ac.uk/landslides/happisburgh.html>

A. Vue aérienne oblique du promontoire d'Happisburgh et illustration de l'état du trait de côte (photos de terrain) depuis le haut de la falaise

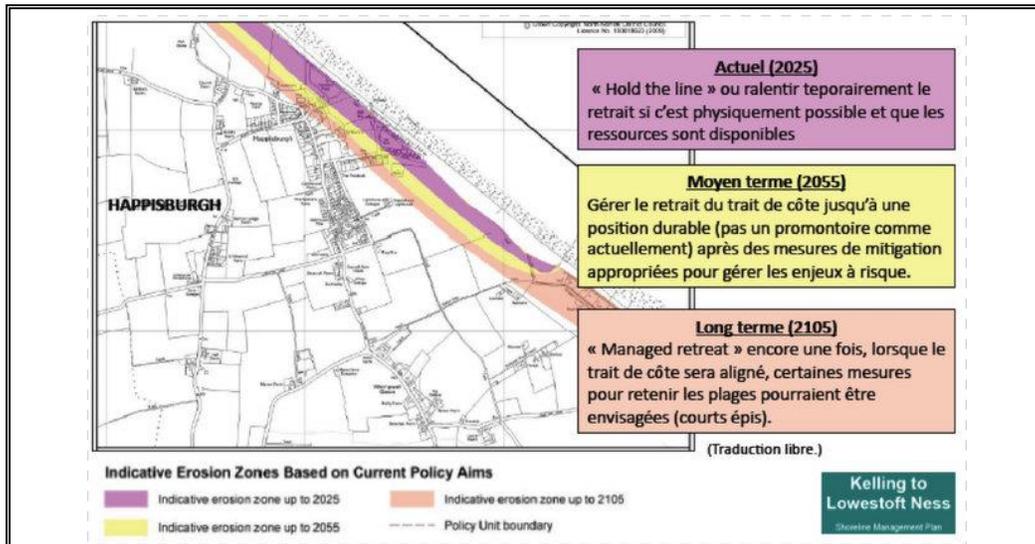


Sea defences
Aerial photograph taken in 1992
~105 m
Position of top of cliff in 2004
<http://www.bgs.ac.uk/landslides/happisburgh.html>

2002
<http://www.bgs.ac.uk/landslides/happisburgh.html>

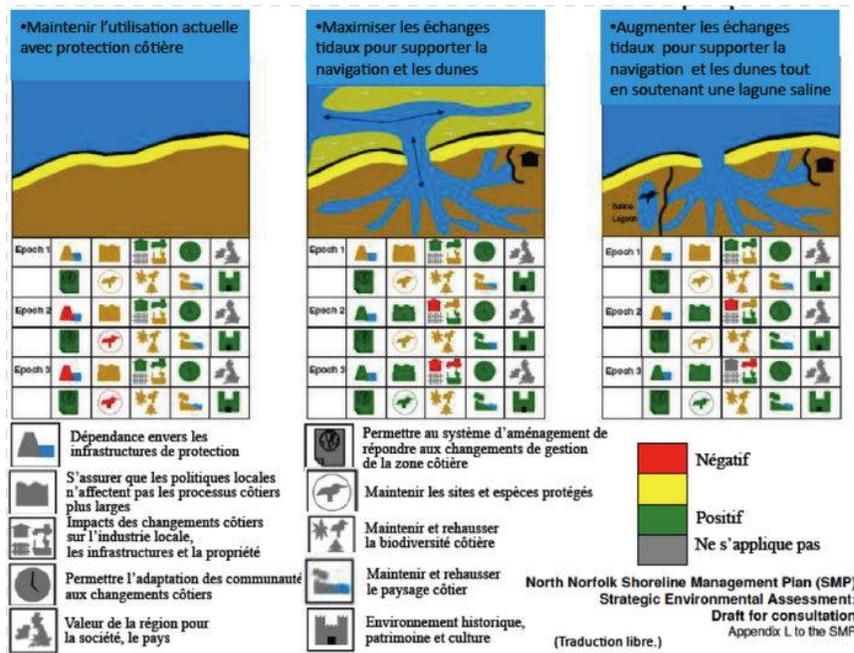
2004
<http://www.bgs.ac.uk/landslides/happisburgh.html>

B. Illustration du recul historique à Happisburgh sur une photographie aérienne et d'après la comparaison de deux images obliques où l'on remarque l'absence d'une maison



C. Extraits du plan de gestion de la ligne de rivage (Shoreline management plan) de Happingburgh adopté en 2012 en concertation avec la population locale, où une cascade de scénarios d'utilisation du sol a été adoptée pour les horizons actuels, à moyen terme et à long terme.

Source : D'après North Norfolk District Council (2012) Kelling to Lowestoft Ness Shoreline Management Plan.



D. Illustration d'une cascade de scénarios pour une côte basse voisine de Happingburgh, soumis pour concertation avec les citoyens, selon une méthode d'évaluation multicritères des valeurs concernées à trois époques (court, moyen, long terme). À noter que le scénario proposant d'augmenter les échanges tidaux (droite) est celui dans l'ensemble qui rencontre le moins d'impacts négatifs.

Source : D'après North Norfolk District Council (2009) North Norfolk Shoreline Management Plan : Strategic Environmental Assessment : Draft for Consultation : Appendix L to SMP

Stratégie 35. Relocalisation stratégique graduelle des enjeux (côte basse ou à falaise) et cascade de scénarios d'utilisation du territoire. À l'instar de l'exemple anglais, élaborer en concertation avec les populations des cascades de stratégies d'utilisation du territoire pour fournir du temps et différents choix aux populations pour s'adapter graduellement aux risques côtiers.

4.3.7. *Statu quo : Acceptation passive d'une perte d'infrastructure et de service*

La dernière stratégie possible est le *statu quo*, c'est-à-dire ne rien faire. Notons qu'elle n'a été recensée nulle part dans les sites visités, ni mentionnée au cours des entrevues. Néanmoins du point de vue théorique, dans les zones à risque, une telle stratégie est possible et elle entraînerait évidemment des pertes nettes de réseaux de transport et pourrait affecter la santé et la sécurité des usagers à risque si les infrastructures ne sont pas démantelées adéquatement. D'autres effets indirects pourraient être la dégradation des services écosystémiques, de la valeur esthétique du paysage et du potentiel récréotouristiques. Une telle acceptation passive d'une perte d'infrastructure et de service laisse aussi place à des conséquences hasardeuses et traduit une absence de prise en charge de ces conséquences, soit une déresponsabilisation des autorités. Dans ces conditions, les intervenants rencontrés lors de toutes les entrevues présentaient une position implicite : le *statu quo* n'est pas acceptable, il faut agir d'une manière ou d'une autre. Au besoin, nous croyons qu'une recherche d'arguments légaux pourrait aider à étoffer cette position.

Piège 2 : Le *statu quo*. À l'instar de la position générale des intervenants rencontrés, que ce soit pour protéger la santé et la sécurité des populations, ou pour éviter les impacts indirects sur le paysage, il est important de reconnaître la nécessité d'éviter le *statu quo*. Ainsi, il faut avoir un plan d'action et soutenir sa réalisation pour faire face aux risques affectant la sécurité des personnes, les infrastructures de transport et indirectement les populations résidentes et les usagers qui dépendent du réseau routier et de l'environnement.

À retenir :

Du côté des solutions spécifiques au milieu côtier, l'analyse a montré une grande diversité de mesures techniques, mais la plupart étaient des mesures structurelles défavorisant les processus naturels, donc, la résilience naturelle de la zone côtière. Or, c'est un constat opposé à l'une des principales recommandations officielles d'aménagement côtier au Royaume-Uni : soutenir les processus naturels (Environment Agency, 2010, 2012). Considérant les changements rapides affectant les côtes du Québec, les mesures structurelles sont peu susceptibles de soutenir les processus naturels qui évoluent en continu. Dans ces conditions, il semble inévitable de favoriser des solutions côtières non structurelles, afin de soutenir la résilience naturelle des côtes québécoises.

Stratégie 36. Favoriser les solutions côtières non-structurelles. Compte-tenu des changements rapides observés sur les côtes québécoises, établir, à l'image du Royaume-Uni, un principe d'aménagement côtier qui favorise explicitement des solutions côtières non-structurelles qui s'harmonisent ou renforcent les processus naturels en cours dans les cellules hydrosédimentaires.

D'autres solutions à grande échelle, telles la recharge ou les barrières anti-submersion peuvent être envisagées, mais impliquent des impacts environnementaux (au site d'extraction) et des coûts d'opération astronomiques (voir encadré 7 : La drague à sédiments à Ter Heijde, Zuid-Holland aux Pays-Bas, encadré 4 et encadré 5 Barrières anti-submersion). Ensuite, en croisant la diversité des solutions et les aléas, il est possible de dégager les solutions offrant le plus de potentiel pour chaque type de côtes (tableau 13).

Tableau 13 Synthèse des solutions à favoriser

	Submersion	Érosion côtière
Côtier	Côtes basses : Selon les ressources disponibles : Digues ou barrières anti-submersion (résistance et cote) OU Dépoldérisation et soutien des processus naturels	Côtes basses : Relocalisation stratégique à moyen et long terme Côtes à falaise : Résistance, le temps de procéder à la relocalisation (si le temps le permet) Tout type de côte : Nécessité d'intégrer la démarche à un processus de concertation territoriale
Routier	Côte basse : Selon le degré de l'aléa : Acceptation de baisse de service temporaire : voies de contournement Acceptation d'une baisse de service permanente : retranchement d'une voie	Tout type de côte : Acceptation d'une baisse de service permanente : Retranchement d'une voie Transformation des voies de contournement en voies principales
	Tout type de côtes : Saisir les opportunités de favoriser l'intermodalité et le capital récréo-touristique du littoral	

Dans le cas de l'**aléa de submersion**, causant une diminution partielle et temporaire du service, plusieurs segments routiers faisaient l'objet de stratégies mixtes : des mesures côtières de résistance combinées à des mesures de gestion de la circulation.

- **Au plan côtier** : les digues ou barrières pour empêcher la mer de pénétrer sur le continent apparaissent les plus efficaces, mais nécessitent d'être sur-calibrées en résistance et en cote altitudinale pour tenir compte des changements prévus du niveau de la mer et de l'intensité des tempêtes, sur un horizon de plusieurs décennies. Il s'agit cependant d'un choix qui implique une dépendance envers ces structures de protection et par conséquent, des coûts d'entretien faramineux sur le long terme (voir section 4.4 sur l'évaluation des coûts et les ressources disponibles).

- **Au plan de la circulation** : la clé semble résider dans les voies de contournement pour absorber les perturbations à court terme du service routier. Ces voies sont d'une importance cruciale et le niveau de préoccupation envers l'enjeu routier était somme toute plus faible dans les pays analysés qu'au Québec en raison de la structure du réseau (qui s'explique en grande partie par l'organisation du territoire « en étoile » autour des centres urbains, plutôt que parallèle au trait de côte). Elles permettent de diminuer la dépendance à une infrastructure unique. Fondamentalement, ce dédoublement est d'ailleurs une propriété reconnue comme essentielle à la résilience de tout réseau (Pant, 2012).

Cependant, la dépoldérisation, les interventions de rétablissement des processus naturels, ainsi que la relocalisation des voies prennent tout leur sens devant l'exposition accrue aux aléas littoraux de nombreuses côtes. Il est probable que ces mesures gagnent en popularité d'un point de vue conceptuel dans l'avenir. Reste à voir si l'accessibilité sociale et la volonté politique seront au rendez-vous.

L'**aléa d'érosion côtière**, quant à lui, cause des pertes directes (réparables ou non) d'infrastructures et donc de services. Dans les milieux qui y sont les plus exposés, les stratégies favorisées sont :

- **Au plan côtier** : la relocalisation stratégique et la remise à l'état naturel du milieu côtier à moyen et long terme (résistance le temps de planifier la relocalisation). Les cascades de stratégies comme au Royaume-Uni ont notamment l'intérêt de préparer et d'amener la population à soutenir la relocalisation stratégique et d'intégrer les services fournis par le réseau routier au sein d'une vision intégrée du territoire.
- **Au plan de la circulation** : l'acceptation d'une perte de service permanente (retranchement d'une voie), mais aussi de saisir l'opportunité de favoriser l'intermodalité et le capital récréotouristique en bord de mer.

En somme, le dénominateur commun dans les deux figures de cas sont les conséquences négatives d'une stratégie de résistance côtière. Envisager des tracés alternatifs et le recul stratégique apparaît comme la stratégie la plus durable à long terme.

4.4. Évaluation des solutions d'adaptation

Différents critères décisionnels peuvent aider au choix d'une solution d'adaptation du réseau routier aux aléas côtiers. L'évaluation peut passer par deux stratégies : l'évaluation de la diversité des impacts (positifs ou négatifs) par l'analyse multicritères, l'analyse coûts-avantages (ACA), ou l'utilisation des arbres décisionnels.

4.4.1. *L'analyse multicritères et l'analyse coûts-avantages*

La méthode actuellement reconnue pour évaluer les solutions est l'analyse coûts–avantages (ACA) aussi appelée coûts-bénéfices (ACB), citée par de nombreux acteurs rencontrés (IFR01, IFR04). La Commission européenne a produit un guide méthodologique de l'ACA (Commission européenne, 2006). Le guide produit par Meunier et Marsden (2009) se révèle aussi intéressant. Celui produit par le CEPRI (2011) est directement formulé pour la thématique des inondations. Son application dans l'exemple français de l'ACA du projet du Lido de Sète-Marseillan permet d'illustrer concrètement la démarche dans le cas d'un projet de gestion côtière (encadré 17).

Une des particularités de cette approche est l'utilisation des impacts dans toutes les sphères d'une perspective éco-socio-systémique (p. ex. Anderies *et al.*, 2004). Cette perspective s'est aussi reflétée dans les critères utilisés dans les cascades de scénarios au Royaume-Uni (voir encadré 16 plus haut), où le maintien des habitats, des espèces menacées et même l'intégrité du paysage ont été considérés. Cependant, il s'agissait dans ce cas d'une analyse multicritères plutôt que d'ACA, omettant l'étape de la valorisation économique.

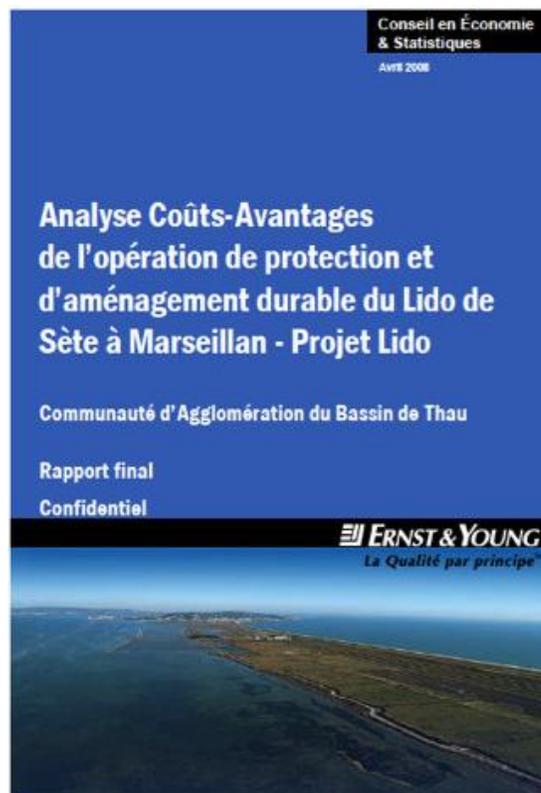
Cette étape de valorisation des impacts environnementaux est justement recommandée dans les documents méthodologiques cités ci-haut. Elle permet de mettre dans la balance les services rendus par les écosystèmes, ce qu'on appelle l'internalisation des services environnementaux. Il n'est pas précisé exactement comment ni où prendre les valeurs de référence. Il en va de même pour les gains ou pertes intangibles, notamment en ce qui a trait au bien-être des populations. Des techniques de valorisation économiques existent, telles l'évaluation du consentement à payer (*willingness-to-pay*), mais les chiffres diffèrent grandement d'une étude de cas à l'autre. Ainsi, l'ACA comporte une transformation supplémentaire des données guidant l'évaluation des stratégies, en comparaison avec l'analyse multicritères. Il réside cependant encore un débat sur la pertinence de transformer à outrance en symbole économique toute variable, même quand elle est difficilement mesurable.

Il faut retenir que **l'absence de référence commune en matière de valorisation des externalités** et la **difficulté de valoriser des valeurs intangibles** entraîne une difficulté à comparer plusieurs ACA entre elles. Autrement dit, tout dépendant des valeurs de référence, les résultats d'une ACA peuvent favoriser des stratégies opposées à celles d'une autre ACA. Même si cette stratégie est recommandée, les ACA comprennent donc une importante variabilité.

Stratégie 37. Méthodologie normalisée d'évaluation des solutions. À l'instar des pays européens, que ce soit l'ACA ou l'analyse multicritères, se doter d'une méthode normalisée pour les projets d'adaptation dans la zone côtière, en choisissant une base de référence en matière de valorisation des services écosystémiques et des valeurs intangibles.

Encadré 17 Exemple d'analyse coûts-avantages réalisée au Lido de Sète-Marseillan

Le projet de recul de la route, de régénération des processus naturels et d'amélioration des aménagements récréotouristiques au Lido de Sète-Marseillan (voir encadré 14) a fait l'objet d'une analyse coûts-avantages. La démarche est divisée en trois grandes parties :



- 1) Analyse financière du projet, comprenant les coûts d'investissement, le financement, le budget, la viabilité financière et le calcul d'indicateurs financiers.
- 2) Analyse socio-économique du projet, comprenant :
 - les externalités : description qualitative et sélection d'externalités à retenir (« accroissement du bien-être » des usagers du Lido, « un impact touristique positif et durable », une « meilleure fluidité » du service routier) et la description des nuisances potentielles;
 - coûts évités d'entretien, correction de taxes, évaluation des coûts pour les municipalités, quantification économique des externalités;
 - différence entre la valeur financière et les éléments socio-économiques, donnant ainsi la valeur actualisée nette (VAN) économique et le taux de rentabilité (TIRE).
- 3) une analyse de sensibilité qui évalue la vraisemblance du taux de rentabilité, basé sur 4 axes : l'augmentation de la fréquentation du site, les hypothèses relatives aux coûts évités, la valeur du bien-être et les dépenses quotidiennes engagées par les touristes.

Il est à noter que la valorisation de l'accroissement de la fluidité du service routier sur ce tronçon de 12 km s'est élevée à 12,1 M\$ (8,3M€) en valeur 2007 avec un taux d'actualisation de 6%, soit un avantage routier chiffré à 1M\$/km, auxquelles s'ajoutent les dépenses évitées en matière de protection côtière, estimées à 50,4 M\$ (34,5 M€), pour un avantage de 5,2 M\$/km. Dans l'ensemble, l'analyse a reconnu que même dans les conditions les plus défavorables, la valeur du projet est rentable et supérieure au taux d'actualisation. Il faut donc recommander de réaliser ce projet.

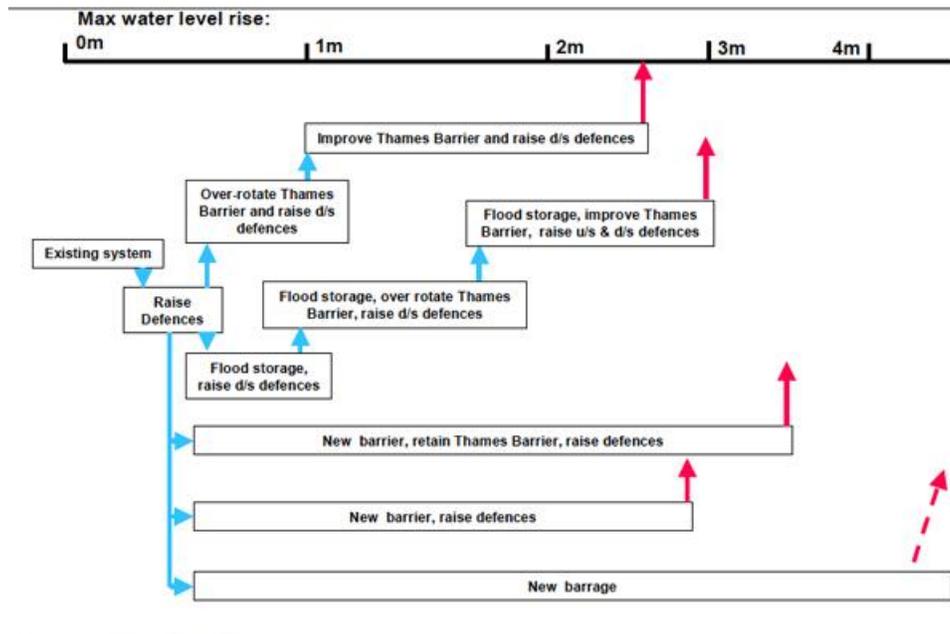
Source : Ernst & Young, 2008.

4.4.2. Décisions adaptatives : les « arbres décisionnels » ou « trajectoires décisionnelles »

Un autre aspect de la prise de décision en milieu côtier est l'environnement changeant. Dans ce contexte, les « trajectoires décisionnelles » ou « arbres décisionnels » (*decision pathway*) constituent une approche intéressante de l'évaluation des solutions. Il s'agit de prévoir les solutions possibles sous

différentes conditions environnementales. Le cas britannique concernant la Tamise (figure 13) en est un parfait exemple. L'avantage est de prévoir et d'évaluer différents scénarios en intégrant d'avance des changements possibles dans l'environnement. Cela force ainsi à établir des seuils où il faudra changer de stratégie.

Figure 2.7 TE2100 'decisions pathway' (u/s = upstream, d/s = downstream)



Source: Environment Agency

Figure 13 Arbre décisionnel en ce qui concerne l'entretien et le rehaussement des barrières de protection sur la Tamise, RU, en fonction du rehaussement du niveau marin

Source : <http://www.seacityresearchnet.com/archives/category/existing-adaptations/movable-barrier>

Stratégie 38. Produire des trajectoires décisionnelles adaptatives. Produire des trajectoires décisionnelles pour les différents types d'infrastructures pour chacun des aléas et dans le cas des conjonctions d'aléas (submersion, érosion, mouvement de terrain), selon leur évolution projetée ou possible et selon le type de côte.

En somme, du point de vue de l'évaluation des scénarios, la combinaison des analyses multicritères ou coûts-avantages avec les trajectoires décisionnelles gagnerait à être explorée.

Stratégie 39. Combiner une méthodologie normalisée d'évaluation des impacts avec les trajectoires décisionnelles adaptatives.

4.5. Gouvernance et mise en œuvre

4.5.1. Diversité d'acteurs et réseaux inter-échelle

Du point de vue de la diversité des acteurs, un aspect commun à la France et au Royaume-Uni consiste en la mobilisation de réseaux d'acteurs à toutes les échelles pour faire face à la problématique. D'une part, les ministères et organismes gouvernementaux, jusqu'à leur plus petite ramification (p. ex. DREAL en France pour les risques et l'aménagement du territoire) contribuent tous à hauteur de leur compétence à la réduction de la vulnérabilité en zone côtière. D'autre part, l'ancrage et la collaboration avec les intervenants locaux s'est avérée d'une grande importance. Ceci est révélé par la collaboration majeure des unités ou organismes locaux :

- les « district councils » au Royaume-Uni, comme celui du North Norfolk qui a mené le plan de gestion intégrée de la zone côtière (IUK02);
- les communautés d'agglomération en France, comme celle de Thau-Agglomération qui a mené la gestion intégrée autour d'un ensemble physiographique, ainsi que l'analyse coûts-avantages (SOGREAH, 2011);
- d'autres organismes ou entreprises locales mandatées par le gouvernement, comme le Syndicat Mixte de la Baie de Somme en Picardie.

En matière de gestion des stratégies d'urgence, le système de l'Agence fédérale des situations d'urgence (*Federal Emergency Management Agency*) avec ses relais dans les différents États (*State & Local Emergency Management Agencies*), bien que critiqué lors de la gestion des conséquences de l'ouragan Katrina en 2005, pourrait inspirer le Québec. L'objectif est de planifier de manière globale et d'apporter des réponses à un sinistre, qu'il soit d'origine humaine ou naturelle. Ces agences peuvent également participer à l'identification des risques et à l'élaboration de plans de gestion des risques. Ainsi, dans la gouvernance, non seulement la diversité des échelles d'intervenants et l'ancrage local sont importants.

La concertation doit également viser à harmoniser les usages, c'est-à-dire à solliciter toutes les parties prenantes. Quand on parle de concertation, c'est aussi la participation du grand public qui est souvent un acteur de premier plan dans la protection côtière, dans son financement ou dans les bénéfices que les citoyens des municipalités côtières retirent. Les efforts en ce sens du North Norfolk sont à prendre en exemple (IUK02). À ce sujet, le courant de la médiation environnementale est en plein essor (p. ex. Sipe et Stiffel, 1995; Andrew, 2003; Sairinen *et al.*, 2010).

Le paradigme actuel en gouvernance des risques naturels est aussi celui de l'augmentation progressive de la participation active des citoyens (Boyer-Villemare *et al.*, 2014). Plusieurs techniques sont possibles (Rowe and Frewer, 2005) et il faut le voir comme une compétence locale à développer (dans un *continuum* partant d'une contribution passive vers une contribution active), mais qui est essentielle à la résilience des communautés. La

participation active des citoyens a l'avantage de contribuer à diminuer la vulnérabilité socio-économique, à augmenter la résilience des communautés côtières et à augmenter l'acceptabilité sociale des solutions choisies puisque les citoyens sont partenaires de la décision. Elle a aussi été officiellement recommandée par la Stratégie Internationale de prévention des catastrophes des Nations Unies.

Stratégie 40. Pour une planification spatiale intégrée. À l'instar de l'approche de planification spatiale intégrée concertée dans le North, Norfolk, il est souhaitable que le MTQ et d'autres organismes et ministères (autant à l'échelon local que national) évaluent leur soutien et leur participation active à une démarche globale de planification spatiale intégrée de la zone côtière.

Stratégie 41. Développement des réseaux multi-acteurs. À l'instar des modèles européens ou de celui des États-Unis, il est souhaitable que le Québec se donne pour objectif de développer les réseaux multi-acteurs et d'encourager la collaboration entre les divers ministères, à travers les différents niveaux avec les intervenants locaux, afin de créer du capital social ancré dans le thème de la zone côtière.

Stratégie 42. Participation citoyenne. Initier un continuum vers la participation active des citoyens pour diminuer la vulnérabilité, contribuer à la résilience des communautés côtières et augmenter l'acceptabilité sociale des solutions choisies.

4.5.2. *Financement*

Au plan du financement, dans les pays analysés, l'État jouait un rôle de premier plan dans la gestion des enjeux côtiers, qui s'illustre dans la part relative de l'État dans les projets co-financés, dans la présence de programmes nationaux d'envergure et dans les ressources totales consenties pour l'adaptation aux risques côtiers.

- **Répartition des coûts** : En Europe, l'État et l'Union Européenne sont les bailleurs de fonds les plus importants dans les projets de gestion côtière. En France, il existe cependant une « **règle du 20%** », où la contribution des autorités ou organismes locaux doit atteindre au moins 20% du montant total du projet (IFR03). De même, ces contributions sont toujours affichées en grand sur le lieu des projets (voir annexe C de la France), ce qui permet aux contribuables de savoir comment est administré l'argent de l'État. L'intérêt de ce genre de mesure reste à établir pour le Québec.
- **Programmes nationaux de financement** : Les efforts financiers en matière de projets d'adaptation côtière en France et au Royaume-Uni sont à souligner. Par exemple, l'appel à projet Cousin, en France, issu du Grenelle de la Mer (grande concertation entre les acteurs de la mer, les élus, la société civile et l'État) a permis de libérer une enveloppe importante pour la réalisation de projets locaux concrets en matière de relocalisation stratégique (Cousin, 2011). Les Britanniques ont choisi une voie similaire avec un programme public nommé *Pathfinder*, qui a financé des projets de gestion sur 15 sites

prioritaires, dont 5 majeurs y compris le cas d'Happisburgh dans le North Norfolk (voir encadré 16) (DEFRA, 2012). Encore ici, les moyens sont considérables : les enveloppes s'élevaient à quelques dizaines de millions de dollars pour chaque site majeur.

- **Ressources totales vs. longueur de côte** : Ceci amène à réfléchir sur l'ensemble des ressources financières disponibles pour la gestion de la zone côtière. À titre d'exemple, aux Pays-Bas, les ressources financières dévolues à la protection côtière représentent environ 14\$ (10€) par habitant annuellement (INL06). Pour 16,8 millions d'habitants et 451 km de côtes (CIA, 2013), il s'agit de ressources annuelles équivalentes à 500 000 \$ CAN/km de côte. Cette évaluation surestime certainement les montants car la protection comprend des structures en bordure des estuaires, mais cela indique néanmoins l'ordre de grandeur.

Dans l'Est du Québec, les montants exacts sont inconnus, en raison des responsabilités partagées pour la protection côtière entre les propriétaires privés, les municipalités et les ministères, tout dépendant de l'occupation du sol en bordure du trait de côte. De plus, le Québec présente une problématique particulière puisque son trait de côte est 10 fois plus long pour la portion de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent que celui des Pays-Bas et sa population deux fois moins nombreuse. À titre comparatif, si on considère l'ensemble de l'enveloppe budgétaire de 96,4 millions de dollars sur sept ans consentis par le Cadre de prévention de sinistres (pour la période 2013-2020) du gouvernement du Québec à l'ensemble des sinistres pour leur analyse et leur gestion en prévention, on obtient un ordre de grandeur d'un peu moins de 3 500 \$/km de côte/an.

Ainsi, avec un financement québécois probablement moindre que celui des Néerlandais, les stratégies de protection de la côte « mur-à-mur » adoptées par les Néerlandais, mais aussi de façon moindre par les Français et les Britanniques ne peuvent être envisagées au Québec.

Par ailleurs, une recherche néerlandaise sur la gestion des risques côtiers présente des critères économiques de coûts annuels pour déterminer les solutions optimales (Woodall and Lund, 2009). Tel qu'illustré à la figure 14, le coût annuel total comprenant l'absorption des dommages annuels d'un projet d'entretien en fonction de la taille du projet suit une courbe en forme de « U ». Il s'agit de déterminer le seuil où les coûts d'entretien diminuent réellement les dommages annuels, permettant ainsi un coût annuel minimal.

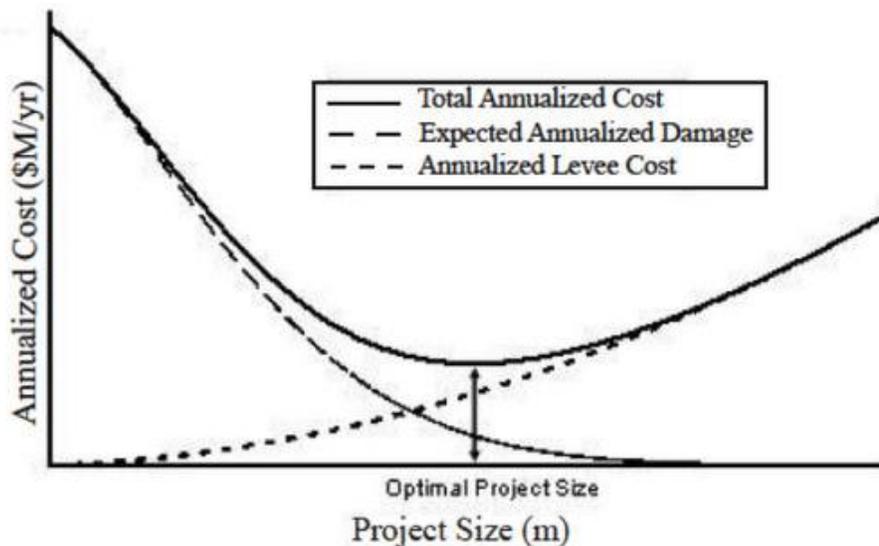


Figure 14 Taille optimale de projet d'entretien de digue en fonction du coût annuel et de la taille du projet

Source : Woodall and Lund, 2009.

De plus, au plan des ressources humaines et de l'expertise disponible, si l'on se base de manière générale sur le nombre de chercheurs dans les universités européennes et américaines spécialisés sur les risques côtiers, le Québec dispose de toute évidence d'un nombre plus faible de ressources spécialisées. Ces remarques générales sont cependant difficiles à évaluer précisément.

Au final, le Québec est au prise avec la complexité d'une très grande géodiversité et d'une très longue côte à gérer (plus de 4 000 km de côtes sont suivies annuellement par le LDGIZC de l'UQAR, ce qui ne compte pas le nord du Québec), alors qu'au plan des ressources, les échelles sont incomparables à celles des pays analysés, tant en matière d'expertise, de ressources humaines consacrées à la gestion de la zone côtière, qu'en matière de ressources financières.

Stratégie 43. Règle de fractionnement du financement. Évaluer la pertinence d'établir une règle prescrivant un taux minimum de financement selon l'échelle locale pour les projets d'adaptation aux changements climatiques subventionnés par l'État. Le taux utilisé par cette règle devrait cependant être modulé en fonction des capacités de payer à l'échelle locale en raison des fortes disparités économiques qui existent notamment entre les municipalités côtières.

Stratégie 44. Programme national de financement. Créer un programme national permanent de financement pour soutenir des projets de gestion durable des côtes pour les sites les plus à risques.

Stratégie 45. Augmenter les ressources financières totales pour la gestion et la prévention des risques côtiers et la GIZC. À l'instar du financement européen, augmenter d'au moins un ordre de grandeur le financement dévolu à la gestion de la zone côtière.

Stratégie 46. Augmenter l'expertise québécoise. Il apparaît important de dresser un portrait de l'expertise québécoise en matière d'analyse et de gestion des risques côtiers ainsi que de la gestion de la zone côtière et d'évaluer la nécessité et les moyens pour augmenter l'expertise québécoise.

4.6. Suivi de l'environnement (monitorage)

Dans un contexte de changements environnementaux importants, le suivi de l'environnement (ou *monitorage*) est essentiel afin d'ajuster la prise de décision aux conditions réelles du terrain, sans compter qu'il permet également de valider l'application et les résultats des interventions, des programmes et des projets afin d'apporter les ajustements si requis. Deux types de suivi ont été recensés dans le cas de la vulnérabilité des infrastructures : le suivi de la côte et le suivi des infrastructures.

4.6.1. Suivi de la côte

À ce sujet, tous les pays possèdent leur propre système de suivi. Celui du *British Geological Survey* est assez complet et peut être cité en exemple. Un programme de suivi dans toute l'Angleterre a été lancé, à l'aide de LiDAR terrestres (stations fixes), de DGPS, de relevés de terrain, d'analyses de sédiments, d'analyse de photos aériennes, etc., pour suivre tant les côtes basses que les côtes à falaise (BGS, 2012; Poulton *et al.*, 2006). Des modèles 3D de la morphodynamique de leurs côtes sont en élaboration. Une équipe d'urgence disponible 24/24 veille aux alertes météorologiques et peut être déployée rapidement dans le cas de glissements de terrain côtiers.

Finalement, les citoyens peuvent aussi les contacter directement par le biais d'un service public lorsqu'ils ont des évidences d'érosion côtière. La récurrence des mesures n'était pas précisée, mais celles-ci ont lieu aussi souvent qu'il y a des événements grâce à l'équipe d'urgence et, d'après les figures de Poulton *et al.* (2006), les levés sont au moins aux 3 ans. Ainsi, deux éléments sont à retenir : 1) la **diversité des méthodes** dans l'approche de suivi, et 2) la flexibilité dans la **fréquence de temps des relevés**, où à la fois des mesures sont effectuées à haute récurrence, mais où la possibilité de faire des collectes exceptionnelles en cas d'événement apparaît comme vitale.

4.6.2. *Suivi des infrastructures*

Un suivi spécifique aux infrastructures routières et ferroviaires en bord de mer s'avère lui aussi essentiel. Une avenue intéressante est la norme néerlandaise préventive d'entretien des digues à tous les 6 ans (INL01, INL05, INL06), qui est une mesure parmi d'autre pour soutenir l'approche légale de gestion du risque (voir section 3.4.1). L'inspection et une série de tests sont obligatoires (résistance, intégrité, etc.). D'ailleurs, la force de résistance est reconnue comme aussi importante que la hauteur des digues (Dutch Water Sector, 2013). Ainsi, des résultats insatisfaisants entraînent automatique une démarche de consolidation de l'ouvrage.

En plus, dans une perspective d'adaptation aux CC, un accommodement vertical (hauteur supplémentaire) est dorénavant ajouté lors de la consolidation. Il est à retenir deux points : 1) reconnaître l'importance d'investir dans les **inspections de routine** pour mieux gérer le risque et 2) utiliser cette procédure pour la **mise à jour technique pour faire face aux changements climatiques**.

Stratégie 47. *Suivi multiple et en continu de la côte.* À l'instar du programme public britannique, créer, soutenir ou contribuer à un programme existant de suivi de l'état de la côte en continu, avec des méthodes diversifiées et avec une équipe de déploiement pour les situations d'urgence.

Stratégie 48. *Normes de fréquence de suivi régulier des infrastructures.* À l'instar des Néerlandais, prévenir le risque en investissant dans un entretien fréquent des infrastructures vitales (au moins au 6 ans) basé sur des inspections de routine et utiliser cette procédure pour la mise à jour technique pour faire face aux changements climatiques.

4.7. **Situations d'urgence**

La disponibilité d'équipes de terrain en cas d'urgence aide à soutenir la résilience, comme l'ont soutenu les intervenants de la région du Languedoc-Roussillon (p. ex. IFR01) et ceux de l'Angleterre (BGS, 2012, voir le point précédent). Le cas du Languedoc-Roussillon est à retenir, où la patrouille nommée « réseau-tempête » est constituée depuis 2011 d'un réseau partenarial d'intervenants de plusieurs organismes, dont le BRGM, la DREAL, le conseil général de l'Hérault et des communautés d'agglomération (BRGM, 2013; IFR01). Le mode de fonctionnement est basé sur une division spatiale du territoire, où 32 stations de mesures fixes ont été réparties sur environ 200 km de côte, ainsi que 3 stations vidéo. Les équipes déployées en cas de surcote procèdent à une prise de données harmonisées. Les autres mandats du réseau se situent dans les outils d'alerte et le partage d'information numérique entre les partenaires.

En Nouvelle-Écosse, lorsque des routes côtières sont endommagées suite à une tempête, des équipes de terrain du Ministère des Transports et du Renouvellement de l'infrastructure interviennent pour effectuer les réparations et éventuellement installer une infrastructure de protection de la route sur la côte dont les plans ont été réalisés à l'interne (McGillis *et al.*, 2010).

Aux États-Unis, les *Local Emergency Planning Committees*, dépendant de l'Agence fédérale des situations d'urgence (*Federal Emergency Management Agency*), ont un volet gestion de l'urgence. Vont ainsi être recensés les routes d'évacuation et les axes de transport dangereux, mais aussi les sites à haut risque (usine dangereuse...), les abris publics, les centres de contrôle et de secours. Ces documents ont été particulièrement efficaces pour l'évacuation des sinistrés dans les États de New-York et du New-Jersey lors du passage de l'ouragan Sandy en 2012.

Au Québec, certains centres de service du MTQ ont mis en place des patrouilles pour assurer la sécurité des usagers de la route. Celle de Sainte-Anne-des-Monts existe depuis 1987 et elle effectue le suivi des chutes de roches et de blocs de glace ainsi que des avalanches dans le nord de la Gaspésie (Gauthier *et al.*, 2012). Ces patrouilleurs effectuent également un suivi du déferlement violent sur la route lors d'avertissement d'ondes de tempête. Un suivi côtier de segments vulnérables est également effectué par le centre de service du MTQ des Îles-de-la-Madeleine. Lors de la tempête majeure du 6 décembre 2010, les différentes équipes du MTQ surveillaient ainsi 130 km de routes côtières en vue d'installer rapidement la signalisation pour détourner la circulation en cas de besoin (St-Amour, 2011). Cependant ces procédures ne sont pas généralisées, ni d'harmonisées entre les différents centres de services et directions territoriales.

Il est également important de prendre en compte l'inter-connectivité du réseau en matière de circulation des véhicules d'urgence, d'accès aux hôpitaux et d'évacuation des sinistrés et la vulnérabilité des routes côtières non reliées au reste du réseau (Fisher, 2011 ; AMEC Environment & Infrastructure, 2012).

Stratégie 49. Déploiement de patrouilles côtières en cas d'aléas majeur. À l'instar de ce qui existe en Nouvelle-Écosse ou dans le Languedoc-Roussillon, intervention systématique juste après des épisodes de submersion côtière, comme pour les équipes d'intervention du MTQ pour les routes soumises aux éboulements au nord de la Gaspésie ou pour les routes des Îles-de-la-Madeleine, avec couverture de l'ensemble de la côte, par secteurs, et collaboration entre les divers ministères ou organismes.

Stratégie 50. Prise en compte du réseau routier dans les plans d'urgence. A l'instar de ce qui est appliqué notamment aux États-Unis, intégrer les routes d'évacuation, les axes de transport dangereux, l'inter-connectivité du réseau en matière de circulation des véhicules d'urgence, d'accès aux hôpitaux et d'évacuation des sinistrés dans les schémas et plans de sécurité civile.

4.8. Partage et diffusion de l'information

Le partage de l'information relative à l'exposition aux risques côtiers avec les autorités locales et les communautés est un élément essentiel. À Terre-Neuve-et-Labrador par exemple, les cartes de risques sur les inondations (pas forcément côtières) réalisées depuis les années 1980 sont systématiquement remises aux différentes instances municipales et provinciales, notamment celles en charge de la planification des transports et de la conception des infrastructures (AMEC Environment & Infrastructure, 2012). Pour le public, de courts ouvrages ou des brochures de vulgarisation intégrant la question des infrastructures de transport peuvent être édités (i.e. Lee et Daigle, 2012 ; Robichaud *et al.*, 2012). À noter qu'en France, la connaissance des risques est obligatoire lors de toute transaction immobilière. Le notaire doit en informer les nouveaux acheteurs, au même titre que la nature du zonage de la propriété acquise (IFR06). Les documents cartographiques des PPRL sont également disponibles et consultables par tout citoyen en mairie.

Plusieurs initiatives sont à signaler dans les provinces Maritimes en matière d'information aux municipalités sur la vulnérabilité des infrastructures routières. Un guide a ainsi été conçu pour sensibiliser les municipalités de Terre-Neuve-et-Labrador aux changements climatiques dans le cadre de la gestion de leurs infrastructures, notamment routières (CBCL, n.d.). Au Nouveau-Brunswick, le manuel de gestion de l'environnement du Ministère des Transports favorise un développement durable du réseau de transport en détaillant les lois et règlements ayant trait à l'environnement et les procédures concernant la planification, le tracé des routes et leur construction (ministère des Transports du Nouveau-Brunswick, 2010). Dans le guide sur la prise en compte du changement climatique dans le développement de projets en Nouvelle-Écosse (Nova Scotia Environment, 2011), il est également stipulé que l'analyse de la vulnérabilité pour un projet de développement doit notamment prendre en compte les éléments qui pourraient être affectés par les changements climatiques, l'accès aux routes est mis en exemple. Au Québec, un guide du MTQ sur l'environnement dans les projets routiers a été édité en 2008 (MTQ, 2008), mais il ne prenait pas en compte les spécificités des zones côtières (érosion et submersion). Lors de sa mise à jour il serait donc intéressant d'y inclure les risques naturels et des changements climatiques comme c'est le cas dans les autres provinces.

Le site internet de la *Federal Highway Administration* recense enfin de nombreux documents concernant les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des infrastructures de transport aux changements climatiques. La mutualisation de l'information entre les différents États américains permet d'améliorer la prise en compte des problèmes spécifiques aux infrastructures routières. Un site web semblable pourrait être imaginé à l'échelle du Québec ou du Canada.

Stratégie 51. *Obligation de communication des connaissances sur les risques naturels.* Sélectionner un mécanisme de divulgation proactive envers les citoyens concernés, telle la communication obligatoire lors d'actes notariés ou la mise à disposition des documents de zonage en mairie.

Stratégie 52. *Réalisation de guides à l'intention des municipalités.* Transmettre l'information sur la vulnérabilité des infrastructures routières aux risques côtiers et aux changements climatiques, en expliquant la réglementation en vigueur et les solutions envisageables en termes d'adaptation.

4.9. Défis à relever

Durant les entrevues, la très vaste majorité des répondants ont mentionné que le prochain défi à relever concernait la concertation à deux échelles : 1) entre les acteurs gouvernementaux et 2) avec les citoyens. En d'autres mots, la perception des citoyens quant aux risques et à la gouvernance, celle des gestionnaires, et leur manière de collaborer mérite de ne pas être prise à la légère ni prise pour acquise, car l'expérience des intervenants rencontrés à l'étranger montre que c'est souvent le point qui fait trébucher les démarches. Par exemple, des perceptions différentes du risque, la confrontation entre les perspectives court et long termes, la résistance au changement et le biais émotif relié à la sécurité ontologique des résidents peuvent entraîner des mésententes sur les réponses à donner (e.g Wakefield et Elliot, 2000). La prise en compte des savoirs locaux, en plus des données scientifiques, permettrait par ailleurs un meilleur diagnostic et meilleure intégration des communautés côtières.

Le Québec gagnerait à développer son expertise dans ce champ particulier en le mettant de l'avant dans les procédures de gestion des risques naturels et en améliorant la diffusion de l'information au public et l'accès aux données. La mise en place de Tables de concertation régionales de GIZC va sans doute permettre une meilleure intégration des différents points de vue en matière de gestion des risques côtiers. Un programme public basé sur des projets pilotes, tels que ceux en cours en France (appel à projet Cousin, voir sections 4.3.6.3 et 4.5.2), peut par ailleurs servir de modèle innovateur pour créer des précédents et une expertise en matière de concertation.

Enfin, la simplification du cadre juridique régissant les zones côtières, en constante évolution, a aussi été mentionnée comme un des prochains défis à relever.

Stratégie 53. *Expertise en concertation.* Développer l'expertise en communication et concertation environnementale entre les acteurs de la zone côtière et avec les populations.

Stratégie 54. *Des projets pilotes à généraliser.* À l'instar de l'appel à projet Cousin en France et du programme *Pathfinder* au Royaume-Uni, élaborer un programme de projets pilotes visant à créer des précédents de concertation impliquant la relocalisation stratégique afin d'élaborer une procédure supportant la relocalisation stratégique en concertation avec les populations.

4.10. Conclusions du chapitre

Dans ce chapitre, un éventail diversifié de stratégies d'adaptation aux risques côtiers a été identifié dans plusieurs pays et classifié, en prenant pour exemple les infrastructures routières mais en élargissant également le propos. Il faut avant tout déterminer le degré d'adaptation retenu et la stratégie de gestion souhaités (protection des infrastructures routières seulement ou réelle adaptation de la circulation). La solution choisie doit ensuite tenir compte du type de côte et être adaptée à l'exposition aux aléas.

D'autres solutions touchant la gouvernance et des aspects transversaux de la gestion des risques naturels s'avèrent également importantes pour réduire la vulnérabilité :

- solliciter une juste diversité d'acteurs à travers des réseaux inter-échelles bien établis ;
- instaurer des règles de financement des solutions équitables entre les échelons nationaux et locaux et suffisantes relativement à l'ampleur de la problématique ;
- mettre en place un système de suivi de la côte et des infrastructures pour assurer l'acquisition itérative de données à jour, y compris des équipes d'urgence pour les situations d'événements extrêmes ;
- instaurer des mécanismes de partage d'information avec les autorités locales et les communautés, notamment la diffusion des cartes de risques et même l'obligation d'en communiquer le contenu lors des transactions immobilières.

Un dernier élément à souligner est le défi relatif au facteur humain. Au-delà de toutes ces stratégies d'ordre technique, légal ou administratif pour répondre à cette problématique complexe, les intervenants rencontrés ont souligné la nécessité de s'intéresser explicitement à la bonne collaboration entre les personnes, tant les autorités que les citoyens. Développer une expertise en matière de concertation et des projets pilotes visant à créer des précédents s'avère une avenue prometteuse et un gage de décisions plus durables.

5. DISCUSSION ET SYNTHÈSE

L'analyse et la synthèse des stratégies d'adaptation des infrastructures routières aux risques naturels côtiers en Europe, mais également en Amérique du Nord, avait pour objectif de proposer au MTQ des recommandations sur les stratégies d'adaptation, les mesures et les solutions d'adaptation potentielles pour les régions côtières de l'Est du Québec. Les analyses effectuées aux chapitres 3 et 4 ont permis d'identifier toute une gamme de solutions à l'échelon national et d'autres issues de la gestion des risques naturels. Il s'agit maintenant de transférer ces savoirs à la lumière de la situation au Québec. Ainsi, cette section aborde les facteurs de vulnérabilité et de résilience du réseau routier les plus pertinents pour le Québec et les recommandations d'adaptation aux échelles nationales et locales.

5.1. Stratégie nationale en matière d'adaptation du réseau routier aux risques côtiers au Québec

5.1.1. *Facteurs de vulnérabilité et de résilience du réseau routier*

Les côtes québécoises sont particulièrement exposées aux aléas côtiers. Elles sont de plus très sensibles aux changements climatiques, en particulier à l'élévation du niveau de la mer, à la réduction du couvert de glace et aux modifications des processus cryogéniques (cycles gel-dégel, redoux hivernaux, coulées boueuses liées au dégel, etc..) ce qui les différencie de la plupart des autres littoraux étudiés dans ce rapport.

Par ailleurs, le plus grand facteur de résilience (diminution de la vulnérabilité) observé dans les études de cas est la présence systématique de voies de contournement dans l'organisation du RR. Or, le RR de l'Est du Québec longe pour une grande partie les côtes (du fait de l'implantation humaine et du milieu bâti qui est également concentré en zone côtière) et les voies de contournement ou le dédoublement du réseau sont donc rares dans un arrière-pays avec une faible occupation anthropique, à l'exception du Bas-Saint-Laurent.

Étant donné l'exposition forte du réseau routier de l'Est du Québec aux aléas côtiers, qui se double d'une forte vulnérabilité, cela justifie que des mesures soient prises pour améliorer sa résilience, d'autant plus dans un contexte de changements environnementaux :

Recommandation 1 : Identifier les segments fortement exposés sans voie de contournement et planifier des alternatives pour deux types de situations : 1) l'occurrence d'épisodes d'érosion ou de submersion affectant le réseau routier et 2) des changements graduels de la dynamique naturelle associés aux impacts des changements climatiques pouvant à terme rendre vulnérable les infrastructures routières.

5.1.2. Évaluation de la vulnérabilité du réseau routier

Un des succès à souligner est la **présence de stratégies nationales de gestion de la vulnérabilité du RR face aux CC**. En particulier, le plan français et la stratégie écossaise sont à citer en exemple. En France, les principales étapes de la stratégie sont : la connaissance de l'état du réseau, l'inventaire des paramètres normatifs pouvant être affectés par les changements climatiques et l'ajustement de ces paramètres.

Étant donné l'absence de tels outils de planification et de gestion au Québec :

Recommandation 2 : D'abord, se doter d'un objectif national explicite de réduction de la vulnérabilité et d'adaptation du réseau routier en zone côtière.

Recommandation 3 : Soutenir cet objectif à l'aide d'outils administratifs opérationnels permettant d'encadrer la gestion du réseau routier, tels une politique ou stratégie nationale et un plan d'action de gestion de la vulnérabilité du réseau routier face aux impacts des changements climatiques, pouvant être incorporés aux Plans régionaux de mobilité durable en transport.

Recommandation 4 : Veiller à ce que la thématique gestion des infrastructures routières, et non seulement les transports dans leur ensemble, soit incorporée aux documents officiels tels que la stratégie gouvernementale d'adaptation aux CC, le PACC, la politique de protection des ZC, des stratégies nationales de GIZC ou sur les risques naturels (à créer),...

D'autres succès en matière de vulnérabilité du réseau routier résidents dans **les documents recensant les impacts potentiels des changements climatiques sur les infrastructures routières, colligeant parfois également la législation en vigueur.**

Peuvent être cités en exemples le guide pour sensibiliser les municipalités de Terre-Neuve-et-Labrador aux changements climatiques dans le cadre de la gestion de leurs infrastructures, notamment routières, le manuel de gestion de l'environnement du ministère des Transports du Nouveau-Brunswick et le guide sur la prise en compte du changement climatique dans le développement de projets en Nouvelle-Écosse. L'approche de gestion participative y occupe une place importante.

Étant donné la responsabilité d'améliorer l'accessibilité sociale des prises de décision en matière de gestion des infrastructures routières :

Recommandation 5 : Réaliser des guides d'information sur la vulnérabilité des infrastructures routières aux risques côtiers et aux changements climatiques à destination des municipalités et, plus globalement, communiquer l'information disponible sur les risques naturels et promouvoir la participation citoyenne dans les groupes de concertation.

5.1.3. Organisation de la gestion

Un autre succès observé à l'échelon national réside dans **la présence d'interfaces multidisciplinaires entre les secteurs ministériels en charge de l'environnement et des transports**. Aux Pays-Bas et en France, le ministère en charge de ces secteurs est commun. Au Royaume-Uni, une collaboration interministérielle associant plusieurs ministères, organismes et autorités locales a permis la rédaction d'une Stratégie britannique de gestion des risques de submersion et d'érosion côtière.

Une réflexion pourrait être menée pour favoriser la collaboration interministérielle comme cela a déjà eu lieu de manière ponctuelle pour le cadre de prévention des sinistres ou le PACC 2013-2020 :

Recommandation 6 : Réfléchir à l'intérêt de la création d'une agence paragouvernementale de l'environnement qui aurait vocation à travailler avec tous les ministères, dont celui des transports, sur des thèmes transversaux, comme la gestion des risques naturels, ou tout du moins favoriser les collaborations interministérielles.

Les stratégies d'adaptation du réseau routier aux risques côtiers doivent être élaborées à différentes échelles de gouvernance, l'enjeu étant local, mais nécessitant également une stratégie nationale, les directions régionales étant appelées à jouer un rôle de liaison entre les deux échelles. Parmi les études de cas, la gestion qui s'accordait le plus avec une gestion durable était **ancrée sur une « échelle pivot », entre le local et le national, où les responsabilités sont clairement définies par thématique, mais où le réseau d'acteurs est suffisamment étroit pour pouvoir transcender les barrières disciplinaires**. Cette approche s'appuie sur les modèles de gestion

multidisciplinaire et inter-échelle située à l'échelle régionale (DREAL) en France, sur la gestion des ouvrages côtiers par les conseils de bassins-versants aux Pays-Bas et sur la planification spatiale intégrée concertée dans le North Norfolk (Royaume-Uni).

Étant donné la diversité des contextes de risques et des réalités régionales au Québec :

Recommandation 7 : Favoriser l'échelle des directions régionales et des centres de service pour la gestion des infrastructures routières, un travail de réflexion et de concertation des DR avec les MRC, qui ont en charge l'aménagement du territoire, pourrait alors être lancé (les Tables de Concertation Régionales de GIZC, qui recourent en partie le territoire des MRC, pourrait également être un échelon de gestion à favoriser).

Étant donné que le succès de cette démarche tient à une collaboration fonctionnelle ;

Recommandation 8 : Développer des réseaux multi-acteurs afin d'encourager la collaboration et la concertation entre les divers ministères au niveau régional.

5.1.4. Approche législative du risque

En matière de gestion du risque, un des succès relevés est l'**approche « législative » du risque, qui consiste à expliciter les seuils de risque, la diminution ou la perte de services acceptables**. Les exemples du Pays-Bas et de la France concernant la gestion de la vulnérabilité du réseau routier sont à souligner :

- les Pays-Bas ont normé le seuil de risque acceptable pour leur protection côtière dans leur cadre législatif;
- dans le secteur Picardie-Normandie, il a été accepté certaines diminutions (p. ex. passage à sens unique et tonnage maximal) ou pertes de services (p. ex. fermeture de certains segments) ;

Étant donné l'absence de réflexion explicite sur le seuil de risque acceptable ou les seuils de diminution/perte acceptable de service du réseau routier dans l'Est du Québec :

Recommandation 9 : Établir explicitement voire normaliser les seuils de risque acceptable ou les seuils de diminution temporaire/perte de services acceptables en matière d'infrastructures de transport.

Des mesures plus générales, qui ne touchent pas spécifiquement le domaine des transports, pourraient également être prise en compte en s'inspirant des modèles étrangers afin d'améliorer la stratégie d'adaptation aux risques côtiers dans un contexte de changements climatiques : obligation légale d'évaluer les risques naturels, méthodologie commune à l'ensemble du territoire, mise à jour

fréquente et institutionnalisée des connaissances sur le trait de côte, grands programmes nationaux de financement avec participation des échelons locaux, appels à projets pilotes dans le domaine de l'adaptation, fonds collectif d'indemnisation, etc.

5.1.5. Gestion basée sur les processus naturels et cellules hydrosédimentaires

À l'image du succès britannique de gestion du milieu côtier laissant libre cours aux processus naturels et pour faire un parallèle avec la gestion actuelle des bassins versants réalisée au Québec, le fonctionnement des unités et des cellules hydrosédimentaires nécessite d'être davantage pris en compte au Québec dans la gestion côtière, afin de respecter la capacité de support des écosystèmes. Les analyses d'impacts des solutions d'adaptation sur la dynamique côtière sont à la base de cette démarche.

Étant donné les interrelations spatiales au sein de chaque unité hydrosédimentaire côtière :

Recommandation 10 : Favoriser l'analyse des impacts des aléas côtiers sur les infrastructures routières à l'échelle des cellules hydrosédimentaires en l'intégrant à d'autres problématiques côtières à cette échelle. Favoriser l'évaluation des solutions d'adaptation (ACA, analyses multicritères, études d'impacts environnementaux, études de faisabilité, etc.) des infrastructures routières et leurs effets sur la zone côtière avec une approche de gestion par unités et cellules hydrosédimentaires.

5.1.6. Gestion intégrée et participative

Au plan de la gestion locale, un des succès à souligner sont les réalisations des « Coastal groups » et des « Regional Flood defence Committees » en Grande-Bretagne.

Étant donné l'importance de la concertation et dans un souci de gestion intégrée;

Étant donné la nécessité d'aller au-delà de la gestion de l'infrastructure par segments, en adoptant une approche systémique, multidisciplinaire et adaptative, fondée sur la gestion de l'intégrité des services rendus par l'infrastructure en tant que réseau :

Recommandation 11 : Intégrer les responsables locaux des transports dans les groupes locaux de gestion, notamment les nouvelles Tables de Concertation Régionales de GIZC, afin de favoriser 1) des stratégies locales de gestion de la vulnérabilité qui s'accordent à la fois avec la gestion routière et la gestion du milieu côtier et 2) un protocole décisionnel relatif au réseau routier de l'Est du Québec basé sur des analyses d'impacts qui tiennent compte des interactions entre le réseau routier et le milieu côtier.

5.1.7. Suivi de la côte

En matière de surveillance, le **système de suivi complet du trait de côte du *British Geological Survey* à l'aide de différentes techniques, avec une récurrence d'au moins 3 ans**, est à souligner.

Une autre réussite relevée consiste en la **présence d'équipes de terrain intervenant rapidement en cas de sinistres et de situations d'urgence** : « réseau-tempête » en Languedoc-Roussillon (partenariat de plusieurs organismes), équipe du *British Geological Survey* (glissements de terrain côtiers), équipes du ministère des Transports en Nouvelle-Écosse (aléas côtiers) et du ministère des Transports du Québec (section des mouvements de terrain du Service de la géotechnique et de la géologie lors d'urgence de mouvements de terrain; patrouille des roches en Gaspésie qui suit les éboulis côtiers).

Étant donné la nécessité d'aborder conjointement les aspects routiers et côtiers;

Étant donné l'importance de l'enjeu au Québec (quelques centaines de kilomètres de réseau routier exposé) ;

Étant donné le besoin de connaître l'état précis de l'exposition des infrastructures routières aux risques côtiers afin de prendre des décisions adaptées :

Recommandation 12 : Consolider ou se doter, le cas échéant, d'une expertise côtière dans les directions territoriales et les centres de services, en développant également les collaborations avec des experts en dynamique côtière extérieurs au MTQ ou des aménagistes au sein des MRC.

Recommandation 13 : Réaliser ou faire réaliser un suivi en continu du trait de côte et une mise à jour régulière de la position du trait de côte le long des infrastructures menacées.

Recommandation 14 : Déployer des patrouilles côtières en cas d'aléas majeurs sur le terrain.

5.1.8. Situations d'urgence

Au plan des services fournis par le réseau de transport, la déserte en cas d'urgence est vitale vu l'organisation du RR dans l'Est du Québec. À ce chapitre, un des succès identifié réside dans les **Plans d'urgence mis en place par les *Local Emergency Planning Committees* aux États-Unis.**

Étant donné le rôle primordial joué par les infrastructures routières en cas de situation d'urgence ou de sinistre :

Recommandation 15 : Veiller à la prise en compte du réseau routier dans les plans d'urgence et schémas de sécurité civile, à la fois en matière d'axes prioritaires (routes d'évacuation, de transport dangereux, d'accès aux hôpitaux, d'évacuation des sinistrés...) et d'inter-connectivité du réseau (exposition à l'isolement).

Recommandation 16 : Créer et consolider des stratégies pour la gestion des situations d'urgence, avec une organisation décentralisée.

5.2. Mesures et solutions d'adaptation potentielles en contexte local

Outre la mise en place de stratégies, à l'échelle nationale, régionale ou locale, des mesures peuvent être prises afin de diminuer la vulnérabilité des infrastructures routières. La comparaison avec d'autres pays nous montre que ces solutions peuvent être efficaces et adaptées à la réalité québécoise, d'autres avoir un impact limité.

5.2.1. Protection des infrastructures routières

De nombreuses solutions afin de protéger la zone côtière et les enjeux qui s'y trouvent, en particulier les routes littorales, ont été testées de par le monde (Charlier *et al.*, 2005). Parmi les échecs relevés, il y a **l'endettement local massif en France pour des solutions non adaptées, où des dispositifs techniques de protection à base de batteries d'épis notamment ont déséquilibré toute une cellule hydrosédimentaire et ont mené à la quasi faillite de deux municipalités (Ault, Criel-sur-mer).**

Pour soutenir la sélection des solutions en contexte de changements climatiques, le **relevé détaillé des paramètres de construction, de calibration ou d'entretien des infrastructures de transports qui pourraient être affectées par les tendances climatiques (variables hydroclimatiques ou météo-marines)** a été réalisé avec efficacité par la DGITM française.

Sinon, de manière générale pour les côtes basses, un des succès à souligner est de **miser sur l'accommodation verticale contre la submersion**, comme aux Pays-Bas lors de l'entretien de routine des structures de protection contre la submersion pour prendre en compte l'élévation du niveau de la mer.

Un autre succès qui renforce le choix de solutions respectant le milieu qui soutient l'infrastructure est **la recommandation officielle de l'Agence environnementale du Royaume-Uni de privilégier les solutions côtières autre que les ouvrages de protection (enrochement, mur, digue, épis, etc.) qui s'harmonisent ou renforcent les processus naturels**. Dans cette même lignée, la réussite **des recharges de sable du Pays-Bas ou de galets en Picardie** est à signaler : elles ont limité l'érosion de la côte et protégé les infrastructures routières.

Étant donné la présence de nombreux enrochements, murs et murets de béton ou de pierre au Québec protégeant les routes de l'érosion côtière ;

Étant donné l'importance de ces structures pour la protection d'autres enjeux ;

Étant donné l'impact négatif que peuvent avoir ces structures sur le bilan sédimentaire des plages (abaissement du haut de plage au pied de l'enrochement), l'exposition à l'érosion pour les terrains non protégés contigus (« effet de bout ») et l'exposition à la submersion côtière (moindre atténuation des vagues notamment en raison de l'abaissement de la plage), ainsi que leur coût ;

Étant donné l'efficacité de nombreuses solutions douces lorsque la route n'est pas située directement le long de la ligne de rivage ;

Étant donné la disponibilité au Québec de sédiments, notamment terrestres (dépôts quaternaires), mais aussi les sédiments de dragage non contaminés (port, chenaux...), pour la recharge des plages en érosion ;

Étant donné les nombreuses solutions innovantes, dont certaines sont encore peu connues, non expérimentée ou en développement :

Étant donné les principes de gestion recommandés ci-haut :

Recommandation 17 : Évaluer l'utilisation des infrastructures de protection (enrochements, murets, revêtements, digues, épis, brise-lames, barrières estuariennes anti-submersion, revêtements géotextile sur les falaises rocheuses, clôtures de réception des débris, etc.) en concertation avec l'ensemble des usagers du secteur, en analysant les conséquences à l'échelle de la cellule hydrosédimentaire.

Recommandation 18 : De manière générale, éviter la construction de nouveaux enrochements sur les côtes basses sablonneuses.

Recommandation 19 : Prendre en compte les impacts des changements climatiques sur les aléas côtiers dans la calibration des ouvrages (normes évolutives, ajustement vertical de la hauteur des infrastructures de protection nécessaires en fonction de l'élévation du niveau de la mer, rehaussement des routes, pratiques d'entretien adaptées avec fréquence de suivi régulier...).

Recommandation 20 : Favoriser les solutions côtières douces ou non structurelles (replantation de milieux dunaires ou de front de terrasse de plage, rechargement de plage, ganivelles, ...) en partenariat avec le milieu.

Recommandation 21 : Adopter des stratégies locales et des techniques en harmonie avec l'évolution naturelle prévue selon le type de côte et tenir compte des effets sur toute une cellule hydrosédimentaire.

Recommandation 22 : Privilégier la résilience naturelle de la côte.

Recommandation 23 : Évaluer le potentiel de solutions innovantes comme les boudins géotextiles ou le système Écoplage® ou récifs artificiels en climat froid et selon divers types de milieu.

5.2.2. *Acceptation d'une baisse ou d'une interruption de service*

Dans certains cas, l'exposition à l'érosion côtière ou la submersion marine est trop importante pour que les solutions techniques, qu'elles soient structurelles ou non, soient suffisantes. Dans ce cas, les gestionnaires des infrastructures routières doivent procéder à une baisse de service, temporaire ou permanente, voire à une interruption totale du service, la route pouvant être relocalisée dans un secteur moins vulnérable. Les exemples restent encore relativement peu nombreux, mais dans un contexte de changements climatiques et de recrudescence des risques côtiers, ces solutions pourraient être envisagées à l'avenir pour le MTQ comme ce fut le cas à quelques reprises sur la Côte-Nord ou bien dans la baie des Chaleurs.

En cas d'interruption temporaire en raison d'un événement de submersion ou d'inondation, soulignons **le potentiel des réservoirs de stockage à Rotterdam, Pays-Bas.**

Au plan de la gestion de la circulation durant des événements, un des succès communs aux pays européens réside dans la **signalisation d'aléas de façon temporaire en France, au Royaume-Uni et aux Pays-Bas.**

Étant donné « l'étranglement côtier » (*coastal squeeze*) généré par la tendance à l'installation d'enjeux au plus près de la ligne de rivage et, entraînant par conséquent l'incapacité du milieu naturel à migrer latéralement en fonction de la hausse du niveau de la mer ;

Étant donné la réalité de l'impact des changements climatiques sur les aléas côtiers :

Recommandation 24 : Conserver un espace tampon ou de liberté entre les infrastructures et la ligne de rivage.

Recommandation 25 : Réserver certains espaces non urbanisés, notamment à proximité de zones urbaines et d'infrastructures routières d'importance, en terrain bas ou proche d'un estuaire, à la réception du trop-plein d'eau en cas d'épisode de submersion.

Recommandation 26 : Développer la signalisation temporaire annonçant la survenue d'aléas naturels.

Dans la situation où les aléas deviennent trop fréquents ou intenses, l'acceptation d'une baisse de service ou d'une modification majeure à l'infrastructure s'impose. Une solution en cas d'aléas affectant de manière graduelle (érosion) ou fréquemment le milieu est **la transformation d'une voie en sens unique, comme cela a été observé en France, tant en bordure de falaise que derrière un système dunaire.**

Lorsque le retranchement d'une voie n'est pas suffisant et que les dommages sont récurrents, il est possible de **reculer la route, comme cela a été fait avec succès à Slapton Sands et Marseillan en milieu de côte basse. À Ault, en sommet de falaise habitée, la relocalisation stratégique des infrastructures routières a été intégrée à la planification urbaine, en concertation avec la population.** Au Québec on peut également citer quelques exemples tels qu'à Longue-Rive et à l'ouest de Forestville où la route 138 a été déplacée et où l'ancien tracé est maintenant une piste cyclable.

Étant donné la nécessité de maintenir le service de transport malgré les aléas ;
Étant donné l'inefficacité des mesures de protection lorsque l'exposition aux aléas côtiers est trop importante :

Recommandation 27 : Bloquer temporairement une voie, toutes les voies ou les voies attenantes pour protéger la voie principale, avec une signalisation adaptée en cas d'épisode de submersion ponctuel.

Recommandation 28 : Retrancher une voie et diversifier les accès (intermodalité) dans le cas d'un recul de la ligne de rivage sans possibilité de recharge.

Recommandation 29 : Limiter ou bloquer totalement l'accès à la route en cas d'exposition trop importante aux aléas côtiers.

Recommandation 30 : Relocaliser la route de façon temporaire ou permanente pour faire face aux événements inévitables.

Recommandation 31 : Relocaliser l'ensemble des enjeux par planification urbaine et de façon graduelle là où l'érosion ou la submersion est inévitable à brève échéance.

Recommandation 32 : Dépoldériser certains milieux submersibles qui ont été artificialisés comme les aboiteaux du Bas-Saint-Laurent.

L'absence de possibilités de contournement pour certaines routes côtières au Québec pose problème. Dans certains cas, la topographie de l'arrière-côte limite les possibilités de construction de nouvelles routes. Dans d'autres c'est la forte densité du milieu bâti et les coûts d'expropriation qui peuvent être des obstacles à un contournement. Par ailleurs, cette solution est coûteuse (10 M€/km pour la route au lido de Sète par exemple).

Lors des entrevues avec les gestionnaires européens, suite à l'exposition de la situation québécoise, une réaction fréquente fut de questionner la pertinence d'élaborer du transport nautique et des ouvrages d'arts (tunnels, ponts). Ces solutions alternatives pourraient être envisagées, mais elles posent le problème, dans le premier cas, de la difficulté d'acceptabilité sociale d'une perte de service de qualité avec haute fréquence de circulation et, dans le second cas, des coûts de construction.

5.2.3. Le choix de la solution adaptée

De nombreux critères interviennent dans le choix de la solution la plus adaptée pour limiter la vulnérabilité des infrastructures routières. Des méthodologies recherchées ont été développées dans plusieurs pays européens. Le premier succès à mentionner est **la cascade adaptative de scénarios d'utilisation du sol dans le Norfolk, où les différentes solutions évoquées ci-haut sont orchestrées à travers le temps afin d'éventuellement redonner au milieu sa dynamique naturelle, tout en prenant en compte des seuils critiques dans certains paramètres hydroclimatiques (trajectoires décisionnelles).**

Les méthodologies d'Analyse Coûts-Avantages (ACA) complètes et les analyses multicritères mises en place avec succès en France et au Royaume-Uni sont aussi à souligner, en particulier la reconnaissance d'une méthodologie commune et reconnue pour y arriver.

Étant donné le caractère inéluctable de l'érosion côtière et de la submersion des terrains bas dans un contexte d'élévation du niveau marin ;

Étant donné le souci de l'intérêt public, notamment lors de l'utilisation de fonds publics;

Étant donné la nécessité de donner le temps aux populations de se faire à l'idée que des mesures inévitables seront réalisées :

Recommandation 33 : Élaborer des cascades adaptatives pour les endroits les plus problématiques, mais où la sécurité des personnes n'est pas encore menacée, en concertation avec les populations locales.

Recommandation 34 : Proposer une méthodologie d'Analyse Coûts-Avantages normée pour les projets d'adaptation dans la zone côtière, en choisissant une base de référence en matière de valorisation des services écosystémiques et des valeurs intangibles.

Recommandation 35 : Produire des trajectoires décisionnelles pour les différents types d'infrastructures pour chacun des aléas et dans le cas des conjonctions d'aléas (submersion, érosion, mouvement de terrain), selon leur évolution projetée ou possible et selon le type de côte.

Recommandation 36 : Analyser en amont du processus de prise de décision, la pertinence d'un projet de réduction de la vulnérabilité d'une infrastructure routière, par le biais d'une analyse multicritères, d'une ACA et/ou de la méthode des trajectoires décisionnelles.

Quelle que soit la méthode retenue, il convient de se poser la question du véritable enjeu qui sous-tend la gestion des routes côtières. Si la réponse est simplement l'intégrité du réseau routier, les coûts de protection ou de relocalisation durable excéderont rapidement les bénéfices dans la balance. Par contre, si l'échelle de gestion est re-située autour des services immédiats et à long terme rendus par le RR (les enjeux d'occupation du territoire et de desserte en cas de situations d'urgence), alors les justifications et les bénéfices peuvent excéder les coûts.

Cependant, pour arriver à une telle conclusion, ce n'est pas seulement le MTQ qui doit se positionner en faveur d'une réduction de la vulnérabilité du RR, mais bien l'ensemble du gouvernement et, au-delà, l'ensemble de la société, qui doit reconnaître la nécessité de s'adapter aux réalités des changements climatiques et se poser la question des dépenses que la collectivité est prête à consacrer à l'adaptation de notre RR aux CC, pour nous et les générations à venir.

5.3. Synthèse

La figure 15 synthétise l'ensemble des recommandations et stratégies clés proposées dans le cadre de cette étude.

Au final, il ressort que pour réduire la vulnérabilité du réseau routier, **il faut éviter le *statu quo* et agir sur plusieurs dimensions en même temps, en créant un « portefeuille de solutions d'adaptation » :**

- **définir une intention de gestion respectant une vision globale,**
- **réfléchir sur le cadre et le mode de mise en œuvre à l'échelle nationale, produire suffisamment de connaissances sur l'infrastructure et le milieu la supportant,**
- **réfléchir sur le niveau d'adaptation désiré relativement au service fourni par le réseau de transport,**
- **effectuer l'évaluation itérative des solutions et assurer un suivi des infrastructures, mais aussi du processus décisionnel.**

En somme, réduire la vulnérabilité du réseau signifie agir à trois échelles principales :

- **assurer la robustesse de l'infrastructure;**
- **favoriser les processus naturels dans le milieu supportant l'infrastructure;**
- **et doter la société la supportant et bénéficiant des services d'un cadre légal explicite et d'un processus décisionnel en concertation avec les collectivités.**

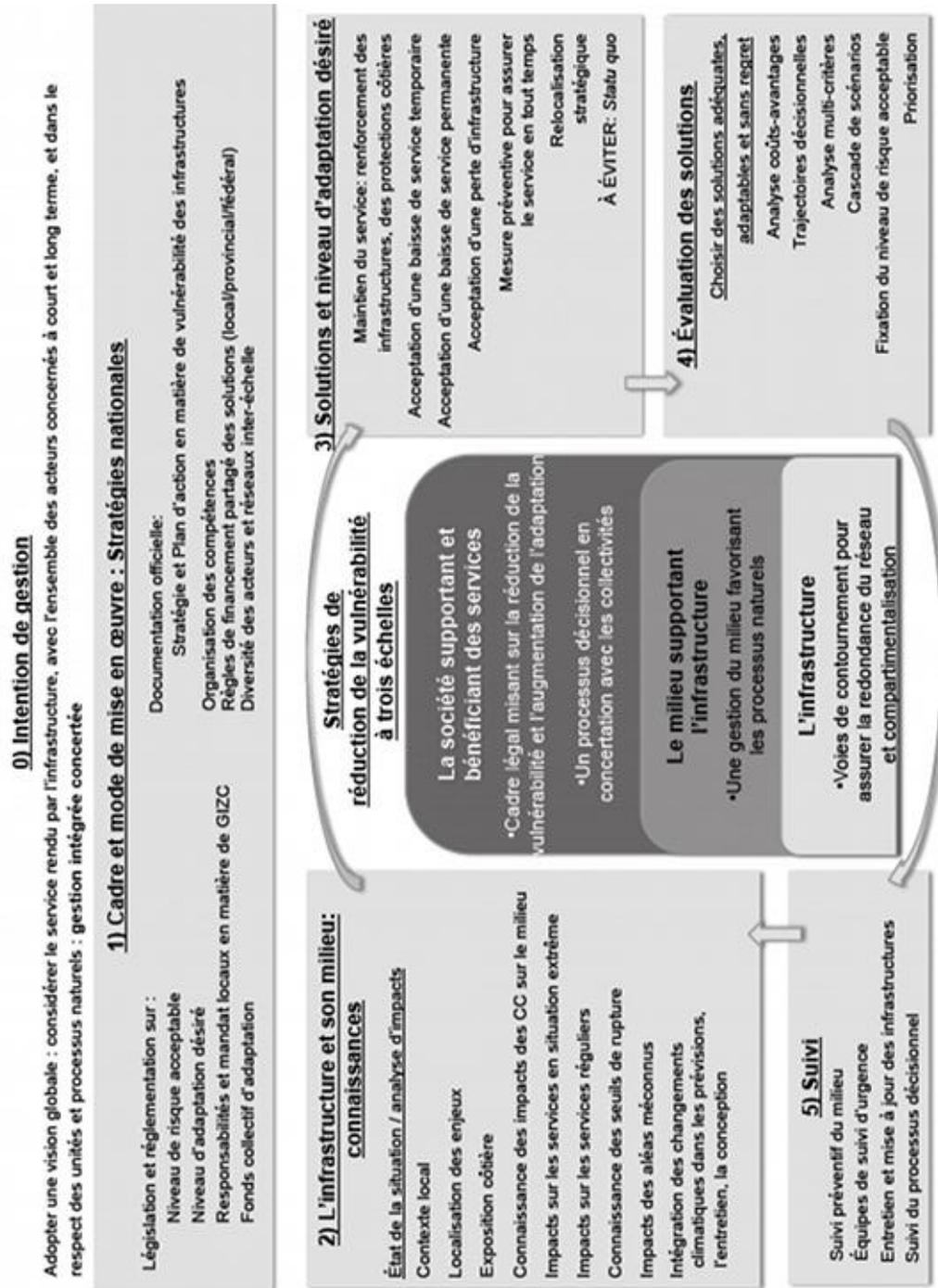


Figure 15 Synthèse des stratégies de réduction de la vulnérabilité des infrastructures de transport en zone côtière dans un contexte de changements climatiques

6. CONCLUSION GÉNÉRALE

Pour répondre à la demande du ministère des Transports du Québec visant à réaliser l'inventaire des solutions d'adaptation et de réduction de la vulnérabilité du réseau routier situé en zone côtière, une recherche documentaire dans plusieurs pays européens et en Amérique du Nord a été effectuée, combinée à des entrevues et visites de terrain en France, au Royaume-Uni et aux Pays-Bas. Une analyse bibliométrique dans les stratégies nationales d'adaptation aux risques côtiers a aussi permis de mettre en lumière les différentes conceptions du champ de « l'adaptation des transports ».

En somme, il apparaît que l'éventail des solutions d'adaptation est très diversifié et qu'elles doivent être adaptées aux aléas du milieu concerné. Les solutions pour réduire la vulnérabilité ont été classifiées en deux grandes catégories : les solutions à l'échelon national (chapitre 3) et celles à l'échelon local et régional (chapitre 4).

À l'échelle d'un site problématique, l'analyse révèle que le facteur déterminant réside dans le choix du degré d'adaptation et la stratégie de gestion souhaités (réduction de l'aléa seulement ou réelle adaptation de la circulation routière). À ce chapitre, les solutions offrant le plus grand potentiel de réduction de la vulnérabilité du réseau routier diffèrent selon le type de côte.

Dans les milieux de côtes basses elles sont de quatre types :

- surélever graduellement les infrastructures côtières présentes au fur et à mesure de l'élévation du niveau de la mer (accommodation verticale contre la submersion),
- mettre en place des solutions non structurelles (p. ex. recharge en sable) pour les côtes en érosion,
- faire le choix de la baisse de service temporaire au moment d'épisodes de submersion,
- faire le choix de la baisse de service permanente, avec relocalisation de la route, notamment lorsque l'exposition à la submersion se double d'une érosion rapide.

Pour les côtes à falaise, les meilleures solutions pour réduire la vulnérabilité des routes côtières à l'érosion sont :

- le retrait stratégique de la route lorsque la vulnérabilité est trop importante et que cela est possible
- le maintien du trait de côte *via* des méthodes douces (replantation, rechargement, drainage...) lorsque cela est possible et que les infrastructures ne sont pas trop proches.
- le maintien temporaire de la route par un ouvrage de protection dont la conception tient compte des changements climatiques, de la hausse

appréhendée du niveau de la mer et des événements extrêmes. Dans ce dernier cas, une étude complète et un suivi régulier de la morphodynamique au sein la cellule hydrosédimentaire doivent être menés et il faut s'assurer que le type d'ouvrage n'entraîne pas de conséquence majeure sur l'ensemble des enjeux et usages dans la zone côtière.

De manière générale, le principe de maintien ou de régénération des processus naturels est, à long terme, la meilleure protection contre les aléas. **Il est ainsi recommandé de mener une réflexion explicite sur le degré d'adaptation désiré, d'adopter un principe de maintien des processus naturels et de choisir des solutions qui sont en accord avec les types de côtes et d'aléas.**

Dans tous les cas, la succession de conditions changeantes à travers le temps incite à un nouveau mode de gestion, une « cascade de scénarios », où des stratégies sont explicitement choisies pour le court, moyen et long terme (à l'instar des stratégies britanniques). Ces stratégies peuvent suivre des trajectoires décisionnelles en fonction de certains seuils climatiques ou environnementaux. C'est une gestion qui doit s'adapter à la variabilité des conditions météo-marines et d'acceptation sociale du risque. Appliquée au domaine des transports, l'approche de « cascade de scénarios » s'inscrit dans la perspective, déjà mise de l'avant actuellement, où les routes côtières sont considérées pour leur utilité globale pour les communautés, tant pour le transport (personnes, marchandises, vecteur économique), y compris en situation d'urgence, qu'en termes d'occupation du territoire. La succession de stratégies permet ainsi aux communautés de se projeter dans le temps, de se faire à l'idée que des changements sont probables non seulement dans leur environnement, mais aussi dans leur qualité de vie, tout en étant rassurées quant à leur sécurité et bien-être à court, moyen et long terme. **Ainsi, il est également recommandé d'adapter cette approche de gestion en « cascade de scénarios » au domaine de l'adaptation des transports routiers dans l'Est du Québec.**

Cependant, pour envisager l'élaboration de telles solutions au Québec, sur des distances nettement plus importantes que celles des pays européens, il apparaît nécessaire de créer un cadre national de gestion qui favorise l'adaptation des transports. Les résultats montrent que les stratégies officielles en adaptation des transports ont tendance à se limiter aux objectifs de réduction de GES et aux habitudes de mobilité des populations, tout en occultant une réelle adaptation (dans le sens de modification du service) des infrastructures et services de transport. **Il est donc recommandé de se doter d'un objectif national explicite de réduction de la vulnérabilité et d'adaptation du réseau routier en zone côtière.**

Pour y arriver, un soutien et une coordination sont essentiels de la part du gouvernement central et de ses ministères et organismes. En particulier, il semble prioritaire d'injecter des ressources supplémentaires à l'échelon régional ou municipal, comme dans les programmes *Pathfinder* au Royaume-

Uni ou l'appel à projet Cousin en France. La mise en œuvre de la Politique québécoise de sécurité civile (2014-2024) et la stratégie gouvernementale d'adaptation aux changements climatiques (2013-2020) pourraient jouer un rôle critique à ce chapitre.

De plus, la coordination de la circulation routière, tant lors d'événements de tempête que pour intégrer des changements permanents en lien avec les aléas côtiers, implique une communication efficace entre le réseau provincial et les réseaux municipaux. Le développement des réseaux d'acteurs inter-échelle apparaît donc comme un levier important dans la réduction de la vulnérabilité des services routiers. Bien que nécessaire, cette concertation des acteurs, incluant les communautés, est néanmoins perçue comme un défi de taille par la majorité des intervenants rencontrés.

Développer l'expertise québécoise en concertation interdisciplinaire en environnement pourrait être la clé pour dénouer cet obstacle. **Il est ainsi recommandé de développer les réseaux de collaboration inter-échelle et l'expertise de concertation environnementale pour soutenir la fonctionnalité de tels réseaux.** L'organisation régionale de la sécurité civile qui regroupe déjà des représentants régionaux des ministères et organismes du gouvernement du Québec pourrait être une amorce pour développer un tel réseau.

Enfin, la réduction de la vulnérabilité du réseau routier côtier dans l'Est du Québec est un objectif complexe qui mérite une solution d'adaptation qui réponde à cet état de fait. Autrement dit, la meilleure stratégie de réduction de la vulnérabilité semble **d'éviter le *statu quo*** et d'agir à plusieurs échelles en simultané, pour créer un « portefeuille » de solutions. En effet, des stratégies visant tant l'échelon national, que l'intégrité de l'infrastructure et du service de transport au niveau local, le milieu supportant l'infrastructure et les divers acteurs assumant les coûts et profitant du bénéfice de l'infrastructure, peuvent contribuer à réduire la vulnérabilité et augmenter la résilience du système.

7. RÉFÉRENCES

À noter que tous les liens vers internet de la liste suivante étaient à jour en date d'avril 2014.

AMEC Earth & Environmental (2011) Climate Change Adaptation Measures for Greater Moncton Area, New Brunswick, ACASA, 98 p. + annexe, http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca/acasa/files/Adaptation_Measures_Greater_Moncton-2011.pdf

AMEC Environment & Infrastructure (2012) Flood Risk and Vulnerability Analysis Project, ACASA, 174 p. + annexes, <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca/acasa/files/Flood%20Risk%20&%20Vulnerability%20Analysis%20Project,%20NL.pdf>

ANDERIES, J. M., JANSSEN, M. A., et OSTROM, E. (2004) A framework to analyze the robustness of socioecological systems from an institutional perspective. *Ecology and Society*, 9(1), 18 p.

AUBÉ, M., KOCYLA, B. (2012) Adaptation aux changements climatiques : planification de l'utilisation du territoire à Shippagan, Le Goulet et Bas-Caraquet. ACASA, 62 p., <http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca/acasa/files/Pe%CC%81ninsule-acadienne-Accompagnement%20des%20municipalite%CC%81s-planification%20du%20territoire-IRZC-2012.pdf>

ANDREW, J.S. (2003) Potential application of mediation to land use conflicts in small-scale mining. *Journal of Cleaner Production*, 11, p. 117-130.

BGS – British Geological Survey (2012) Coastal Erosion. UK Geohazard Note. British Geological Survey, consulté 2013/12, <http://www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=2495>

BERNATCHEZ, P. ET DUBOIS, J.M.M (2008). Seasonal Quantification of coastal Processes and cliff Erosion on fine sediments shoreline in a Cold Temperate Climate, Ragueneau Region, Quebec. *Journal of Coastal Research*, 24, p. 169-180.

BERNATCHEZ, P. et FRASER, C. (2012) Evolution of Coastal Defence Structures and Consequences for Beach Width Trends, Québec, Canada. *Journal of Coastal Research*, 28(6), p. 1550-1566.

BERNATCHEZ, P., FRASER, C., FRIESINGER, S., JOLIVET, Y., DUGAS, S., DREJZA, S. et MORISSETTE, A. (2008) Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques. *Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières*, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 256 p.

BERNATCHEZ, P., FRASER, C., LEFAIVRE, D. ET DUGAS, S., (2011a) Integrating anthropogenic factor, geomorphological indicators and local knowledge in the analysis of coastal flooding and erosion hazards. *Oceans and Coastal Management*, 54, p. 621-632.

BERNATCHEZ, P., JOLIVET, Y., CORRIVEAU, M. (2011b) Development of an automated method for continuous detection and quantification of cliff erosion events. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36, p. 347-362.

BERNATCHEZ, P. BOUCHER-BROSSARD, G., ET SIGOUIN-CANTIN, M. (2012) *Contribution des archives à l'étude des événements météorologiques et géomorphologiques causant des dommages aux côtes du Québec maritime et analyse des tendances, des fréquences et des temps de retour des conditions météo-marines extrêmes*. Chaire de recherche en géoscience côtière, Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec, 140 p.

BERNATCHEZ, P., QUINTIN, C., FRASER, C., NEUMEIER, U., JOLIVET, Y., HOUDE-POIRIER, M., HÉTU, B., GIBEAULT, C., BOUCHER-BROSSARD, G. ET MARIE, G. (2013) *Dynamique de l'écosystème côtier de la péninsule de Penouille dans un contexte de changements climatiques, Parc national du Canada Forillon : Rapport final*. Rapport remis au Parc national du Canada Forillon. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski, mai 2013, 410 p.

BOYER-VILLEMAIRE, U., BENAVENTE, J., COOPER, A., BERNATCHEZ, P. (2014) Analysis of power distribution and participation in sustainable natural hazard risk governance: a call for active participation. *Environmental Hazards*. vol. 13, n° 1, p. 38-57.

BRGM – Bureau de recherches géologiques et minières (2013) Réseau Tempête sur le littoral du Languedoc-Roussillon. BRGM, consulté 2013/12, <http://www.brgm.fr/content/reseau-tempete-sur-littoral-languedoc-roussillon>

BUREAU DES RISQUES MÉTÉOROLOGIQUES - MEDDE (2012) Mise en œuvre de la directive européenne relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondations : Spécifications minimales pour l'élaboration de la cartographie des surfaces inondables et des risques. NOR : DEVP1228419C. République française, 54 p., http://circulaire.legifrance.gouv.fr/pdf/2012/08/cir_35706.pdf

CATTO, N.R., EDINGER, E., FOOTE, D., KEARNY, D., LINES, G., DEYOUNG, B. et LOCKE, W. (2006) Storm and Wind Impacts on Transportation, SW Newfoundland. Report to Natural Resources Canada, Climate Change Impacts and Adaptations Directorate, 157 p., http://www.mun.ca/geog/research/CCIAP_Project_A_804.pdf

CBCL (n.d.) Managing Municipal Infrastructure in a Changing Climate. Municipalities Newfoundland and Labrador, 48 p., <http://www.municipalnl.ca/userfiles/files/DEC-00306-Infrastructure%20Workbook%20%28Web-Email%20Quality%29.pdf>

CEPRI – Centre Européen de prévention de Risque d'Inondation (2011) L'ABC (analyse coût-bénéfice) : Une aide à la décision au service de la gestion des inondations : Guide à l'usage des maîtres d'ouvrage et de leur partenaire, 42 p., http://www.cepri.net/tl_files/pdf/guideacb.pdf

CHARLIER, R.H., CHAINEUX, M.C.P., MORCOS, S. (2005) Panorama of the History of Coastal Protection. *Journal of Coastal Research*, 21(1), p. 79-111.
CIA – Central Intelligence Agency (2013) The World Factbook: Coastline. Consulté 2013/11, <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2060.html>

CDRNM – Commission départementale des risques naturels majeurs de l'Eure (2011) Le fonds de prévention des risques naturels majeurs dit « Fonds barnier »: Les mesures subventionnables destinées aux particuliers et aux collectivités. Éditeur: DDTM de l'Eure, consulté, 03/2013, 6 p., http://www.eure.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/synthese_fonds_barnier-2_cle51de78.pdf,

COMMISSION EUROPÉENNE (2006) Guide méthodologique pour la réalisation de l'analyse coûts-avantages : Document de travail no. 4. Site de la Commission européenne, Consulté 2013/12, 24 p., http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docoffic/2007/working/wd4_cost_fr.pdf

COSTA, S., DELAHAYE, D., FREIRÉ-DIAZ, S., DI NOCERA, L., DAVIDSON, R. et PLESSIS, E. (2004) Quantification of the Normandy and Picardy chalk cliff retreat by photogrammetric analysis. *Engineering Geology Special Publications*, 20, p. 139-148.

COUSIN, A. (2011) Propositions pour une stratégie nationale de gestion du trait de côte, du recul stratégique et de la défense contre la mer, partagée entre l'État et les collectivités territoriales : Le Grenelle de la Mer, Gouvernement de la France, 61 p.

DAWSON, R.J., BALL, T., WERRITTY, J. WERRITTY, A., HALL, J.W., ROCHE, N. (2011) Assessing the effectiveness of non-structural flood management measures in the Thames Estuary under conditions of socio-economic and environmental change. *Global Environmental Change*, 21, p. 628-646.

DEFRA (2009) Appraisal of flood and coastal erosion risk management : A Defra policy statement. DEFRA, London, 47 p.
<http://archive.defra.gov.uk/environment/flooding/documents/policy/guidance/erosion-manage.pdf>

DEFRA (2012) Coastal Change Pathfinder Review : Final Report. DEFRA : Flood Management Team, London, 344 p.,
www.defra.gov.uk/publications/2012/03/08/pb13720-coastal-pathfinder-review/

DE ROMILLY ET DE ROMILLY LIMITED, DILLON CONSULTING LIMITED, ALAN BELL ENVIRONMENTAL SERVICES, CAMERON CONSULTING et ENVIRONNEMENT CANADA (2005) Adapting to a Changing Climate in Nova Scotia: Vulnerability Assessment and Adaptation Options, Final Report. 81 p.,
http://www.climatechange.gov.ns.ca/files/02/77/Adapting_to_a_Changing_Climate_in_NS.pdf

DE RUIG, J.H.M. (1998) Coastline management in The Netherlands: human use versus natural dynamics. Journal of Coastal Conservation, 4, p. 127-134.

DIETZ, S. et NEUMAYER, E. (2007) Weak and strong sustainability in the SEEA: Concepts and measurement. Ecological Economics, 61, p. 617-626.

DOODY, J.P. (2004) 'Coastal squeeze' – an historical perspective. Journal of Coastal Conservation, 10, 1p. 29-138.

DREJZA, S., FRIESINGER, S. et BERNATCHEZ, P. (2014). Vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques : Caractérisation des côtes, dynamique hydrosédimentaire et exposition des infrastructures routières à l'érosion et à la submersion, Est du Québec, Rapport final, Volume I, Projet X008.1. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Remis au ministère des Transports du Québec, septembre 2014, 226 p. + annexes.

DUTCH WATER SECTOR (2013) Dutch and German dike experts held post flood field investigation along Elbe river, Germany. Dutch Water Expertise : News, édition 2013/07/04, consulté 2013/12,
<http://www.dutchwatersector.com/news-events/news/6639-dutch-and-german-dike-experts-held-post-flood-field-investigation-along-elbe-river-germany.html>

ENVIRONMENT AGENCY (2010) Working with Natural Processes to Manage Flood and Coastal Erosion Risk : A guidance document. Environment Agency, Almondsbury, Royaume-Uni, 74 p.

ENVIRONMENT AGENCY (2012) Greater working with natural processes in flood and coastal erosion risk management: A response to Pitt Review Recommendation 27. Environment Agency, Welsh Government, Natural England, Countryside Council for Wales, DEFRA, National Trust, The Wildlife Trusts, RSPB, The River Restoration Center, rapport Bristol, GEHO0811BUCI-E-E, 43 p. <http://a0768b4a8a31e106d8b0-50dc802554eb38a24458b98ff72d550b.r19.cf3.rackcdn.com/geho0811buci-e-e.pdf>

ERNST AND YOUNG (2008) Analyse coûts-avantages de l'opération de protection et d'aménagement durable du Lido de Sète à Marseillan – Projet Lido : Rapport final. Communauté d'Agglomération du Bassin de Thau, Ballaruc-Les-Bains, 109 p. + annexes

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (2012) Climate Change & Extreme Weather Vulnerability Assessment Framework, US Department of Transportation, Publication FHWA-HEP-13-005, 52 p., http://www.fhwa.dot.gov/environment/climate_change/adaptation/resources_and_publications/vulnerability_assessment_framework/fhwahep13005.pdf

FISHER, G. (2011) Municipal Climate Change Action Plan Guidebook. Service Nova Scotia and Municipal Relations and the Canada-Nova Scotia Infrastructure Secretariat under an Agreement on the Transfer of Federal Gas Tax Funds, 31 p., <http://www.nsinfrastructure.ca/pages/Municipal-Climate-Change-Action-Plan-Guidebook1.aspx>

GALLOIS, R.W. (2011) Natural and Artificial influences on coastal erosion at Sidmouth, Devon, UK. Geoscience in South-West England, 12, p. 304-312.

GAUTHIER, F., HÉTU, B. AND BERGERON, N. (2012) Analyses statistiques des conditions climatiques propices aux chutes de blocs de glace dans les corridors routiers du nord de la Gaspésie, Québec, Canada. Revue canadienne de géotechnique, vol.49, no12, p.1408-1426.

GOVERNEMENT BRITANNIQUE (2012) UK Climate Change Risk Assessment: Government Report. London, The Stationery Office. 43 p. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69487/pb13698-climate-risk-assessment.pdf

GOVERNEMENT DU QUÉBEC (2012a) Stratégie gouvernementale d'adaptation aux changements climatiques : Le Québec en action vert 2020 : Un effort collectif pour renforcer la résilience de la société québécoise. Gouvernement du Québec, 41 p. http://www.mddefp.gouv.qc.ca/changements/plan_action/strategie-adaptation2013-2020.pdf

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC (2012b) Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques : Le Québec en action vert 2020 : phase 1. Gouvernement du Québec, 55 p.
http://www.mddefp.gouv.qc.ca/changements/plan_action/pacc2020.pdf

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC (2013), Cadre de prévention des principaux risques naturels 2006-2013 - Un bilan des travaux mis en œuvre, <http://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-civile/publications-statistiques-civile/inter-action/inter-action-vol-4-no-2/prevention/cadre-de-prevention-des-principaux-risques-naturels-2006-2013-un-bilan-des-travaux-mis-en-oeuvre.html>

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC (2014) Politique québécoise de sécurité civile 2014-2024 - Vers une société québécoise plus résiliente aux catastrophes, 104 p.,
http://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/securite_civile/publications/politique_2014-2024/politique_securite_civile_2014-2024.pdf

GUARD - Glasgow University Archeological Research Division et CRS - Coastal Research Group (2003) Coastal zone assessment : Survey firth of Clyde. Report for Historic Scotland, Firth of Clyde Forum and The SCAPE Trust. University of Glasgow, GUARD series. Project 1309, 234 p.
<http://www.scapetrust.org/pdf/Clyde1/clyde1.pdf>

GROUPE OCÉAN (2014) Une nouvelle ère pour le dragage dans l'Est du Canada, présentation réalisé pour l'institut des biens immobiliers du Québec, atelier sur les infrastructures maritimes, 18 p., http://www.rpic-ibic.ca/documents/2014_Marine_Workshop/Presentation_-_IBIC_2014_FINAL_1.pdf

HOLMES, R.R., JONES, L., EIDENSHINK, J.C., GODT, J.W., KIRBY, S.H., LOVE, J.J., NEAL, C.A., PLANT, N.G., PLUNKETT, M.L., WEAVER, C.S., WEIN, A. et PERRY, S.C. (2013) U.S. Geological Survey natural hazards science strategy—Promoting the safety, security, and economic well-being of the Nation, U.S. Geological Survey Circular 1383–F, 79 p.,
<http://pubs.usgs.gov/circ/1383f/Circ1383-F.pdf>

LEE C. et DAIGLE R. (2012) Élévation du niveau de la mer et inondations, Conséquences pour les collectivités côtières du Nouveau-Brunswick, ACASA, 15 p.,
<http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca/acasa/files/E%CC%81le%CC%81vation-biveau%20de%20la%20mer-NB-2013-web.pdf>

MCGILLIS, A., MACCALLUM, I. et ASSOCIATES COASTAL ENGINEERS LTD. (2010) Infrastructure Risk Assessment of Coastal Roads in Nova Scotia. Paper prepared for presentation at the Climate Change Implications for

Shoreline Erosion Session of the 2010 Annual Conference of the Transportation Association of Canada Halifax, Nova Scotia, 20 p., <http://conf.tac-atc.ca/english/resourcecentre/readingroom/conference/conf2010/docs/c3/maccallum.pdf>

MEHDI, B., MRENA, C. et DOUGLAS, A. (2006) Adapting to Climate Change: An Introduction for Canadian Municipalities. Canadian Climate Impacts and Adaptation Research Network (C-CIARN), 36 p., <http://www.climateontario.ca/doc/publications/0006-e.pdf>

MEUNIER, V. et MARSDEN, É. (2009) L'analyse coût-bénéfice : Guide méthodologique. Les cahiers de la sécurité industrielle, vol. 2009-06, Toulouse, 60 p. http://www.icsi-eu.org/docsi/fr/download.php?id_doc=41

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DES GOUVERNEMENTS LOCAUX DU NOUVEAU-BRUNSWICK (2002), Direction de la planification durable, Politique de protection des zones côtières pour le Nouveau-Brunswick, 18 p.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU NOUVEAU-BRUNSWICK (2010) Manuel de gestion de l'environnement, Quatrième édition, 555 p., <http://www2.gnb.ca/content/gnb/fr/ministeres/mti.html>

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC – MTQ (2008) L'environnement dans les projets routiers du ministère des Transports du Québec, septembre 2008, 346 p.

NORTH NORFOLK DISTRICT COUNCIL (2009) North Norfolk Shoreline Management Plan: Strategic Environmental Assessment: Draft for Consultation : Appendix L to SMP, p. L93

NORTH NORFOLK DISTRICT COUNCIL (2012) Kelling to Lowesoft Ness Shoreline Management Plan. Altrincham, UK, 141 p.

NOVA SCOTIA ENVIRONMENT (2011) Guide to Considering Climate Change in Project Development in Nova Scotia, 56 p., <http://www.novascotia.ca/nse/ea/docs/Development.Climate.Change.Guide.pdf>

NSTIR – Nova Scotia Department of Transportation and Infrastructure Renewal (2012) Report from the Nova Scotia Department of Transportation and Infrastructure Renewal (NSTIR) on the ACAS Program. ACAS report prepared for the Climate Change Directorate, NS Environment, 12 p., http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca/acasa/files/Nova%20Scotia%20Department%20of%20Transportation%20and%20Infrastructure%20Renewal%20ACAS%20Report_0.pdf

OURANOS (2010) Élaborer un plan d'adaptation aux changements climatiques. Guide destiné au milieu municipal québécois, Montréal (Québec),

48 p.

PANT, S. B. (2012) Transportation Network Resiliency: A Study of Self-Annealing. Utah State University, M.Sc thesis in Civil and environmental engineering. Paper 1434, <http://digitalcommons.usu.edu/etd/1434>

POULTON, C.V.L., LEE, J.R., HOBBS, P.R.N., JONES, L. et HALL, M. (2006) Preliminary investigation to monitorage coastal erosion using terrestrial laser scanning : case study at Happisburgh, Norfolk. Bull. Geol. Soc. Norfolk , 56, p. 45-64.

POWER, J., MCKENNA, J., MACLOED, M.J., COOPER, J.A.G. et CONVIE, G. (2000) Developing Integrated Participatory Management Strategies for Atlantic Dune Systems in County Donegal, Northwest Ireland. AMBIO: A Journal of the Human Environment 29, p. 143-149.

QUINTIN, C., BERNATCHEZ, P., JOLIVET, Y. (2013) Impacts de la tempête du 6 décembre 2010 sur les côtes du Bas-Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières et Chaire de recherche en géoscience côtière, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis au ministère de la Sécurité publique du Québec, Février 2013, Volume I : 48 p. + Volume II : 170 p

RICHARDSON, G. R. A. (2010) S'adapter aux changements climatiques : Une introduction à l'intention des municipalités canadiennes. Ressources naturelles Canada, Ottawa, Ontario, 41 p., http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/mun/pdf/mun_f.pdf

ROBERT, B. et MORABITO, L. (2011) Reducing vulnerability of critical infrastructures. Presses internationales Polytechniques, coll. Methodological manual, Montreal, 67 p.

ROBICHAUD, A., SIMARD, I., DOIRON, A. et CHELBI, M. (2011) Infrastructures à risques dans trois municipalités de la péninsule acadienne, ACASA, 54 p., http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca/acasa/files/Pe%CC%81ninsule%20acadienne-Infrastructures%20a%CC%80%20risques-UdeMS-2011_1.pdf

ROBICHAUD, A. et coll. (2012) Adaptation aux changements climatiques : inondations côtières, Bas-Caraquet, UMCS, ACASA, 3 p., http://atlanticadaptation.ca/sites/discoveryspace.upei.ca/acasa/files/CS_BasCarquet_fr_dr2.pdf

ROWE, G. et FREWER, L.J. (2005) A typology of public engagement mechanisms. Science Technology and Human Values, 30, p. 251-290.
SAIRINEN, R., BARROW, C., KARJALAINEN, T.P. (2010) Environmental

conflict mediation and social impact assessment: Approaches for enhanced environmental governance? *Environmental Impact Assessment Review*, 30, p. 289-292.

SENNEVILLE, S., ST-ONGE DROUIN, S., DUMONT, D., BIHAN-POUDEC, A.-C., BELEMALEM, Z., CORRIVEAU, M., BERNATCHEZ, P., BÉLANGER, S., TOLSZCZUK-LECLERC, S. et VILLENEUVE, R. (2014) « Rapport final : modélisation des glaces dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent dans la perspective des changements climatiques », ISMER-UQAR, Rapport final présenté au ministère des Transports du Québec, 384 p.

SIPE, N.G. et STIFTEL, B. (1995) Mediating environmental enforcement disputes: How well does it work? *Environmental Impact Assessment Review*, 15, p. 139-156.

SHAW, G., (2009) Chapter 8: The Hazards Risk Management Process, in: Pine, J.C. (Ed.), *Natural Hazards Analysis*. Auerbach Publications, Boca Raton, FL (consulté en ebook), p. 193-220.

SLANGEN, A.B.A., KATSMAN, C.A., VAN DE WAL, R.S.W., VERMEERSEN, L.L.A. et RIVA, R.E.M. (2012) Towards regional projections of twenty-first century sea-level change based on IPCC SRES scenarios. *Climate Dynamics*, 38, p. 1191-1209.

SNOVER, A.K., WHITELEY BINDER, L., LOPEZ, J., WILLMOTT, E., KAY, J., HOWELL, D. et SIMMONDS, J. (2007) *Preparing for Climate Change: A Guidebook for Local, Regional and State Governments*. In association with and published by ICLEI – Local Governments for Sustainability, Oakland, CA, 172 p., <http://cses.washington.edu/cig/fpt/guidebook.shtml#downloading>

SOGREAH (2011) Actualisation de l'aléa érosion en Languedoc-Roussillon : Rapport final. BRGM, s.l., rapport no. 1713060, 176 p.

SPOONER, T. (2009) *The Economics of Climate Change Impacts on Nova Scotia's Highways*. Thesis submitted for a Master of Resource & Environmental Management, Dalhousie University, Halifax, NS. Report # MREM 56, December 8, 2009.

SCOPAC – Standing Conference on Problems Associated with the Coastline (2013) Coastal groups of England. Standing Conference on Problems Associated with the Coastline, consulté 11/2013, <http://www.scopac.org.uk/coastal-groups.html>

ST-AMOUR, J. (2011) « Bas-Saint-Laurent et Gaspésie—Îles-de-la-Madeleine, Le réseau routier du MTQ endommagé » dans le Bulletin d'information - Volume 2, numéro 1, hiver-printemps 2011, Dossier spécial : Est du Québec :

les événements marquants de décembre 2010, sur :
<http://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-civile/publications-statistiques-civile/inter-action/inter-action-vol-2-no-1/dossier-special/reseau-routier-endommage.html>

STIVE, M. J., DE SCHIPPER, M. A., LUIJENDIJK, A. P., AARINKHOF, S. G., VAN GELDER-MAAS, C., VAN THIEL DE VRIES, J. S., DE VRIES, S., HENIRQUES, M., MARX, S. et RANASINGHE, R. (2013) A New Alternative to Saving Our Beaches from Sea-Level Rise: The Sand Engine. *Journal of Coastal Research*, 29, p. 1001-1008.

SYNDICAT MIXTE DE LA BAIE DE SOMME (2012) Les projets Grand site : Création d'une voie verte sur la Route blanche, Site web du Syndicat mixte de la Baie de Somme, consulté 2013/11, <http://www.grandsitebaiedesomme.fr/projets-grand-site/projets-grand-site-118-509.html>

THOMALLA, F. et VINCENT, C.E. (2003) Beach response to shore-parallel breakwaters at Sea Palling, Norfolk, UK. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56, p. 203-212.

TRANSPORT SCOTLAND (2011) Environmental Assessment (Scotland) Act 2005 Scottish Ferry Services Draft Plan for Consultation, Strategic Environmental Assessment: Environmental Report Addendum, 71 p. <http://www.transportscotland.gov.uk/files/documents/reports/j210731/j210731.pdf>

TSO - The Stationary Office (2011) Understanding the risks, empowering communities, building resilience : The national flood and coastal erosion risk management strategy for England. DEFRA, Environment Agency, London, 52 p. <http://www.official-documents.gov.uk/document/other/9780108510366/9780108510366.pdf>

TURNER, B., KASPERSON, R., MATSON, P., MCCARTHY, J., CORELL, R., CHRISTENSEN, L., ECKLEY, N., KASPERSON, J., LUERS, A., MARTELLO, M., POLSKY, C., PULSIPHER, A. et SCHILLER., A. (2003) A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *PNAS* July 8, 2003, 100(14), p. 8074-8079, <http://www.pnas.org/content/100/14/8074.full>.

UK ENVIRONMENT AGENCY (2013a) About us > Our regions > Regional committees. UK Environmental Agency, consulté 11/2013, <http://www.environment-agency.gov.uk/aboutus/35611.aspx>

UK ENVIRONMENT AGENCY (2013b) Planning & research > Planning > Planning resources > Flood and coastal planning resources > Shoreline Management Plans (SMPs). UK Environmental Agency, consulté 11/2013, <http://www.environment-agency.gov.uk/research/planning/104939.aspx>

UNISDR (2009) 2009 UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. UNISDR, Geneva, p. 30.

WAKEFIELD, S., et ELLIOTT, S. J. (2000) Environmental risk perception and well-being: effects of the landfill siting process in two southern Ontario communities. *Social Science and Medicine*, 50, p. 1139-1154.

WINTER, M.G., MACGREGOR, F. et SHACKMAN, L. (2008) Scottish Road Network Landslides Study : Implementation. Transport Scotland, Glasgow, 270 p. www.transportscotland.gov.uk/report/j10107-00.htm

WOODALL, D.L. et LUND, J.R. (2009) Dutch Flood Policy Innovations for California. Universities Council on water resources. *Journal of contemporary water research & education*, 141, p. 45-59.

8. ANNEXES

Liste des annexes :

- Annexe A : Guide d'entrevue
- Annexe B : Bibliothèque de documents
- Annexe C : Stratégies de réduction de la vulnérabilité des infrastructures routières côtières – Résultats complémentaires - France
- Annexe D : Stratégies de réduction de la vulnérabilité des infrastructures routières côtières – Résultats complémentaires -Royaume-Uni
- Annexe E : Stratégies de réduction de la vulnérabilité des infrastructures routières côtières – Résultats complémentaires -Pays-Bas
- Annexe F : Stratégies de réduction de la vulnérabilité des infrastructures routières côtières – Résultats complémentaires -Provinces maritimes du Canada
- Annexe G : Stratégies de réduction de la vulnérabilité des infrastructures routières côtières – Résultats complémentaires - États-Unis d'Amérique

Annexe A
Guide d'entrevue

CD avec le guide d'entrevue

Annexe B

Bibliothèque de documents

Le DVD ci-après regroupe l'ensemble des documents numériques consultés dans le cadre de ce rapport (rapports gouvernementaux, stratégies, documents règlementaires, articles scientifiques...). Il contient également les photographies réalisées durant les visites sur le terrain effectuées en Europe. Les documents sont regroupés par pays, les dossiers pays étant eux-mêmes divisés le cas échéant par site visité pour les documents régionaux ou par province pour le Canada. Deux autres dossiers concernent des articles scientifiques traitant de la question de la vulnérabilité des infrastructures routières aux risques côtiers (ou un thème connexe) et des articles scientifiques sur l'analyse de réseau (*Network Analysis*).

Nombre de documents et photographies par dossier de la bibliothèque de documents

Nom du dossier		Nombre de documents	Nombre de photographies
Union Européenne		10	-
France		90	352
Royaume-Uni		93	313
Pays-Bas		27	132
Canada	Ensemble du Canada	10	-
	Provinces maritimes	6	-
	Nouveau-Brunswick	11	-
	Nouvelle-Écosse	15	-
	Terre-Neuve-et-Labrador	10	-
	Île-du-Prince-Édouard	11	-
États-Unis d'Amérique		19	-
Analyse de réseau (<i>Network Analysis</i>)		10	-
Autres articles pertinents		11	-

Les documents numériques sont nommés selon leur(s) auteur(s), l'année de publication et leur titre (ou titre abrégé). Les photographies réalisées durant la semaine de terrain en Europe sont publiées en ligne dans des albums Picasa mais sont également jointe à cette annexe (les adresses URL se trouvent au tableau 5 et dans les annexes des pays visités, annexes C, D et E).

DVD avec la bibliothèque de documents

Annexes C – D – E – F – G
Stratégies de réduction de la vulnérabilité des infrastructures
 routières côtières : résultats complémentaires

Les résultats complémentaires de la revue des stratégies de réduction de la vulnérabilité des infrastructures routières côtières sont présentés par pays :

- Annexe C : France
- Annexe D : Royaume-Uni
- Annexe E : Pays-Bas
- Annexe F : Provinces maritimes du Canada
- Annexe G : États-Unis d'Amérique

DVD avec les stratégies par pays