



L'évaluation des avantages et des coûts de l'adaptation aux changements climatiques

Rédaction :

Ce rapport d'information générale a été rédigé sous la direction d'Ouranos avec l'aide de



Auteurs principaux : Alain Webster, Frédéric Gagnon-Lebrun, Claude DesJarlais, Jean Nolet, Claude Sauvé et Stéphanie Uhde

Révision et collaboration:

André Musy, Alain Bourque, Hamid Baghdadi Caroline Larrivée et Michel Leclerc.

Coordination

Claude DesJarlais

2e trimestre 2008

Note au lecteur

Si l'évaluation des coûts de la réduction des émissions de gaz à effet de serre a fait l'objet au cours des dernières années de nombreuses analyses, celle des coûts des impacts et de l'adaptation est plus récente. Or, celle-ci est essentielle si l'on veut à la fois comprendre la nécessité de la réduction et préparer l'adaptation aux inévitables changements climatiques.

Ce document sur l'évaluation des avantages et des coûts de l'adaptation aux changements climatiques vise justement à faire le point sur les différentes méthodes existantes pour évaluer les impacts et comparer différentes solutions d'adaptation. Celui-ci présente un survol des options et méthodologies disponibles ne cherche pas à remplacer la contribution d'un expert formé aux différentes méthodologies nécessaires à l'analyse de cas spécifiques. Il devrait cependant être utile aux gestionnaires et professionnels responsables, pour concevoir et commander les analyses requises et aussi mieux comprendre les résultats obtenus.

Rappelons enfin que l'analyse économique constitue un outil d'aide à la décision dont la valeur dépend à la fois de la qualité des données utilisées et de l'analyse réalisée mais également de la transparence des hypothèses formulées. Ceci est particulièrement important dans un contexte de changements climatiques marqué pour l'instant par les incertitudes significatives.

Table des matières

INTRODUCTION	1
1. APERÇU DES MÉTHODES D'ÉVALUATION DES STRATÉGIES D'ADAPTATION.....	3
2. UN APERÇU DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ATTENDUS AU QUÉBEC	8
2.1. Les changements climatiques au Québec	8
2.1.1. <i>Tendances historiques</i>	8
2.1.2. <i>Le climat futur</i>	10
2.2. Les principaux impacts attendus	15
2.3. Les stratégies d'adaptation aux changements climatiques	20
3. LA PLANIFICATION DE L'ADAPTATION ET LES OUTILS D'AIDE À LA DÉCISION	23
3.1. Le processus de prise de décision.....	23
3.2. Les outils d'aide à la décision	27
3.2.1. <i>L'analyse financière</i>	27
3.2.2. <i>L'analyse coûts-avantages</i>	30
3.2.3. <i>L'analyse coûts-efficacité</i>	35
3.2.4. <i>L'analyse multicritères</i>	36
4. TECHNIQUES D'ÉVALUATION MONÉTAIRE DES IMPACTS ET DES STRATÉGIES D'ADAPTATION	39
4.1. La quantification des impacts physiques	39
4.2. Évaluation monétaire des impacts causés aux biens marchands	41
4.2.1. <i>La fonction de production</i>	41
4.2.2. <i>Les dépenses de remplacement</i>	42
4.3. Évaluation monétaire des impacts causés aux biens non marchands	42
4.3.1. <i>La valeur économique de l'environnement</i>	43
4.3.2. <i>Les méthodes d'évaluation des biens non marchands</i>	45
4.3.2.1. <i>La méthode des coûts de transport</i>	45
4.3.2.2. <i>La méthode des prix hédonistes</i>	45
4.3.2.3. <i>La méthode d'évaluation contingente</i>	46
4.3.2.4. <i>Le transfert de valeur</i>	47
4.4. L'évaluation du coût des stratégies d'adaptation	48
5. PRENDRE EN COMPTE LA DYNAMIQUE TEMPORELLE ET L'INCERTITUDE	50
5.1. Prendre en compte la dynamique temporelle	50
5.2. Prendre en compte l'incertitude et le risque	55
5.2.1. <i>Le risque et l'incertitude liés aux changements climatiques</i>	55
5.2.2. <i>Les outils pour prendre l'incertitude en compte</i>	58
5.2.2.1. <i>Analyse de sensibilité</i>	58
6. LES EFFETS DE REDISTRIBUTION.....	61
CONCLUSION	62
GLOSSAIRE	63
RÉFÉRENCES	65

Liste des tableaux

TABLEAU 1. SYNTHÈSE DU DIAGRAMME DE DISPERSION POUR LA RÉGION SUD QUÉBEC	13
TABLEAU 2 : SYNTHÈSE DU DIAGRAMME DE DISPERSION POUR LE NORD DU QUÉBEC.....	14
TABLEAU 3 : EXEMPLES D'IMPACT DIRECT ET INDIRECT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES.....	18
TABLEAU 4. TYPES D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES.....	22
TABLEAU 5 : PERSPECTIVE TEMPORELLE MOYENNE (EN ANNÉES) RECOMMANDÉE POUR LA PÉRIODE 2000-2006	29
TABLEAU 6 : TABLEAU SIMPLIFIÉ DES PERFORMANCES	38
TABLEAU 7 : LES CATÉGORIES DE COÛTS DES STRATÉGIES D'ADAPTATION	49
TABLEAU 8. EXEMPLE D'ACTUALISATION	52
TABLEAU 9 : MATRICE HYPOTHÉTIQUE DU GAIN ASSOCIÉ À QUATRE NIVEAUX D'INVESTISSEMENT DANS LE CAS DE TROIS SCÉNARIOS.....	60

Liste des figures

FIGURE 1. CHOISIR UN OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION	5
FIGURE 2. CHOISIR UNE MÉTHODE D'ÉVALUATION ÉCONOMIQUE.....	7
FIGURE 3 : INTERPOLATION DE LA TENDANCE DES TEMPÉRATURES ANNUELLES MOYENNES ENTRE 1960 ET 2003.....	9
FIGURE 4 : TENDANCE DES TEMPÉRATURES MOYENNES ANNUELLES POUR SIX STATIONS NORDIQUES	10
FIGURE 5 : DIAGRAMME DE DISPERSION DES ANOMALIES DE TEMPÉRATURES/PRÉCIPITATIONS POUR LA RÉGION SUD DU QUÉBEC PAR RAPPORT AUX NORMALES 1961-90.	13
FIGURE 6 : DIAGRAMME DE DISPERSION DES ANOMALIES DE TEMPÉRATURES/PRÉCIPITATIONS POUR LA RÉGION DU NORD DU QUÉBEC PAR RAPPORT AUX NORMALES 1961-1990.	14
FIGURE 7 : IMPACTS DIRECTS ET INDIRECTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES.....	16
FIGURE 8 : ADAPTATION À UNE NOUVELLE VARIABILITÉ CLIMATIQUE	20
FIGURE 9. LE PROCESSUS DE PRISE DE DÉCISION EN ADAPTATION.....	25
FIGURE 10 : LES SOURCES DE VALEUR QUI COMPOSENT LA VALEUR ÉCONOMIQUE TOTALE.....	44
FIGURE 11. EFFET DU TAUX D'ACTUALISATION (i) SUR LA VALEUR ACTUALISÉE NETTE (VAN) D'UN PROJET D'ADAPTATION	54
FIGURE 12. LA NOTION DE RISQUE	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
FIGURE 13. AUGMENTATION DU DEGRÉ D'INCERTITUDE DANS L'ÉVALUATION DES IMPACTS ASSOCIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	56

INTRODUCTION

Le climat constitue un élément particulièrement important du mode de vie des Québécois. À la fois un allié et un adversaire, il contribue à définir les milieux de vie naturels et humains, ainsi que la viabilité de plusieurs activités économiques, dont l'agriculture et la foresterie. Les changements climatiques affecteront inévitablement ces milieux négativement et positivement ainsi que les activités qui s'y déroulent. Pour atténuer les impacts inévitables des changements climatiques ou, dans certains cas, bénéficier des nouvelles possibilités créées, les sociétés et les individus devront apprendre à s'adapter.

À l'échelle mondiale, de nombreuses études reprises dans les rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) en 2001, ou plus récemment en 2006 dans le rapport Stern ont clairement établi les impacts inévitables des augmentations des GES déjà enregistrées et anticipées. L'enjeu est double : limiter les émissions de GES pour diminuer l'ampleur des changements climatiques et s'adapter à cette inévitable modification du climat. La même approche se transpose aux échelles nationales, régionales ou locales. Les stratégies de réduction doivent être mises en place pour réduire les émissions de GES. De plus, la planification du développement économique doit maintenant tenir compte de cette nouvelle réalité que constituent les changements climatiques et incorporer les stratégies d'adaptation les plus efficaces. Les risques liés aux changements climatiques doivent faire partie intégrale de toute prise de décisions économiques ayant un effet à long terme. À cette fin, l'évaluation de la pertinence d'une stratégie d'adaptation nécessite que les coûts de cette adaptation soient comparés avec les avantages attendus ou les coûts qu'elle aura permis d'éviter.

Ce document vise à aider les décideurs à prendre en compte les impacts des changements climatiques et mettre en œuvre des stratégies d'adaptation. Il présente les principaux éléments à considérer dans l'utilisation d'outils d'aide à la décision, tels que les méthodes d'évaluation économique ainsi que les considérations relatives au risque et à l'équité à prendre en compte. Ces outils et ces méthodes ne diffèrent pas substantiellement des outils couramment utilisés dans la planification économique, mais prennent une importance et une complexité accrue dans le contexte d'incertitude et de long terme qui caractérise la problématique des changements climatiques. En effet, en matière d'adaptation comme dans tout autre domaine les gestionnaires et analystes font face à des choix en matière de répartition de ressources limités pour la réalisation de plusieurs objectifs.

Cette étude s'adresse principalement aux gestionnaires, tant publics que privés, non experts de la problématique des changements climatiques ou de l'évaluation économique. Les groupes d'acteurs qui sont plus spécifiquement visés par cette étude incluent :

- Les responsables de la planification à long terme de l'aménagement du territoire, des infrastructures publiques, des services de santé et des services sociaux;
- Les dirigeants d'entreprises qui subissent ou appréhendent des impacts négatifs ou encore pourraient tirer profit des changements climatiques avec une stratégie d'adaptation optimale.

Dans la section 1, on trouve une vue globale des méthodes d'évaluation disponible. Celle-ci permet d'identifier rapidement l'approche la plus pertinente en fonction des objectifs visés et du type d'impacts auxquels il doit faire face.

La section 2 pour sa part, décrit plus en détail les impacts des changements climatiques attendus dans différentes régions du territoire québécois et présente des exemples de stratégies d'adaptation.

À la section 3, on retrouve une description plus complète des outils d'aide à la décision disponibles pour éclairer les gestionnaire dans leurs choix de stratégies d'adaptation, soit : l'analyse financière, l'analyse coûts-avantages, l'analyse coûts-efficacité et l'analyse multicritères. La section 4 vient préciser les techniques d'évaluation permettant de quantifier en termes économiques les impacts des changements climatiques ainsi que les avantages des stratégies d'adaptation. Finalement, les sections 5 et 6 abordent les différentes approches pour traiter des aspects temporels, de la prise en compte des incertitudes ainsi que des enjeux d'équité.

1. APERÇU DES MÉTHODES D'ÉVALUATION DES STRATÉGIES D'ADAPTATION

Cette première partie présente une vue globale et schématisée du processus d'évaluation en expliquant comment choisir un outil d'aide à la décision en fonction de la nature privée ou publique du décideur, ainsi que des éléments sur lesquels il entend baser sa décision. Elle indique également quelle méthode d'évaluation économique des coûts et des bénéfices est la plus appropriée en fonction du type d'impact.

Cadre d'analyse

L'adaptation aux changements climatiques consiste à mettre en place un ensemble de mesures, de solutions et de stratégies visant à réduire la vulnérabilité d'un secteur ou d'une société aux changements climatiques ou même, dans certains cas, d'en maximiser les avantages. La mesure de l'efficacité d'une mesure, solution ou stratégie d'adaptation implique donc de comparer une situation où rien n'est fait pour s'adapter (le scénario de référence sans projets d'adaptation) à un ou plusieurs autres états où une ou des solutions d'adaptation est ou sont mise en place.

Le choix de mettre en œuvre une mesure d'adaptation implique une comparaison entre les avantages et les coûts des différentes options. Conformément au cadre d'analyse de l'économie du bien-être, le choix de la mesure d'adaptation est donc dicté par la valeur positive la plus élevée de l'équation :

$$\text{Avantages nets} = \text{Valeur des impacts évités grâce à la mesure} - \text{Coûts reliés à la mesure.}$$

À cet égard on aura le plus souvent recours, là où c'est possible et souhaitable, aux méthodologies développées dans le cadre de l'analyse économique.

L'évaluation des impacts

Les mesures et stratégies d'adaptation visent à atténuer les impacts négatifs des changements climatiques ou maximiser les gains potentiels associés à ces changements. L'évaluation de toute stratégie d'adaptation aux changements climatiques débute donc nécessairement par l'évaluation de la réduction des impacts physiques résultant de sa mise en œuvre. L'identification de ceux-ci peut prendre la forme d'une matrice qui décrit les impacts indirects et induits associés à un impact direct des changements climatiques. Selon les besoins de l'analyse et la nature des données disponibles, quelques-uns de ces impacts seront ensuite évalués en termes monétaires.

Choix de l'outil d'aide à la décision

L'évaluation des options d'adaptation sera différente selon qu'il s'agit de décideurs privés ou publics en raison de critères de décision différents (Figure 1). Pour l'investisseur privé, le bien-fondé des stratégies

d'adaptation qu'il envisage repose essentiellement sur les coûts et les avantages qui le touchent directement ou affectent son entreprise. Ceux-ci détermineront si la stratégie envisagée est rentable ou encore laquelle des stratégies possibles est la plus rentable. Le décideur privé peut donc se limiter à réaliser une **analyse financière** (section 3.2.1).

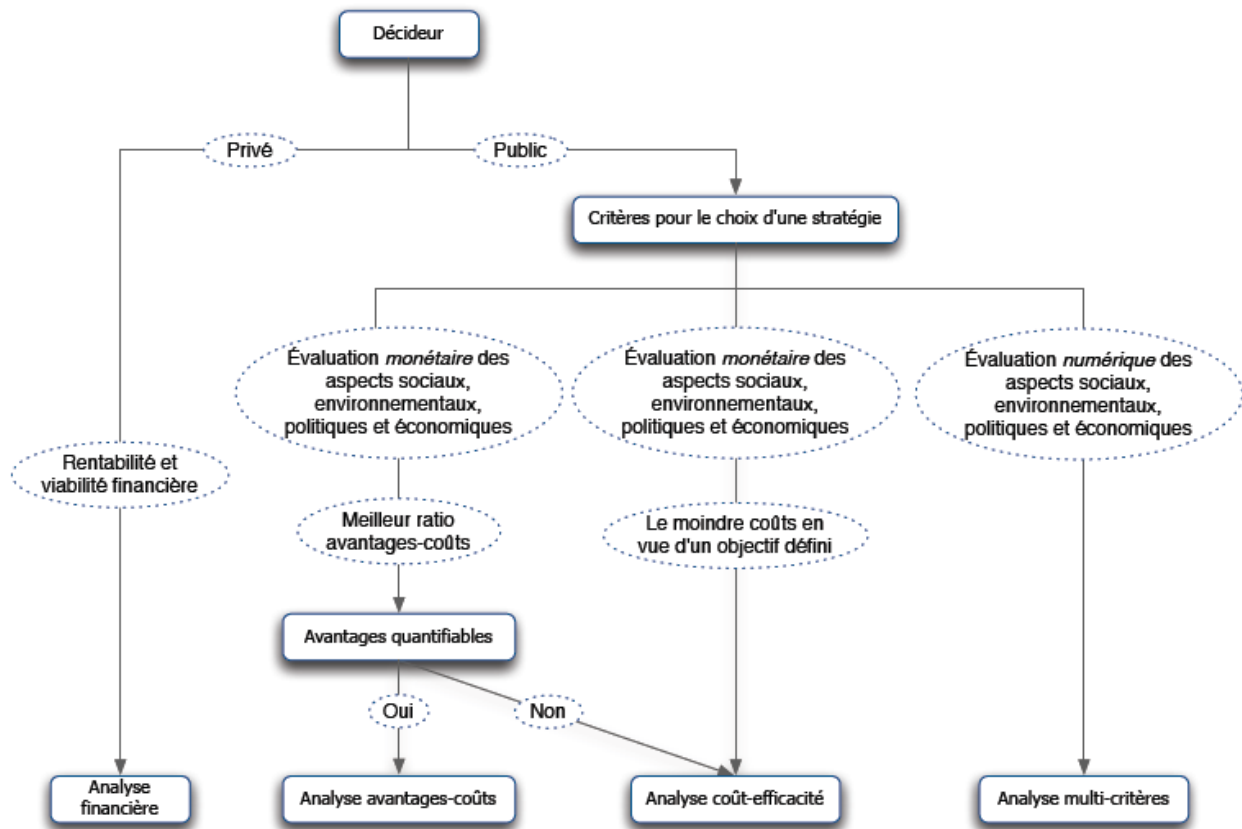
De son côté, le gestionnaire public peut lui aussi se questionner sur la rentabilité d'une stratégie d'adaptation et il aura alors recours à une analyse financière. Toutefois, le gestionnaire est plus souvent amené à comparer les options d'adaptation dans la perspective du bien-être de l'ensemble de la population d'un territoire donné. Pour ce faire, il doit tenir compte de l'ensemble des avantages et des coûts sociaux et environnementaux des stratégies d'adaptation pour toutes les personnes de ce territoire et donc recourir à des outils d'aide à la décision plus complexes. L'outil d'aide à la décision variera selon que le choix repose sur la base :

- des coûts et des avantages sociaux, ce qui commande l'application d'une **analyse coûts-avantages** (section 3.2.2);
- des coûts de mise en œuvre des différentes stratégies d'adaptation en vue d'un objectif défini *a priori*, ce qui suggère l'application d'une **analyse coûts-efficacité** (section 3.2.3).

Le gestionnaire public peut également souhaiter recourir à un cadre d'analyse qui repose sur différentes considérations de l'économie du bien-être qui s'ajoutent aux aspects purement monétaires tels que les impacts environnementaux et sociaux-politiques; dans ce cas, l'**analyse multicritère** constitue une méthode alternative permettant d'intégrer l'ensemble de ces considérations (section 3.2.4).

Le choix de l'outil sera également tributaire des considérations relative au temps disponible et aux ressources financières. La question est particulièrement pertinente à l'égard de l'analyse coûts-avantages puisque l'évaluation des avantages nécessite l'utilisation de méthodes d'évaluation économique souvent complexes en particulier pour l'évaluation des biens environnementaux ou des coûts et avantages sociaux.

FIGURE 1. CHOISIR UN OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION



Choix des méthodes d'évaluation économique

Plusieurs méthodes d'évaluation monétaire s'offre au décideur qui a choisi de recourir à l'analyse coûts-avantages ou encore désire quantifier monétairement certains coûts et avantages en vue de l'application de l'analyse multicritères (Figure 2) en fonction de la nature des biens affectés (marchands ou non marchands) ainsi que du type de valeur.

Pour les biens marchands, l'approche la plus simple est celle qui multiplie la valeur unitaire sur le marché par le changement dans la quantité de biens et services produits. Ainsi, la valeur des impacts agricoles se traduira en **variation dans la production** de denrées agricoles multipliée par la valeur unitaire de ces denrées. Dans le cas, par exemple, d'une station de ski, on utilisera le nombre de visiteurs par jour, multiplié par la valeur d'une entrée quotidienne. Pour des impacts sur des actifs fixes, les coûts de remplacement seront généralement utilisés. Comme les changements climatiques sont des phénomènes de long terme, il est important ici de se rappeler que l'utilisation de prix de marché pour l'évaluation des impacts marchands demandera des ajustements pour refléter leur évolution dans le temps (section 4.2). De

plus, cette approche est valable dans le cadre d'une analyse d'équilibre partiel où l'on fait l'hypothèse que les valeurs de marché ne seront pas elles-mêmes affectées par les impacts.

En ce qui concerne les **biens non marchands**, plusieurs méthodes d'évaluation sont utilisées qui ont essentiellement pour objectif de révéler le consentement à payer des individus ou encore la valeur économique qu'ils accordent à ces biens. Ainsi, lorsque des marchés complémentaires ou substitués existent, il est possible d'utiliser ces valeurs pour en déduire le consentement à payer. Dans d'autres situations comme par exemple, les activités récréatives et les sites touristiques, la valeur aux yeux des utilisateurs se reflète sur les dépenses qu'ils font pour en profiter et on utilisera alors la méthode des **coûts de transport** (section 4.3.2.1). La valeur de la santé humaine pour sa part peut dans certaines conditions être révélée par la prime salariale exigée par les employés contre le risque accru qu'ils encourent. Il s'agit dans ce cas de la méthode des **prix hédonistes** se base alors sur la relation entre le salaire et le risque au travail pour permettre d'estimer la valeur de la santé humaine. Cette méthode est aussi utile pour estimer la valeur du risque d'inondation telle que révélée sur le marché immobilier (section 4.3.2.2).

Dans le cas des biens non marchands, dont la valeur ne peut être déduite d'un marché complémentaire ou substitut ou ne donnant pas lieu à une utilisation directe, il sera alors nécessaire de recourir à la méthode de **l'évaluation contingente** (section 4.3.2.3). Celle-ci consiste à interroger des individus sur la valeur qu'ils accordent à ces biens par le biais d'une enquête ou d'un sondage. L'évaluation contingente est particulièrement utile pour les biens qui n'ont pas de valeur d'utilisation directe ou pour lesquels la valeur de non-utilisation est particulièrement importante comme les habitats fauniques et la biodiversité.

Si les ressources financières, les données ou le temps imparti pour l'étude sont trop limités, l'analyste peut recourir au **transfert de valeur** permettant de mettre à profit les données qui ont été recueillies lors d'études passées (section 4.3.2.4).

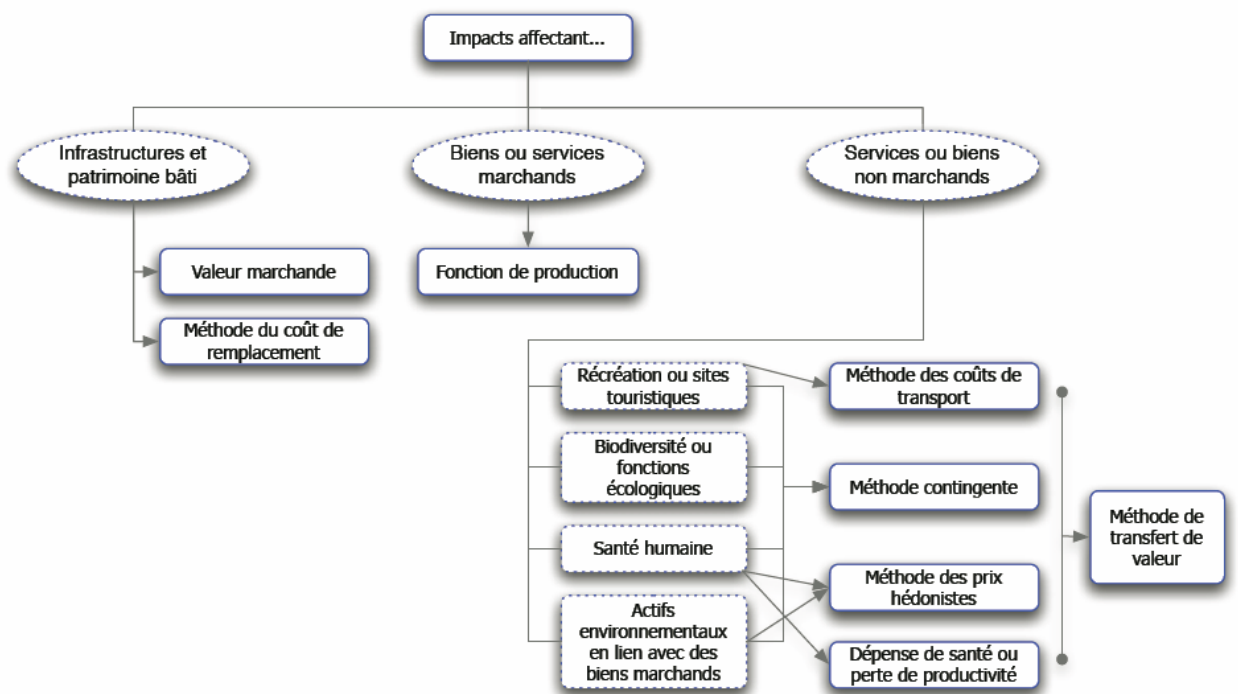
Enfin, en ce qui concerne les coûts associés aux différentes mesures stratégiques d'adaptation ceux-ci seront généralement évalués à partir des valeurs de marché des biens et services utilisés (section 4.4) tout en prenant soin de bien comptabiliser tous les coûts d'investissement, d'entretien et de fonctionnement privés et publics. Là aussi, l'évaluation de bien public pourra requérir l'utilisation de l'une ou l'autre des techniques évoquées ci-dessus.

La prise en compte du temps, de l'incertitude et des effets de redistribution

Une fois les valeurs attribuées aux différents biens et services marchands et non marchands ainsi qu'aux stratégies d'adaptation, trois dimensions additionnelles doivent faire l'objet d'une attention particulière. La nature même des changements climatiques impose de prendre en considération avec soin les questions

de **répartition dans le temps** des coûts et des avantages, de l'**incertitude** propre à ceux-ci et de la **distribution du coût** des impacts et des stratégies d'adaptation entre les groupes de personnes et entre les générations (section 5 et 6).

FIGURE 2. CHOISIR UNE MÉTHODE D'ÉVALUATION ÉCONOMIQUE



2. UN APERÇU DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ATTENDUS AU QUÉBEC

Déjà depuis les dernières décennies, on observe au Québec des modifications notables des conditions climatiques. Cependant les changements climatiques anticipés en raison de l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre seront d'une bien plus grande ampleur. Ceux-ci se traduiront inévitablement par des conséquences directes et indirectes sur les milieux naturel et bâti, sur les populations et sur les activités économiques. L'adaptation spontanée ou planifiée qui en découlera permettra à son tour d'en réduire les coûts ou s'il y a lieu d'accroître les effets bénéfiques des changements climatiques.

2.1. Les changements climatiques au Québec

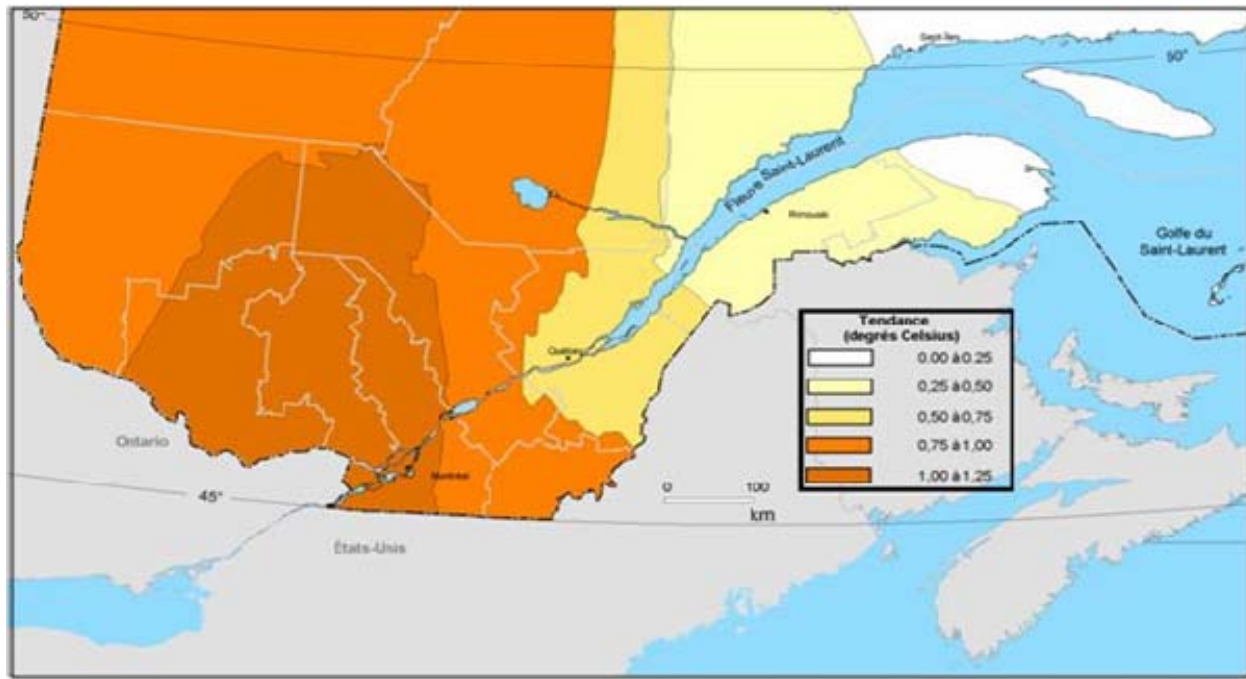
Étant données la diversité et la grandeur du territoire du Québec, ainsi que les influences régionales du relief et des étendues d'eau, l'analyse révèle que l'évolution du climat québécois, tant pour ce qui concerne le climat historique que pour celui de l'avenir, diffère de façon importante entre les principales régions de la province.

2.1.1. Tendances historiques

Au cours du vingtième siècle, on remarque pour le Québec des changements statistiquement significatifs de plusieurs variables selon les périodes (50 ou 100 ans) et les régions. Ainsi, la température annuelle, la durée de la saison de cycle gel/dégel, les précipitations totales annuelles de même que le nombre de jours de pluie, sont à la hausse alors que le couvert de glace semble s'amincir.

Plus récemment, au cours des quatre dernières décennies, plusieurs régions du Québec méridional ont connu un réchauffement notable. La Figure 3 présente une analyse spatiale de la tendance des températures annuelles moyennes au cours des années 1960 à 2003. Cette figure révèle qu'un réchauffement plus marqué des températures annuelles moyennes a été observé dans l'Ouest et le Centre du Québec méridional que dans l'Est. Dans ces régions, les températures annuelles moyennes ont enregistré une augmentation se situant entre 0,5 °C et 1,2 °C. De plus, ce réchauffement des températures annuelles a été plus prononcé la nuit que le jour et plus important l'hiver et l'été. Ainsi, pour ces régions, les températures minimales ont connu des augmentations variant entre 0,3 et 3,7°C en hiver et des augmentations variant entre 0,4 et 2,2 °C en été. Dans l'Est de la province, on observe plutôt un réchauffement non significatif et inférieur à 0,5 °C, la majorité des stations affichant tant pour l'hiver que l'été des tendances non significatives des températures minimales, pour la période 1960-2003.

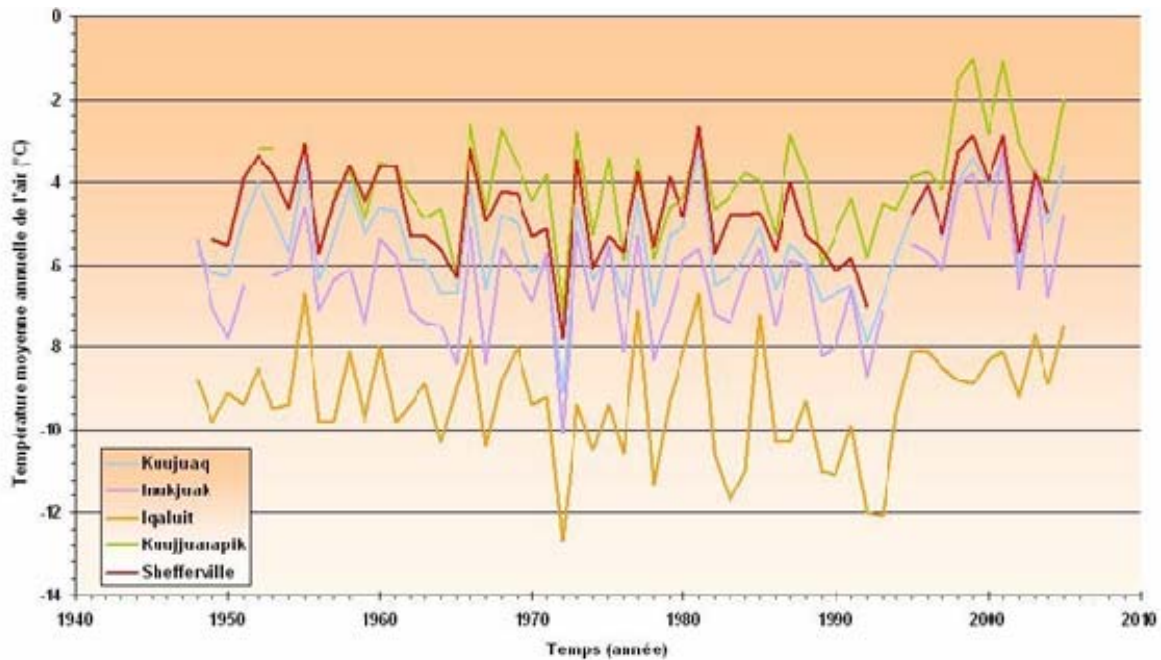
FIGURE 3 : INTERPOLATION DE LA TENDANCE DES TEMPÉRATURES ANNUELLES MOYENNES ENTRE 1960 ET 2003



Source : Ouranos (2007)

Au Nord du Québec, où le nombre de stations ne permet pas d'obtenir une résolution similaire à ce qui est présenté dans la carte précédente, l'évolution des températures moyennes annuelles illustrées à la Figure 4 semble indiquer que cette région est passée subitement d'une période de refroidissement à une période nettement et systématiquement plus chaude depuis le milieu des années 1990. Cette tendance se distingue du réchauffement plus graduel mesuré au Sud. En fait, le climat s'est réchauffé plus rapidement dans cette région que dans tout le reste du Québec au cours du vingtième siècle. À Inukjuak, où la plus longue série climatique de la région est disponible, la température moyenne annuelle a augmenté de 1922 à 2004 de 2,9 C. Ce réchauffement s'est accentué depuis une décennie ayant comme impact, à titre d'exemple, un réchauffement de près de 1°C du pergélisol sur l'ensemble de l'Arctique québécois.

FIGURE 4 : TENDANCE DES TEMPÉRATURES MOYENNES ANNUELLES POUR SIX STATIONS NORDIQUES



Source : Ouranos (2007)

2.1.2. Le climat futur

Il est prévu que les changements climatiques qui ont été observés au cours du vingtième siècle s'accroissent. En effet, les experts réunis par les Nations Unies sont d'avis que les augmentations de température de quelques 0,74 °C observées dans le monde depuis le début du siècle passé se démarquent nettement de la variation climatique naturelle et sont attribuables en très grande partie à l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre (GES) causée par l'activité humaine. Or, il est prévisible que ces concentrations continueront d'augmenter au cours du présent siècle et que le réchauffement observé s'amplifiera même dans l'hypothèse d'une application stricte des mesures de réduction des émissions par les pays signataires du protocole de Kyoto.

L'ampleur des changements climatiques attendus à l'échelle internationale est fonction de l'augmentation des concentrations de GES qui sont largement déterminées par celle des émissions anthropogéniques. Celles-ci dépendent elles-mêmes de nombreux facteurs tels que la croissance démographique, les changements technologiques, les politiques concernant les émissions de GES et l'évolution de l'économie. Or, plus on s'éloigne dans le temps et plus les incertitudes portant sur ces facteurs augmentent. Ainsi, alors que les prévisions démographiques peuvent être établies avec un certain degré de fiabilité à l'horizon 2050, ceci devient beaucoup plus difficile sur une période de cent ans. En ce qui concerne l'évolution

technologique et économique, la difficulté est encore plus grande et on ne peut sur une période aussi longue qu'essayer de circonscrire, à l'aide de scénarios, l'étendue des possibles. Ces scénarios se traduisent par des augmentations des émissions et des concentrations de GES qui varient sensiblement dans le temps. C'est ainsi que selon les différents scénarios, on obtient des prévisions de hausse des températures relativement rapprochées l'une de l'autre pour la période centrée autour de 2020 alors que dans la période centrée sur 2080 les écarts sont beaucoup plus significatifs, atteignant plusieurs degrés.

À ces incertitudes relatives aux émissions elles-mêmes, s'ajoutent des différences dans l'évaluation des effets sur le climat des augmentations de GES. En effet, la simulation des changements climatiques est réalisée par l'emploi de modèles mathématiques reposant sur la chimie et la physique de l'atmosphère et des océans que l'on appelle modèles climatiques globaux (MCG). Comme ces modèles sont très complexes et exigent une très grande capacité de calcul informatique, chacun d'entre eux contient un certain nombre de simplifications de l'environnement terrestre, océanique et atmosphérique. Ainsi, pour une concentration donnée de GES, les divers modèles climatiques donneront selon les régions des changements parfois assez différents pour les températures et encore plus pour les précipitations. Afin de prendre en compte ces différences, il est recommandé d'utiliser les résultats de plusieurs MCG et d'au moins deux scénarios d'augmentation d'émissions de GES.

Il convient également de noter que les changements climatiques ne sont pas uniformes à la surface du globe. Ces changements sont en général beaucoup plus marqués dans les régions les plus au Nord et les plus continentales. Les modèles donnent ainsi des valeurs différentes selon les régions, notamment pour le Québec qui couvre un vaste territoire du Sud au Nord comportant un important rivage côtier. La transposition, à partir de ces MCG, de l'information spatio-temporelle aux échelles régionale et locale entraîne à son tour un certain nombre d'ajustements supplémentaires et d'interprétations et peut se traduire par des variations plus importantes en étendue.

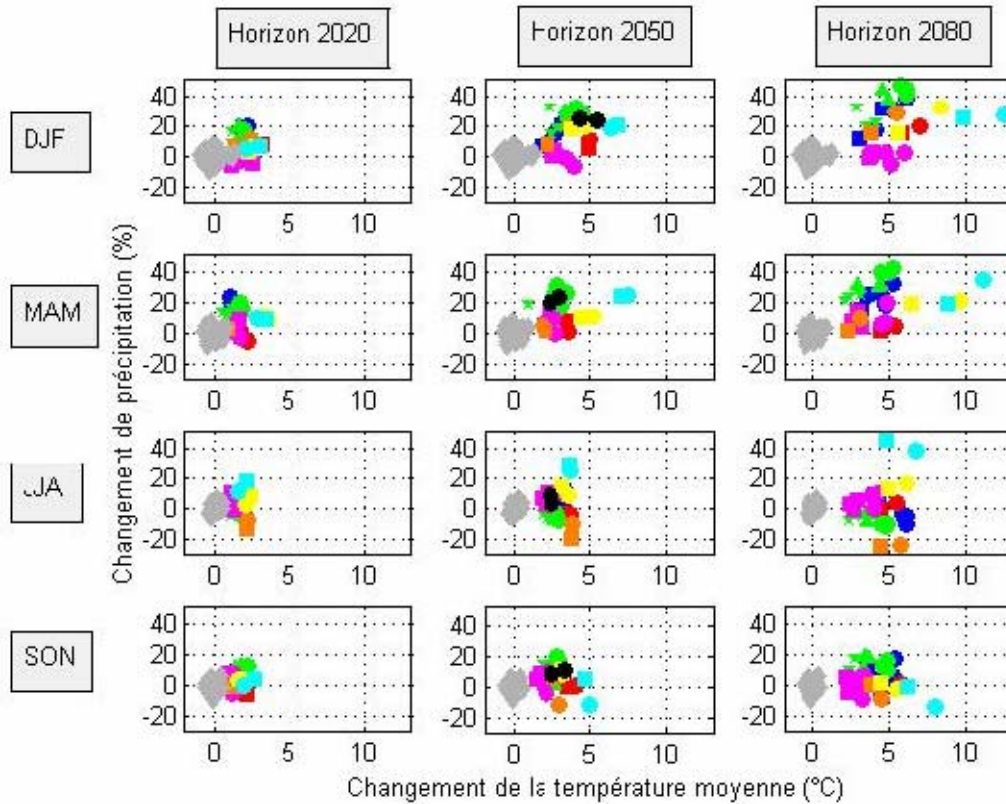
À titre d'illustration, les Figures 3 et 4 montrent les changements saisonniers des températures et des précipitations projetés en se basant sur six modèles climatiques mondiaux utilisant deux scénarios d'émission de GES pour les décennies centrées sur 2020, 2050 et 2080. Ces projections sont données pour deux régions du Québec par rapport aux normales climatiques 1961-1990. Les diagrammes de dispersion et tableaux-synthèses suivants, pour le Nord et le Sud du Québec, résument les plus récentes projections saisonnières pour ces deux régions d'intérêt et illustre bien l'ampleur des incertitudes avec lesquelles il faut composer.

Dans le Sud (Figure 5 et Tableau 1), des automnes, hivers et printemps significativement plus doux avec des augmentations de température variant selon les scénarios et modèles, entre 2,5°C et 5,5°C, sous-entendent une arrivée de plus en plus tardive de la saison froide et une réduction de la durée et surtout de l'intensité des périodes de grand froid. Pour les périodes et régions où les températures moyennes augmenteront et s'approcheront davantage du point de congélation, la longueur de la saison de couverture de neige et de glace aura tendance à diminuer et potentiellement devenir discontinue dans le temps ou dans l'espace. De façon similaire, l'accumulation de neige au sol sera inférieure en raison de précipitations plus souvent sous forme de pluie découlant de températures plus fréquemment supérieures à zéro.

On s'attend à une arrivée de plus en plus hâtive de la saison chaude et à une augmentation de la durée de la saison de croissance et de la quantité de chaleur accumulée. Sans laisser présager un déroulement climatique sensiblement différent, plusieurs travaux suggèrent que les risques associés aux climats des régions plus au Sud (orages, systèmes tropicaux) pourraient augmenter alors que ceux liés au climat nordique (gel au sol, dépression classique) pourraient diminuer. L'activation du cycle hydrologique sous des températures plus élevées aurait tendance à allonger la longueur de la saison propice aux orages, augmenter le risque de pluie soudaine intense et rehausser l'évaporation et l'évapotranspiration.

Dans la région du Nord du Québec (Figure 6 et Tableau 2), les augmentations de température seraient encore plus marquées qu'au Sud, pouvant atteindre, dans l'hypothèse des scénarios les plus extrêmes, vers la fin du siècle 10 °C en hiver et au printemps. En ce qui concerne les précipitations, on notera le fort degré d'incertitude allant d'une stagnation à une augmentation atteignant 60 % en hiver. À l'inverse de ce qui se passe au Sud, où l'augmentation des températures se traduirait par une diminution des précipitations sous forme de neige, l'accroissement des précipitations et le maintien de températures toujours largement inférieures au point de congélation pourraient contribuer à une augmentation significative des chutes de neige, voir de l'accumulation de neige au sol.

FIGURE 5 : DIAGRAMME DE DISPERSION DES ANOMALIES DE TEMPÉRATURES/PRÉCIPITATIONS POUR LA RÉGION SUD DU QUÉBEC PAR RAPPORT AUX NORMALES 1961-90.



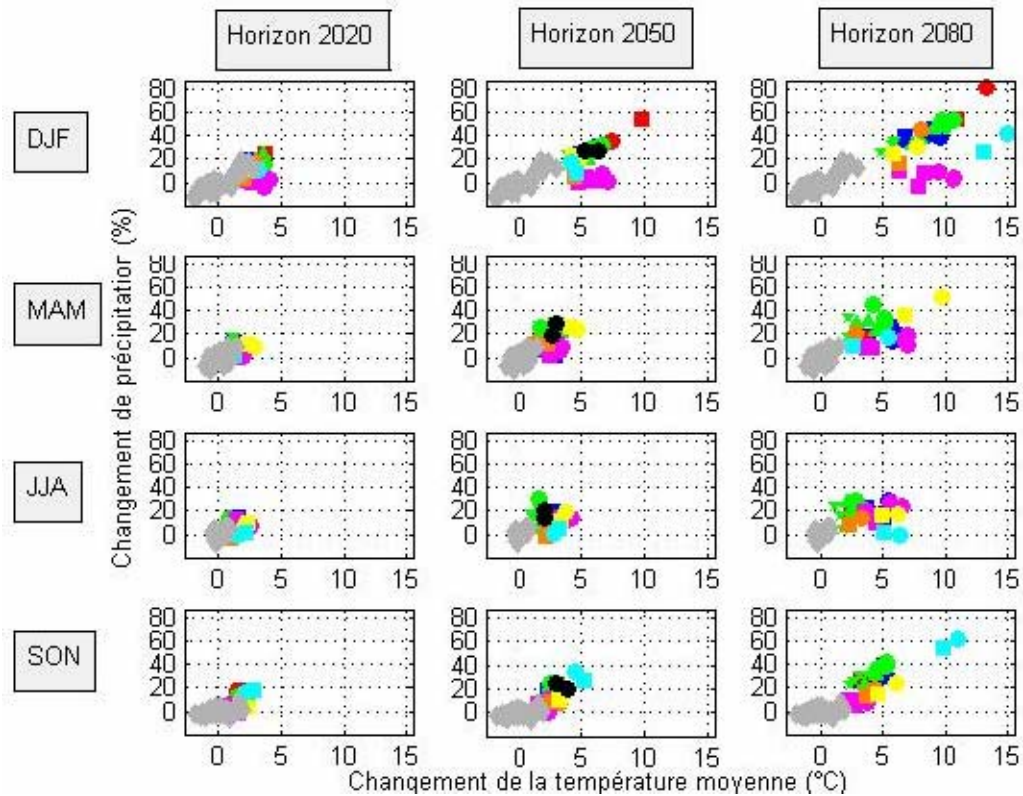
Source : Ouranos (2007)

TABLEAU 1. SYNTHÈSE DU DIAGRAMME DE DISPERSION POUR LA RÉGION SUD QUÉBEC

		Normales climatiques Climat 1980	Variations prévues par rapport à la situation de référence de 1980		
			2020	2050	2080
Hiver	Températures	-7,5 à -11 °C	+1,5 à +3 °C	+2 à +5,5 °C	+3,5 à +5,5 °C
	Précipitations	270-330 mm	-5 à +15 %	-0 à +25 %	-0 à +45 %
Printemps	Températures	+3,5 à +6 °C	+0 à +3,5 °C	+2 à +5,5 °C	+2,5 à +6 °C
	Précipitations	240-280 mm	-5 à +15 %	+0 à +25 %	+0 à +40 %
Été	Températures	+18 à +20 °C	+1,5 à +3 °C	+2 à +4,5 °C	+2,5 à +4,5 °C
	Précipitations	280-350 mm	-20 à +10 %	-25 à +15 %	-25 à +20 %
Automne	Températures	+6,5 à +9 °C	+0,5 à +2 °C	+2 à 4,5 °C	+3 à +4,5 °C
	Précipitations	270-330 mm	-10 à +10 %	-10 à +15 %	-10 à +15 %

Source : Ouranos (2007)

FIGURE 6 : DIAGRAMME DE DISPERSION DES ANOMALIES DE TEMPÉRATURES/PRÉCIPITATIONS POUR LA RÉGION DU NORD DU QUÉBEC PAR RAPPORT AUX NORMALES 1961-1990.



Source : Ouranos (2007)

TABLEAU 2 : SYNTHÈSE DU DIAGRAMME DE DISPERSION POUR LE NORD DU QUÉBEC

		Normales climatiques Climat 1980	Variations prévues par rapport à la situation de référence de 1980		
			2020	2050	2080
Hiver	Températures	-21 à -25 °C	+2 à +4 °C	+4 à +10 °C	+5,5 à +10 °C
	Précipitations	60-160 mm	0 à +25 %	0 à +50 %	0 à +45 %
Printemps	Températures	-7 à -17 °C	+0 à +3 °C	+1 à +5 °C	+2 à +10 °C
	Précipitations	75-125 mm	0 à +15 %	+0 à +30 %	+5 à +60 %
Été	Températures	+6 à +10 °C	+0,5 à +2 °C	+2 à +4 °C	+2 à +6 °C
	Précipitations	150-230 mm	-5 à +15 %	-5 à +20 %	+5 à +25 %
Automne	Températures	+1 à +4 °C	+1 à +2,5 °C	+1,5 à +4 °C	+2 à +6 °C
	Précipitations	150-240 mm	+0 à +20 %	+5 à +25 %	+5 à +40 %

Source : Ouranos (2007)

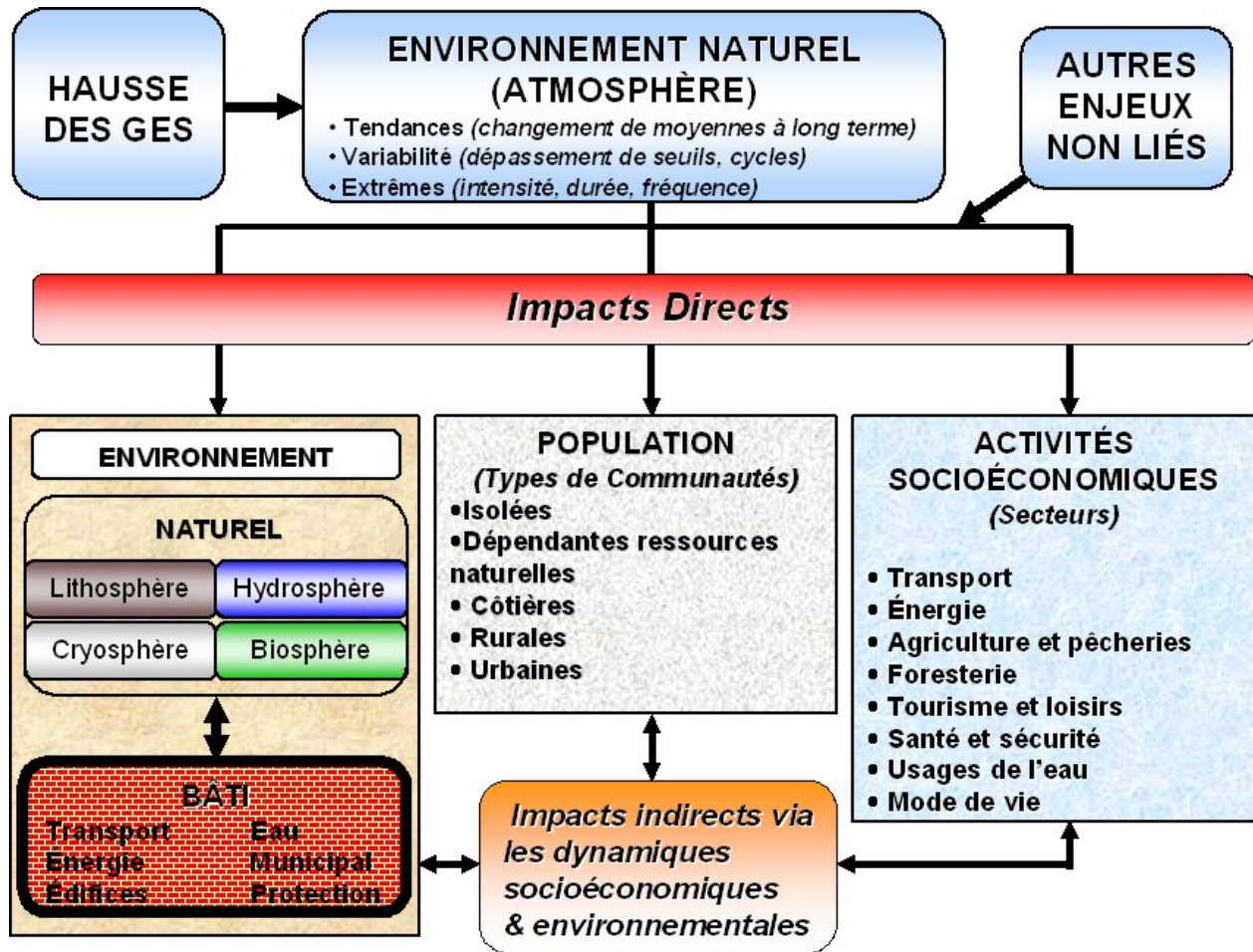
2.2. Les principaux impacts attendus

Les changements climatiques signifient des modifications de tendances, de variabilité ou d'extrêmes climatiques, qui peuvent toucher, outre les températures, plusieurs autres variables telles que les précipitations de pluie et de neige, les tempêtes, la vitesse des vents et le niveau des océans. Ces changements entraînent des impacts directs sur l'environnement naturel ou bâti, sur les activités socioéconomiques ou sur la population qui à travers les processus biophysiques et socioéconomiques produisent, à leur tour, des impacts indirects (Figure 7).

Les impacts directs s'illustrent de nombreuses façons. Par exemple, une hausse du niveau de la mer peut amener une augmentation de l'érosion côtière alors que l'augmentation de la fréquence des précipitations abondantes peut provoquer le débordement des réseaux d'égouts. Les changements climatiques induisent également des impacts directs sur les populations et sur les activités socioéconomiques. Par exemple, les périodes de chaleur intenses plus fréquentes et plus longues peuvent nuire directement à la santé des personnes comme l'a démontré la surmortalité très importante des personnes âgées, durant la vague de chaleur de l'été 2003 en France. De même, l'augmentation des températures, combinée à une variation des précipitations, peut affecter positivement ou négativement la production agricole en fonction des activités pratiquées, de l'ampleur et de la période où ces modifications surviennent.

Les impacts directs se répercutent ensuite, à travers les processus biophysiques et socioéconomiques, pour provoquer un éventail d'impacts indirects et sectoriels. Pour reprendre l'exemple utilisé plus haut, la hausse du niveau de la mer augmente l'érosion côtière qui, à travers les processus biophysiques, entraîne la perte de plages et de milieux humides et des affaissements de terrain en bordure de mer, puis la perte d'habitats fauniques et de biodiversité. Sur le plan économique, l'érosion côtière et les affaissements de terrain amènent la destruction de segments de route, de résidences et d'installations hôtelières, puis la perte de revenus touristiques et des déplacements de populations. Dans l'exemple de l'augmentation de la fréquence des précipitations abondantes, le débordement des réseaux d'égouts et les inondations provoquent des dégâts d'eau dans les résidences et dans les commerces et occasionnent des interruptions électriques ou le dérangement du transport. Le changement de la fréquence des précipitations affecte aussi le niveau d'eau dans les bassins hydroélectriques et donc la capacité de production hydroélectrique.

FIGURE 7 : IMPACTS DIRECTS ET INDIRECTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES



Source : Adaptée d'Ouranos (2007)

Les changements climatiques se répercutent différemment selon la saison et le milieu géographique. Sur le plan des saisons, comme on l'a vu au Tableau 2, l'hiver sera plus particulièrement touché par le réchauffement des températures. Pour ce qui est de l'aspect régional, le Nord du Québec connaîtra des changements relativement rapides et importants. L'augmentation de la température amènera, dans la région arctique québécoise, la fonte du pergélisol, ce qui provoquera des affaissements de terrain et causera des dommages aux bâtiments, aux routes et aux pistes d'aéroport et éventuellement des glissements de terrain. Les écosystèmes en seront fortement perturbés, ainsi que la vie des populations autochtones, qui auront à s'adapter. Déjà, la fonte des glaces plus hâtive a poussé les Inuits à modifier leurs trajets de chasse et de pêche. Cependant, le rythme auquel ces modifications se produiront demeure à préciser. Au-delà de l'augmentation des températures, des phénomènes, telle l'accumulation de la neige, pourront également influencer le bilan thermique.

L'augmentation des températures modifiera aussi sensiblement le climat de la zone boréale, créant des conditions plus similaires à celles qui prévalent actuellement dans la région du Sud. Cette modification pourrait favoriser la pénétration d'espèces plus typiques de la forêt mixte et une croissance accrue des arbres bien qu'il faille redouter une recrudescence des incendies de forêt et des épidémies d'insectes. Des études plus poussées doivent être réalisées pour évaluer la probabilité de l'impact combiné de ces facteurs. Indirectement, ces changements affecteront l'industrie forestière et plusieurs communautés rurales de cette zone. Sur le plan de la production hydroélectrique, on peut s'attendre à davantage de précipitations et à une capacité de production accrue, bien que le régime soit modifié et qu'une plus grande partie des précipitations tombe sous forme de pluie, plutôt que de neige. Les différents bassins versant ne seront pas affectés de façon uniforme et le bilan des précipitations, de l'évaporation et de l'évapotranspiration, en fonction des conditions de terrain et de la végétation propre à chaque bassin, demande à être précisé.

Sur le littoral québécois, les principales craintes sont liées au rehaussement du niveau de la mer et à la réduction de l'englacement hivernal dans le golfe du Saint-Laurent, qui accentuera l'érosion côtière. Les impacts varieront en fonction des conditions particulières à chaque lieu, notamment la nature géologique des sols et leur orientation par rapport à la trajectoire des tempêtes. En effet, l'érosion côtière est particulièrement forte lors des tempêtes de grande intensité. Les impacts indirects se feront sentir sur les écosystèmes côtiers, sur les infrastructures (routes, chemins de fer, ports) et sur les bâtiments. Outre le transport et les communications, l'industrie touristique pourrait être touchée.

Dans les régions plus au Sud, les impacts seront très diversifiés. Il est à prévoir notamment que le réchauffement se traduise par une réduction des besoins en chauffage et par une augmentation des besoins en climatisation. En agriculture, chaque type de culture réagira différemment à l'augmentation des températures et des précipitations, à l'allongement de la période de croissance, à la réduction de la période de gel et à la diminution de l'enneigement. Certaines cultures seront avantagées, particulièrement lorsqu'elles sont pratiquées à la limite des zones propices, alors que d'autres exigeront une irrigation accrue ou la protection hivernale que n'assurera plus la neige. En tourisme, alors que les clubs de golf verront leur saison allonger, les stations de ski verront la leur raccourcir. De plus, toutes les stations de ski ne seront pas affectées de la même façon, celles plus au Sud ou de moindre altitude étant plus menacées que celles plus au Nord. Seule une analyse détaillée permettra de déterminer dans quel sens et de quelle importance seront ces impacts pour chacune des activités affectées. Le Tableau 3 présente une liste non exhaustive des impacts attendus des changements climatiques.

TABEAU 3 : EXEMPLES D'IMPACT DIRECT ET INDIRECT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

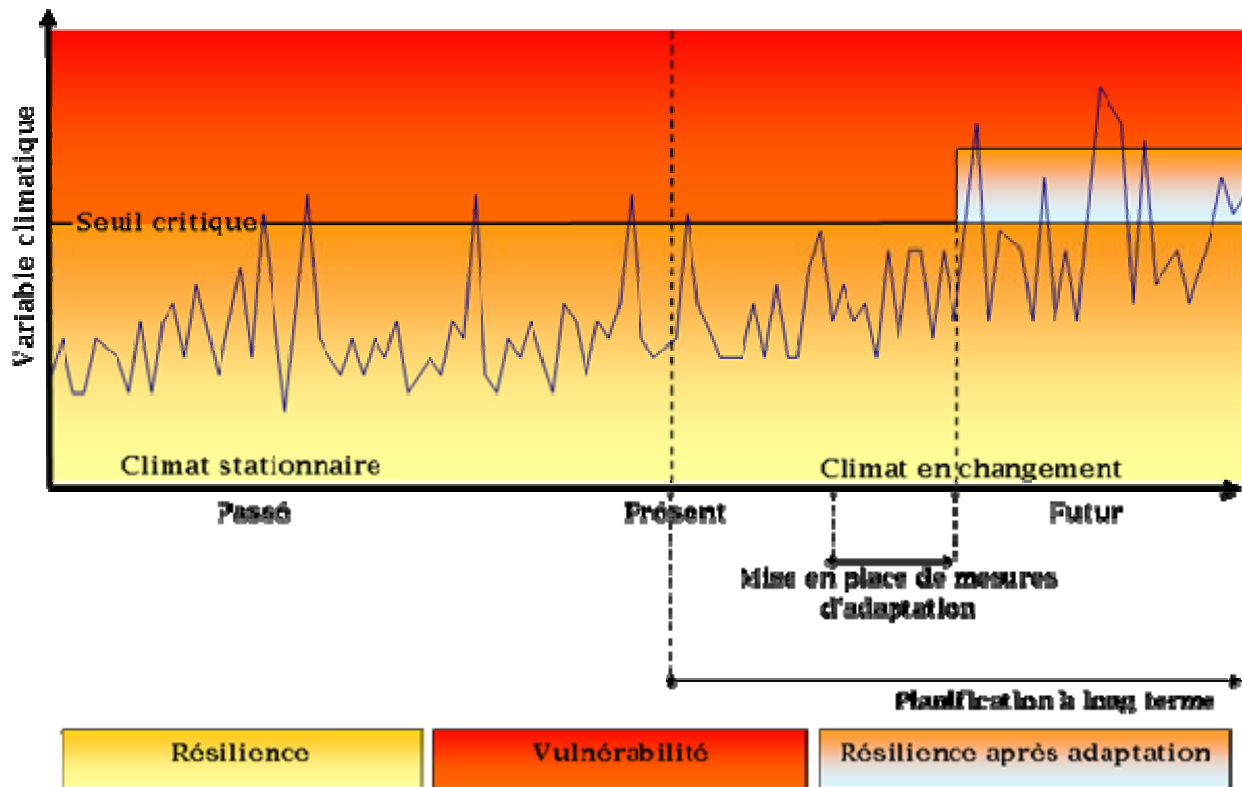
Changements climatiques	Exemples d'impact direct	Exemples d'impact indirect ou sectoriel
Augmentation des températures dans le Nord	Fonte du pergélisol	Affaissement des terrains, des routes et des pistes d'atterrissage
	Réduction de la période d'englacement	Fonte des routes de glace traditionnelles Perte de biodiversité
Augmentation des températures et changement du régime de précipitation dans la forêt boréale	Modification de la composition de la forêt boréale	Perte ou gain pour l'industrie forestière Diminution ou augmentation des activités touristiques en forêt
	Modification de la croissance des espèces forestières	Augmentation ou diminution des coûts de la société de protection contre les incendies de forêt (SOPFEU)
	Changements dans la fréquence des feux de forêts	Diminution ou augmentation de la biodiversité Incidence sur les paysages
Augmentation des températures et changements du régime de précipitations dans le Sud	Changement dans les degré-jour de chauffage et de climatisation	Changement dans la demande d'énergie thermique et électrique <ul style="list-style-type: none"> ▪ Diminution des besoins en chauffage ▪ Augmentation des besoins en climatisation
	Modification de la croissance des cultures agricoles	Perte ou gain agricole
	Sécheresses plus fréquentes	Besoins accrus en irrigation en agriculture Augmentation de la morbidité et de la mortalité et perte de poids chez les animaux d'élevage Impacts sur les espèces animales et végétales
	Réduction de l'enneigement	Raccourcissement de la saison de ski et diminution de la rentabilité de l'industrie Modification des coûts de déneigement et de déglacement des routes
	Pénétration d'espèces invasives exogènes	Modification de la biodiversité et perte d'espèces animales et florales

Périodes de grande chaleur plus fréquentes et plus intenses	Inconfort des populations humaines Augmentation des problèmes respiratoires, de la mortalité et de la morbidité des personnes vulnérables	Augmentation des dépenses en climatisation Augmentation des dépenses en santé et des situations d'urgence
Modification des précipitations et hausse de l'évapotranspiration et de l'évaporation	Baisse du niveau du fleuve Saint-Laurent Baisse du niveau des rivières et de la nappe phréatique	Réduction de la capacité de chargement des navires Enclavement des marinas Problème de prise d'eau et d'alimentation en eau potable
Modification des précipitations sous forme de pluie	Variation du niveau des rivières, des lacs et des réservoirs Pression sur les systèmes d'évacuation des eaux municipales	Changements à la hausse ou à la baisse dans la capacité de production hydroélectrique (selon les bassins) Saturation plus fréquente des réseaux d'évacuation Risque d'inondations Augmentation des rejets d'eaux non traitées
Modification du régime des vents	Modification de la production éolienne	Modification de la rentabilité de l'industrie éolienne dans certaines régions
Augmentation de la température des océans, hausse du niveau marin et diminution du couvert de glace dans les régions maritimes	Augmentation de l'érosion côtière	Domage aux propriétés et aux infrastructures Perte de plages d'intérêt touristique Perte de milieux humides

2.3. Les stratégies d'adaptation aux changements climatiques

Les stratégies d'adaptation permettront dans bien des cas, de réduire en bonne partie les impacts négatifs des changements climatiques et dans certains cas, de profiter d'impacts positifs notamment dans les milieux humains. L'objectif de l'adaptation est de réduire la vulnérabilité des milieux humains ou naturels et des populations. Pour les milieux humains l'adaptation permet de créer de nouveaux équilibres où les sociétés sont en mesure de mieux faire face à la variabilité des nouvelles conditions climatiques comme l'illustre la figure 8. Dans les milieux naturels, les populations végétales et animales s'adapteront également, mais plus lentement, de façon réactive, et subiront davantage l'impact des changements climatiques.

FIGURE 8 : ADAPTATION À UNE NOUVELLE VARIABILITÉ CLIMATIQUE



Source : Ouranos (2007)

Comme les avantages de l'adaptation se font sentir directement à l'échelle locale, plusieurs mesures d'adaptation seront prises spontanément par les individus et les entreprises; on parle donc ici d'adaptation spontanée. En effet, des changements de comportement résulteront inévitablement des événements climatiques particulièrement marquants ou encore de changements de prix de différentes commodités en réponse à des changements dans les conditions climatiques. Par exemple, les compagnies d'assurances, par leurs prix et l'étendue de la couverture qu'ils offrent, envoient un signal fort au sujet des risques climatiques et encouragent, par le fait même, une meilleure gestion de ces risques par les individus et les firmes. De même, le secteur agricole qui fait face, année après année, à des changements nombreux et constants, tant sur les plans climatique que commercial et technologique, possède une grande capacité d'adaptation, tant à court qu'à moyen terme, par les choix de cultures, de cultivars et une grande panoplie d'équipements.

Ces adaptations spontanées ne permettront pas cependant de pallier à tous les impacts et d'autres mesures d'adaptation devront être planifiées en fonction des changements anticipés à l'aide des modèles climatiques et des analyses d'impacts. En effet lorsqu'il s'agit de modifier les aménagements et les infrastructures, développer des technologies nouvelles ou mettre en place des mécanismes de partage des risques, on devra avoir recours à des politiques, des mesures ou des projets plus coûteux demandant souvent une action collective. Différents types d'impacts nécessiteront une combinaison différente ou une séquence différente de stratégies d'adaptation. Le tableau 4 illustre quelques exemples de stratégies d'adaptation. Ces adaptations, dites planifiées, devront démontrer leur pertinence notamment à l'aide d'outils d'analyse. À cet égard, la planification de l'adaptation représente un défi en raison des incertitudes inhérentes aux projections et aux différentes perceptions quant aux façons et au moment d'agir.

TABLEAU 4. TYPES D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

	Mesures préventives	Mesures correctives
Entités privées	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Achat d'assurances ▪ Révision de stratégies d'affaires ▪ Changements dans les normes ou pratiques d'ingénierie ▪ Étude de vulnérabilité ▪ Changement dans le choix des cultures ou des cultivars ▪ Augmentation de la capacité de fabrication de neige artificielle 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modification de pratiques agricoles en raison de meilleures récoltes ▪ Prise en charge des coûts des impacts ▪ Utilisation accrue de systèmes de climatisation ▪ Changement des primes d'assurance (IPCC) ▪ Irrigation accrue ▪ Relocalisation de bâtiments ▪ Relocalisation d'infrastructure
Entités publiques	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mesures incitatives pour la relocalisation d'infrastructure ▪ Modification du zonage ▪ Subvention à la recherche ▪ Mise en place de systèmes d'alerte ▪ Éducation et sensibilisation ▪ Diversification des sources d'énergie ▪ Mesure de protection de l'environnement ▪ Construction et modification d'infrastructures 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Compensations pour dommages ▪ Relocalisation forcée ▪ Relocalisation d'infrastructure ▪ Mise sur pied un système d'alerte des vagues de chaleur ▪ Modification des schémas d'aménagement

3. LA PLANIFICATION DE L'ADAPTATION ET LES OUTILS D'AIDE À LA DÉCISION

L'objectif de l'adaptation est de réduire la vulnérabilité d'un secteur ou d'une société aux changements climatiques ou encore de bonifier les occasions favorables que l'on pourrait en tirer éventuellement. Cependant, l'adaptation aux changements climatiques entraîne aussi des coûts directs et indirects, que ce soit pour l'entité qui la met en œuvre ou pour ceux qui y sont associés indirectement. Une stratégie d'adaptation n'est donc pas, *a priori*, nécessairement rentable ou avantageuse pour l'individu, l'entreprise ou la société et doit, en conséquence, faire l'objet d'une évaluation précise. De façon générale, la mise en œuvre d'une stratégie devrait se traduire par des coûts d'adaptation moindres que les avantages obtenus. En outre, très souvent il faudra choisir entre plusieurs mesures d'adaptation à court, moyen et long terme, certaines étant plus coûteuse que d'autres. Il y a donc plusieurs choix à effectuer. Plus l'écart entre les coûts et les avantages sera important, plus la stratégie sera efficiente et ceci implique donc de comparer les coûts de la mise en œuvre des diverses solutions avec les avantages résultant de la réduction des impacts.

Dans certains cas, la prise de décision est relativement simple et l'évaluation pourra être sommaire. Par exemple, le coût de la mise en place d'un système d'alerte aux vagues de chaleur se justifie largement par le nombre de vies humaines qu'il permet d'épargner. À ce titre, les crises de santé publique en France et en Italie à l'été 2003 auraient pu être amoindries en présence d'un tel système. Il en va autrement lorsque le décideur public doit, par exemple, analyser la pertinence de différentes solutions d'investissements majeurs dont les coûts et les échéanciers sont très différents comme par exemple pour faire face à l'érosion côtière ou lorsque l'exploitant agricole doit analyser la pertinence de plusieurs mesures d'adaptation aux changements de température et de précipitations. Dans ces cas, la prise de décision sera en général facilitée par l'usage d'un outil d'aide à la décision fournissant notamment un éclairage économique sur l'efficacité de la stratégie, tant pour les décideurs privés que publics aux échelles locales, régionales ou nationales.

3.1. Le processus de prise de décision

Plusieurs types d'outils d'aide à la décision sont disponibles. À cet égard, la nature de l'information et donc du type d'outils dont le décideur a besoin variera selon ses préoccupations. Un investisseur privé, par exemple un agriculteur, analysera son projet d'adaptation en se basant essentiellement sur sa propre perspective. Il aura donc surtout besoin d'une analyse financière lui permettant de juger du bien-fondé de mettre en œuvre une ou plusieurs mesures d'adaptation en ne considérant que les coûts et avantages qu'il aura à supporter personnellement.

Par contre, une autorité publique pourra, et devra la plupart du temps, évaluer la contribution du projet au bien-être économique de l'ensemble de la population de son territoire. Par exemple, une municipalité devra bien sûr mesurer l'incidence d'un projet d'adaptation sur ses propres revenus, mais elle devra surtout considérer les effets sur le bien-être et les revenus de l'ensemble de la population municipale. Dans ce contexte, l'analyse financière devra être complétée pour prendre en compte, non seulement les coûts privés, mais l'ensemble des coûts et des avantages sociaux de la stratégie d'adaptation.

Pour une autorité publique, le choix de l'outil d'aide à la décision dépendra également du type de critères sur lesquels elle entend baser sa décision. Par exemple, elle peut souhaiter mettre en place une stratégie d'adaptation décidée et définie a priori, sur la base de critères autres qu'économiques. C'est le cas, par exemple, pour des projets de sécurité publique comme les plans d'urgence, qui sont mis en œuvre pour atteindre un objectif précis. Le décideur aura alors besoin d'une analyse permettant de déterminer quel projet permet d'atteindre l'objectif aux moindres coûts. Dans d'autres cas, les considérations financières et le taux de rendement ne constituent pas des indicateurs suffisants pour analyser la pertinence d'un projet et une approche d'analyse alternative faisant intervenir différents éléments complémentaires non monétaires doit alors être retenue.

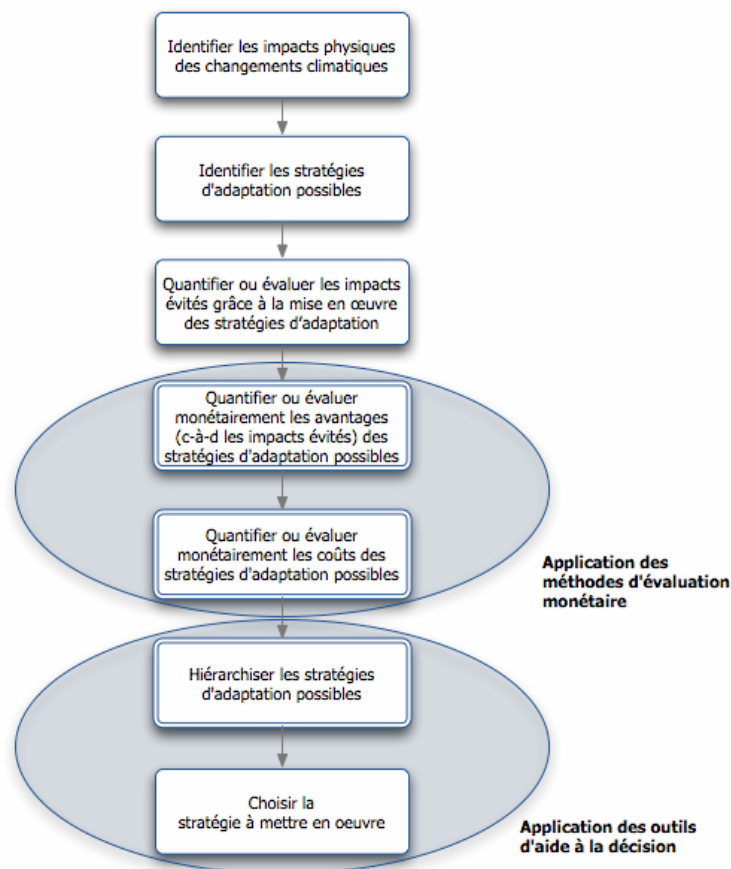
Les différents types d'intervenants, ainsi que les différents critères, sur lesquels ils peuvent baser leur décision, déterminent le choix de l'outil d'aide à la décision. Ce guide décrit quatre types d'outils : l'analyse financière, l'analyse coûts-avantages, l'analyse coûts-efficacité et l'analyse multicritères. Chacun d'eux est présenté à la section 3.2. La Figure 9 schématise le processus décisionnel au cours duquel les impacts physiques des changements climatiques, les différentes stratégies d'adaptation et les transpositions en termes monétaires des impacts et des stratégies pourraient être utilisés pour déterminer la pertinence des stratégies d'adaptation.

La présélection des stratégies d'adaptation possible doit permettre de déterminer la ou les mesures d'adaptation qui feront l'objet d'une analyse. Les mesures d'adaptation seront définies en fonction de l'ampleur des différents impacts appréhendés ainsi que des priorités et objectifs généraux recherchés (par exemple, la volonté de maintenir des infrastructures de tourisme, de conserver des milieux humides ou de préserver un développement domiciliaire donnera lieu à des stratégies différentes). Il faudra ensuite décrire, pour chacune des stratégies retenues, ce qui devrait se produire si elles étaient mises en œuvre et comparer ce résultat avec ce qui se produirait si aucune stratégie d'adaptation n'était appliquée. Les avantages physiques découlant des stratégies d'adaptation correspondent donc à la réduction des impacts

découlant des stratégies d'adaptation (ou à l'augmentation des avantages que certains changements climatiques procurent) par rapport à une situation de référence où l'on n'intervient pas.

Les techniques d'évaluation monétaire permettent pour leur part, d'exprimer en termes monétaires les coûts des stratégies d'adaptation ainsi que les avantages qui découlent de ces stratégies. Les coûts des stratégies correspondent aux coûts de mise en œuvre et, lorsqu'il y a lieu, aux coûts externes de la stratégie. Les avantages de la stratégie d'adaptation correspondent aux coûts des impacts que la stratégie devrait permettre d'éviter (ou à l'augmentation des avantages que certains changements climatiques procurent) ainsi qu'aux éventuels co-avantages découlant de la stratégie.

FIGURE 9. LE PROCESSUS DE PRISE DE DÉCISION EN ADAPTATION



De façon générale, bien que plusieurs critères interviennent dans la prise de décision, celui des avantages nets de l'action joue un rôle prédominant. Dans ce contexte, le degré d'exhaustivité de l'analyse variera selon les objectifs de l'étude. Lorsque l'objectif est de déterminer si une stratégie est rentable pour la société ou l'individu, l'analyse se limitera généralement à comparer les coûts de la stratégie avec les

principaux avantages. Il n'est alors pas nécessaire de mesurer tous les avantages, mais uniquement ceux permettant de démontrer la rentabilité du projet d'adaptation. Dans cette optique, si les coûts de la stratégie d'adaptation sont supérieurs aux avantages qui en découlent, la stratégie n'est pas rentable et la situation sans adaptation est préférable. Lorsque l'on compare différentes stratégies entre elles pour les hiérarchiser et déterminer celle qui est la plus efficace, l'analyse devra souvent être plus exhaustive et demandera une analyse plus élaborée des avantages.

Afin d'évaluer les avantages d'une stratégie d'adaptation, il convient d'en comparer les résultats à ceux d'un scénario sans intervention, c'est le scénario dit de « référence » où les effets des changements climatiques seraient subis sans bénéficier de mesures d'adaptation. Deux types de scénarios de référence peuvent être retenus :

- Un *scénario de référence statique* considère que les variables socioéconomiques demeureront les mêmes dans le temps pour la région à l'étude. Par exemple, dans le cas des impacts sur la productivité agricole, un scénario de référence statique considérerait qu'en l'absence de changements climatiques, les taux de productivité ne changeraient pas au cours de la période d'étude et que seuls les changements climatiques affecteraient les rendements;
- Un *scénario de référence dynamique* permet de tenir compte de l'évolution dans le temps des autres variables telles que la technologie et la démographie. Par exemple en agriculture, le scénario de référence dynamique tiendrait compte de l'augmentation de la productivité agricole dans le temps notamment due aux changements technologiques et à leur diffusion à l'échelle de la planète, indépendamment des stratégies d'adaptation. Sur un autre plan, un scénario de référence dynamique prendrait en compte la croissance démographique attendue et celle du parc immobilier correspondant dans l'évaluation des impacts.

Bien que l'utilisation du second type de scénario de référence soit en principe souhaitable, l'utilisation d'un scénario de référence statique peut être tout à fait convenir et permettre ainsi de réduire les coûts de l'exercice d'évaluation. Ceci étant dit, il est préférable d'évaluer les conséquences par rapport à un scénario de référence dynamique lorsqu'on soupçonne qu'un ou des changements environnementaux ou socioéconomiques significatifs surviendront au cours de la période étudiée.

L'évaluation des stratégies d'adaptation doit aussi prendre en compte la dynamique temporelle, l'incertitude et les enjeux d'équité associés à ces stratégies. Ceux-ci seront abordés en plus de détails dans les parties 5 et 6 de ce document.

3.2. Les outils d'aide à la décision

Différents outils d'aide à la décision peuvent être utilisés pour évaluer la pertinence des stratégies potentielles d'adaptation. Les plus utilisés sont l'analyse financière, l'analyse coûts-avantages et l'analyse coût-efficacité qui reposent essentiellement sur des techniques d'évaluation économique ainsi que l'analyse multicritères qui intègre plusieurs indicateurs non monétaires.

3.2.1. L'analyse financière

De nombreux projets d'adaptation relèveront, pour l'essentiel, des décisions individuelles de divers agents économiques tels que propriétaires occupants et propriétaires de logements locatifs, sociétés de services publics, agriculteurs ou entreprises. Dans ces cas, l'analyse du projet cherchera essentiellement à mesurer les conséquences du projet d'adaptation par rapport aux préoccupations de ces derniers soit d'un point de vue essentiellement privé.

Dans ce type de situation, la décision reposera essentiellement bien souvent sur :

- la viabilité financière d'un projet à partir d'une estimation des flux de revenus et dépenses prévus;
- la rentabilité du projet exprimée sous la forme de divers indicateurs de performance.

La viabilité financière du projet permet de démontrer que le projet ne se retrouvera pas à court de fonds. Les sources de fonds doivent donc couvrir les paiements d'année en année et le projet est viable si le flux de trésorerie cumulé est positif pour toutes les années considérées. Du côté des revenus, il faut prendre en compte les fonds propres, les contributions publiques, ainsi que les éventuels revenus autonomes générés par le projet. Du côté des dépenses, il faut prendre

en compte les coûts d'investissement (terrain, bâtiments, etc.) et les coûts d'exploitation (personnels, matières premières, énergie, etc.), les intérêts, le remboursement des prêts et le paiement des taxes. Les éléments qui ne donnent pas lieu à une dépense monétaire effective sont exclus de l'analyse, par exemple l'amortissement. De plus, il est généralement recommandé d'utiliser, dans ce type d'analyse, les dollars courants afin de refléter les flux financiers effectués.

L'actualisation

Les individus démontrent en général sur le plan des revenus et de la consommation une nette préférence temporelle pour le présent (un revenu de 1000 \$ aujourd'hui vaut plus que le même montant dans 10 ans). De même, un capital investi dans diverses activités procurera un rendement croissant. Afin de refléter cette préférence temporelle et ce coût d'opportunité, il faut ramener les flux de revenus et dépenses futurs à des valeurs présentes permettant de les comparer. Cette approche s'effectue par l'*actualisation* des revenus et des dépenses (voir section 5.1).

L'autre aspect de l'analyse porte sur la rentabilité financière du projet. Dans ce cas, on s'intéressera davantage à la rentabilité du projet en terme réel, c'est-à-dire en dollars constants, et on utilisera des valeurs de coûts et avantages ramenées à l'année de démarrage du projet à l'aide de l'actualisation. Pour évaluer la rentabilité du projet en elle-même et par rapport à d'autres solutions, on aura recours généralement à un certain nombre d'indicateurs de performance.

Parmi les indicateurs de performance pouvant être calculés, l'indicateur le plus simple est la période de recouvrement de l'investissement. Ainsi, on dira d'un projet dont les profits annuels permettent de rembourser l'investissement consenti en six ans que son temps de retour sur l'investissement est de six. Ce concept est souvent utilisé, par exemple, pour les investissements visant l'économie d'énergie. Ce calcul simple et rapide ne donne qu'une idée approximative de la rentabilité et écarte souvent des projets dont les avantages sont plus importants sur la durée de vie du projet bien que moindres à court terme.

Deux autres indicateurs sont également très utilisés soit :

- la valeur actuelle nette (VAN);
- le taux de rendement interne (TRI).

La VAN est la valeur des avantages découlant d'un projet d'adaptation, moins les dépenses requises pour réaliser ce projet. Les avantages et les dépenses doivent être actualisés à l'aide d'un taux d'actualisation. Lors d'une analyse financière, le taux d'actualisation est défini *a priori* et reflète généralement le coût d'opportunité du capital nécessaire pour financer le projet. Un projet est considéré comme rentable si la VAN est positive. Lorsque l'analyse vise à comparer différents projets, celui qui possède la VAN la plus élevée sera préféré.

Pour sa part, le TRI est le taux d'actualisation pour lequel la VAN d'un projet est égale à zéro. Il représente le taux de rendement propre de l'investissement ou encore le taux pour lequel la valeur actualisée des avantages de l'adaptation est égale à la valeur actualisée des coûts requis pour réaliser le projet. Le TRI est un taux d'actualisation qui n'est pas défini *a priori*, mais résulte du calcul des revenus et des dépenses dans le temps. Lorsque l'analyse vise à comparer différents projets, celui qui possède le TRI le plus élevé sera préféré puisqu'il reflétera une plus grande rentabilité. Toutefois, le TRI présente des inconvénients qui en rendent l'utilisation douteuse, dont le fait qu'il peut admettre plusieurs valeurs différentes pour une même analyse (Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, 1998, p.43).

Les deux indicateurs sont utilisés comme critère de classification des stratégies d'adaptation, mais la VAN demeure la meilleure règle de décision. Ces deux indicateurs sont calculés à partir du flux de trésorerie

total décrivant les coûts et avantages financiers assumés par le décideur. L'approche est assez standard et tous les logiciels de gestion de données calculent automatiquement la valeur de ces deux indicateurs. Notons que l'analyse doit être effectuée sur une période de temps suffisamment longue pour prendre en compte l'ensemble de la durée de vie économique du projet et couvrir les impacts à moyen et long terme. À titre d'exemple, pour la majorité des infrastructures cette perspective est d'au moins 20 à 30 ans (Tableau 5).

TABLEAU 5 : PERSPECTIVE TEMPORELLE MOYENNE (EN ANNÉES) RECOMMANDÉE POUR LA PÉRIODE 2000-2006

Projets par secteur	Perspectives moyennes (années)
Énergie	25
Eau et environnement	30
Chemins de fer	30
Routes	25
Ports et aéroports	25
Télécommunications	15
Industrie	10
Autres services	15

Source : Commission européenne (2003)

ENCADRÉ 1. LES ÉTAPES DE LA DÉMARCHE D'ANALYSE FINANCIÈRE

Étape 1 : Identifier les impacts physiques des changements climatiques.

Étape 2 : Définir l'objectif du projet ou de la politique de réduction des impacts.

Étape 3 : Identifier les différentes solutions d'adaptation permettant d'atteindre l'objectif.

Étape 5 : Évaluer monétairement, pour le décideur, les coûts annuels prévus des stratégies d'adaptation.

Étape 4 : Identifier et quantifier, pour le décideur, les avantages découlant de la réduction des impacts suite à la mise en œuvre des solutions d'adaptation.

Étape 6 : Évaluer monétairement, pour le décideur, les avantages découlant de la réduction des impacts suite à la mise en œuvre des solutions d'adaptation.

Étape 7 : Déterminer la viabilité financière du projet.

Étape 8 : Déterminer la valeur actuelle nette (VAN) selon le coût d'opportunité du capital.

Étape 9 : Prendre en compte l'incertitude (voir section 5.2).

Étape 10 : Choisir l'option maximisant les avantages sur la base des résultats des étapes 8 et 9.

Bien que la détermination de la rentabilité financière soit essentielle pour tout projet d'investissement le moins significatif, cette approche reste limitée dans la mesure où elle ne considère que les coûts et les avantages affectant le décideur. L'éclairage fourni par cette analyse est donc partiel.

3.2.2. L'analyse coûts-avantages

L'analyse coûts-avantages consiste à comparer, du point de vue de l'ensemble de la société, les coûts et les avantages encourus par tous les agents, incluant les coûts et avantages sociaux n'ayant pas de valeur marchande (par exemple, les avantages environnementaux). L'analyse coûts-avantages tente donc d'exprimer en une unité de mesure uniforme, généralement monétaire, toutes les conséquences d'un projet donné. Elle permet de résumer un ensemble complexe de coûts et d'avantages ainsi que la fiabilité de leur estimation de manière à aider la prise de décision. Dans la sphère publique, elle est utilisée pour évaluer de façon cohérente les avantages et les inconvénients associés à des modifications de politiques ou à de

nouveaux projets. Elle est souvent obligatoire pour les projets importants dans certains pays même si elle ne constitue évidemment pas la base unique de décision¹.

Dans l'analyse coûts /avantages l'évaluation des coûts et des avantages ne peut pas toujours se fonder uniquement sur les prix observés sur le marché. Il faut également prendre en compte les effets de la fiscalité, les « défaillances du marché ».

La fiscalité représente souvent un transfert de fonds entre agents économiques et non des coûts ou des avantages sociaux. Une correction fiscale visant à déduire les subventions, les taxes et les impôts des coûts observés s'impose donc. Ainsi, dans un projet bénéficiant d'une aide publique, le coût considéré doit être celui du projet sans la subvention.

Pour sa part, la correction à l'égard des « défaillances du marché » s'effectue à deux niveaux. Du point de vue de l'environnement, il faut intégrer les externalités environnementales qui ne sont généralement pas intégrées dans les prix de marché, c'est le cas par exemple de la pollution atmosphérique des usines qui affecte les populations avoisinantes et dont la valeur n'est pas intégrée au coût de production. La même logique s'applique pour tenir compte des impacts sur la morbidité et la mortalité pour les projets qui ont une incidence sur la santé humaine. Enfin, des corrections doivent être faites lorsqu'il existe de fortes distorsions de prix dues à un marché imparfait, notamment

Les externalités

En économie on considère comme une « externalité » les conséquences négatives ou positives (une perte de bien-être ou un gain) d'une transaction pour un tiers qui n'est pas partie prenante à la transaction. Les changements climatiques illustrent très bien cette situation puisque les conséquences négatives associées aux émissions de GES qui ne sont pas intégrées dans les coûts de production, notamment de l'énergie, affectent l'ensemble des habitants de la planète. Dans un tel contexte, le marché est qualifié de défaillant puisqu'il ne permet pas de refléter dans les prix ce type de

dans le cas de situation de monopole naturel ou artificiel, de prix réglementés et de biens publics. Cela pourrait être le cas, par exemple, d'un projet qui requiert de grandes quantités d'eau, dont le coût d'approvisionnement ne reflète pas le coût d'opportunité réel pour la société.

¹ L'analyse coûts-avantages fait partie intégrante du processus d'étude d'impact de la réglementation du gouvernement fédéral au Canada. La politique québécoise d'allègement réglementaire exige une étude d'impact réglementaire pour tout projet de plus de 10 millions de dollars indiquant, pour chacune des solutions envisagées, les avantages escomptés et les coûts prévisibles, comparativement au maintien du statu quo, ceux-ci étant évalués en termes quantitatifs. Elle constitue une démarche obligatoire pour les projets financés par le Fonds de cohésion européen dans le domaine de l'environnement et du transport..

Les coûts et avantages doivent également être corrigés pour prendre en compte leur répartition dans le temps. Ainsi dans bien des cas des coûts importants d'investissements sont encourus dans les toutes premières années d'un projet alors que les bénéfices sont récoltés au cours de plusieurs décennies. Or les individus et la société accordent en général une plus grande valeur à un bien ou service disponible dans l'immédiat ou prochainement par rapport à un autre disponible plus tard (une somme de 1000 \$ aujourd'hui n'a pas la même valeur qu'une somme identique obtenue dans 10 ans.); c'est ce que l'on appelle la préférence temporelle. Plusieurs raisons justifient cette préférence temporelle dont le coût d'opportunité du capital, le coût d'emprunt ainsi que l'incertitude relative à la jouissance future. Afin de ramener ces biens et services sur une même base de comparaison, il est ainsi d'usage en économie de les multiplier par un taux d'actualisation qui en réduit la valeur en fonction du temps écoulé.

La détermination du taux d'actualisation constitue une variable importante et souvent critiquée des analyses coûts-avantages. Pour plusieurs économistes de l'environnement, le taux d'actualisation prescrit par les organismes financiers et budgétaires apparaît comme trop élevé et sous-estime la valeur des investissements sociaux et de protection de l'environnement dont les bienfaits se produisent sur une très longue durée. Comme il s'agit de déterminer l'optimalité sociale des projets, le taux retenu ne peut pas se limiter au coût d'opportunité du capital (déterminé par le rendement attendu pour un projet similaire), mais doit chercher à refléter la préférence sociale pour le temps qui se traduit souvent par un taux d'actualisation plus bas. La question est difficile puisque plusieurs taux peuvent être utilisés et le taux retenu peut avoir une influence déterminante sur le résultat de l'analyse et on recourra à cette fin à l'analyse de sensibilité pour en bien saisir l'importance comme on le verra à la section 5.1 portant sur les diverses questions soulevées par l'actualisation des coûts et des avantages.

Lorsque l'ensemble des coûts est identifié, et que ces derniers sont corrigés et actualisés, plusieurs indicateurs peuvent être retenus pour décrire la rentabilité d'une stratégie d'adaptation soit : la valeur actuelle nette (VAN), le ratio avantages-coûts (A/C) et le taux de rendement interne (TRI) :

- 1) La valeur actualisée nette (VAN) compare la somme des avantages actualisés à la somme des coûts actualisés associés au projet d'adaptation et supportés par l'ensemble des agents. La VAN correspond donc à la valeur nette du projet et un projet est considéré rentable si la VAN est positive. Lorsque l'analyse vise à comparer différents projets, celui qui possède la VAN la plus élevée sera préféré;
- 2) Le ratio avantages-coûts (A/C) correspond aux avantages actualisés divisés par les coûts actualisés associés au projet d'adaptation et supportés par l'ensemble des agents. De façon générale, un projet est jugé rentable pour la société si son ratio avantages monétaires nets sur

coûts monétaires nets est supérieur à 1 et l'option dont le ratio est le plus élevé sera jugée la plus rentable. Toutefois, l'utilisation du ratio avantages-coûts à cette fin est plus délicate en raison de la difficulté de définir de ce que l'on entend par coût et avantage. En effet, il est possible dans l'analyse de comptabiliser un coût plutôt sous la forme d'un avantage négatif ou inversement. Par exemple lorsque l'édification d'un mur de protection contre l'érosion côtière engendre des pertes pour certains propriétaires localisés dans une zone adjacente, ces pertes peuvent être considérées comme un coût de mise en œuvre du programme ou une réduction de l'avantage de protection contre l'érosion découlant du projet d'adaptation. Les deux façons de procéder sont acceptables, mais le ratio avantages-coûts (A/C) pourrait être artificiellement accru ou réduit selon l'approche retenue;

- 3) Le TRI est le taux d'actualisation pour lequel la VAN d'un projet sera nulle. Il s'agit du taux pour lequel la valeur actualisée des avantages résultant d'un projet d'adaptation est égale à la valeur actualisée des coûts requis pour réaliser ce projet. Le taux d'actualisation n'est alors pas défini a priori, mais résulte du calcul des revenus et des dépenses. Lorsque l'analyse vise à comparer différents projets, celui qui possède le TRI le plus élevé sera préféré puisqu'il reflètera une plus grande rentabilité. Toutefois, le TRI présente des inconvénients qui en rendent l'utilisation délicate, dont le fait qu'il peut admettre plusieurs valeurs différentes pour une même analyse (Secrétariat du Conseil du Trésor, 1998).

Les trois indicateurs sont utilisés comme critères de classification des stratégies d'adaptation, mais la VAN reste la meilleure règle de décision (Secrétariat du Conseil du Trésor, 1998). Ces indicateurs sont calculés à partir des coûts et avantages assumés par l'ensemble de la société à partir d'une approche standard (tous les logiciels de gestion de données calculent automatiquement la valeur de ces indicateurs). Notons que l'analyse coûts-avantages, tout comme pour l'analyse financière, doit être effectuée sur une période de temps suffisamment longue pour prendre en compte l'ensemble de la durée de vie économique du projet et couvrir les impacts à moyen et long terme. La prise en compte des coûts environnementaux répartis sur une très longue période de temps peut cependant nécessiter une prise en compte plus longue pour refléter l'ensemble de ces coûts environnementaux.

ENCADRÉ 2. LES ÉTAPES DE LA DÉMARCHE D'ANALYSE COÛTS-AVANTAGES

Étape 1 : Identifier les impacts physiques des changements climatiques

Étape 2 : Définir l'objectif du projet ou de la politique de réduction des impacts.

Étape 3 : Identifier les différentes solutions d'adaptation permettant d'atteindre l'objectif.

Étape 4 : Évaluer monétairement, pour l'ensemble des intervenants, les coûts annuels prévus des solutions d'adaptation.

Étape 5 : Identifier et quantifier, pour l'ensemble des intervenants, les avantages de la réduction des impacts suite à la mise en œuvre des solutions d'adaptation.

Étape 6 : Évaluer monétairement, pour l'ensemble des intervenants, les avantages de la réduction des impacts suite à la mise en œuvre des solutions d'adaptation.

Étape 7 : Déterminer la valeur actuelle nette (VAN) selon le taux d'actualisation choisi.

Étape 8 : Prendre en compte l'incertitude (voir section 5.2).

Étape 9 : Analyser les effets redistributifs des différentes options (voir section 5.3)

Étape 10 : Choisir l'option maximisant les avantages sur la base des résultats des étapes 7 et 8.

Bien que l'analyse coûts-avantages soit fort utile pour éclairer la prise de décision, elle fait face à cinq difficultés dont il faut être bien conscient : la difficulté d'évaluer l'ensemble des impacts pour tous les différents intervenants, l'évaluation monétaire des impacts non marchands, la détermination du taux d'actualisation, la détermination de l'incertitude et la prise en compte des aspects redistributifs. Ce n'est que dans la mesure où l'analyse prend pleinement en compte ces difficultés, qu'elle peut être utilisée efficacement pour déterminer les projets ou activités les plus susceptibles d'améliorer le bien-être de la société.

3.2.3. L'analyse coûts-efficacité

L'analyse coûts-efficacité est utilisée pour déterminer la façon la moins coûteuse d'arriver à un objectif d'adaptation donné. Concrètement, elle implique de comparer les diverses options d'adaptation qui permettent d'atteindre cet objectif. Le résultat de l'analyse peut être considéré comme étant le prix du changement recherché par la stratégie d'adaptation. L'option la moins coûteuse pour atteindre un objectif donné sera considérée comme la plus efficace.

L'analyse coûts-efficacité constitue l'outil le plus approprié lorsque la réalisation de l'objectif est déjà décidée, qu'il s'agisse de la sécurité des populations ou de la protection d'une espèce menacée, ou lorsque les avantages de la stratégie d'adaptation, soit les impacts évités, ne peuvent être évalués monétairement à l'intérieur des contraintes financières et de temps. Dans ce type de situation, la préoccupation du décideur est de déterminer la solution optimale pour atteindre l'objectif et non de s'interroger sur la justification de la politique.

L'analyse coûts-efficacité offre l'avantage, par rapport à l'analyse coûts-avantages, de ne pas exiger l'évaluation monétaire des impacts évités. En effet, si les différentes options d'adaptation fournissent les mêmes avantages, seuls les coûts des stratégies d'adaptation doivent être évalués monétairement. La tâche associée à l'analyse coûts-efficacité est en conséquence moins lourde, mais seulement dans la mesure où les différentes options d'adaptation comparées offrent les mêmes avantages. Cette simplicité constitue également le principal inconvénient de l'analyse coûts-efficacité puisqu'en ne comparant pas l'ensemble des coûts et l'ensemble des avantages, il est impossible de déterminer si la stratégie d'adaptation analysée est intrinsèquement bénéfique. Par ailleurs, dans plusieurs cas, les stratégies d'adaptation ne mènent pas à des résultats identiques². Par exemple, bien que les toits verts et les toits blancs puissent aider à se prémunir contre la canicule, les toits verts offrent en plus une panoplie d'autres avantages environnementaux. L'analyse coûts-efficacité se limitera donc généralement à présenter les coûts actualisés des différentes stratégies d'adaptation pour des avantages jugés équivalents.

² Dans le cas où les options d'adaptation ne permettent pas d'obtenir des avantages jugés équivalents, les impacts évités grâce aux différentes options peuvent être traduits en « unités d'avantage » à l'aide de facteurs de pondération. Il est alors possible de déterminer un ratio coûts-efficacité (Ratio coûts-efficacité = Coût net/Unité d'avantage).

ENCADRÉ 3. LES ÉTAPES DE LA DÉMARCHE D'ANALYSE COÛTS-EFFICACITÉ

Étape 1 : Identifier les impacts physiques des changements climatiques

Étape 2 : Définir l'objectif du projet ou de la politique de réduction des impacts.

Étape 4 : Identifier et définir les solutions d'adaptation permettant d'atteindre l'objectif.

Étape 5 : Évaluer monétairement les coûts des différentes solutions d'adaptation.

Étape 6 : Déterminer le coût actualisé de chaque option selon le taux d'actualisation choisi.

Étape 7 : Prendre en compte l'incertitude (voir section 5.2).

Étape 8 : Analyser les effets de redistribution des différentes options (voir section 5.3).

Étape 9 : Choisir l'option en tenant compte des résultats des étapes 6, 7 et 8.

3.2.4. L'analyse multicritères

Dans les cas où les coûts et les avantages principaux de l'adaptation ne se prêtent pas aux techniques de valorisation monétaire, des outils alternatifs d'aide à la décision devront être retenus. L'analyse multicritère constitue la principale méthode alternative permettant d'intégrer différents critères à la prise de décision. L'idée à la base de l'analyse multicritère est d'intégrer dans un cadre analytique structuré, différents types d'informations à la fois monétaires et non monétaires, afin de préciser le ou les scénarios de politique ou de projets préférés. L'analyse multicritère se substitue donc à l'analyse coûts-avantages ou à l'analyse coûts-efficacité en permettant la prise en considération d'autres valeurs que la seule dimension monétaire. Dans le cas des problèmes d'adaptation, on peut penser par exemple à la protection de l'environnement, aux valeurs culturelles ou encore des considérations de nature sociopolitique.

ENCADRÉ 4. LES ÉTAPES DE LA DÉMARCHE D'ANALYSE MULTICRITÈRES

Étape 1 : Identifier les impacts physiques des changements climatiques

Étape 2 : Définir l'objectif du projet ou de la politique de réduction des impacts ainsi que la démarche qui sera suivie dans la réalisation de l'analyse.

Étape 3 : Identifier et définir les différentes stratégies d'adaptation qui permettent d'atteindre l'objectif.

Étape 3 : Composer le groupe d'évaluation et sélectionner des critères de décision.

Étape 4 : Identifier le poids relatif de chacun des critères.

Étape 5 : Évaluer les stratégies d'adaptation en octroyant une valeur numérique pour chacun des critères à l'aide d'une échelle de mesure (tableau des performances – voir Tableau 6) à partir de l'information qualitative, quantitative et monétaire disponible.

Étape 6 : Pour chaque stratégie d'adaptation, agréger les valeurs numériques obtenues pour chaque critère selon différentes méthodes pour obtenir une « note » globale.

Étape 7 : Choisir l'option qui offre la meilleure performance.

La séquence de la démarche d'analyse multicritères, décrite à l'encadré 4, ne doit pas être considérée de façon rigide, mais plutôt comme une approche itérative. Les différentes étapes peuvent être révisées à mesure que les connaissances et l'information augmentent dans le processus de décision.

Alors que les premières étapes sont communes à toutes les méthodes d'analyse multicritères, plusieurs méthodes d'agrégation ont été développées pour comparer entre eux les stratégies ou projets et déterminer la ou les plus souhaitables. La méthode d'agrégation la plus simple est la somme pondérée pour chacun des scénarios, mais elle ne s'applique qu'à des problèmes simples comportant peu de dimensions. Les méthodes les plus courantes pour les problèmes plus complexes procèdent par classement, comparaison, hiérarchisation à la fois des critères et des scores de façon à obtenir un ordre de préférence entre eux. Ces méthodes prévoient également de retourner aux parties prenantes pour confirmer les ordres de préférence.

À titre d'exemple, si une communauté est confrontée au problème de l'érosion des berges, différentes stratégies d'adaptation peuvent être envisagées, notamment la construction d'une digue ou le déplacement avec compensation des résidants touchés (expropriation). Dans l'exemple présenté au Tableau 6, les parties prenantes ont identifié divers critères d'évaluation des stratégies d'adaptation et ont accordé un poids relatif à chacun de ces critères qui reflète l'importance relative de ces critères pour la communauté. Par la suite, chacune des stratégies est évaluée en fonction de chacun des critères (par exemple une note de 1 à 10), l'impact positif le plus grand recevant une note de 10. Ces résultats d'évaluation sont ensuite multipliés par le poids relatif que leur ont accolé les participants, puis additionnés pour déterminer la meilleure des stratégies envisagées. Dans notre exemple, la construction d'une digue apparaît moins avantageuse que le déplacement des habitants.

TABLEAU 6 : TABLEAU SIMPLIFIÉ DES PERFORMANCES

Scénarios Critères	Poids des critères	Dignes		Déplacement Expropriation	
		Évaluation	Résultat pondéré	Évaluation	Résultat pondéré
Impact économique	30 %	7	2,1	10	3
Impact social	25 %	10	2,5	6	1,5
Impact sur l'environnement	35 %	-4	-1,4	2	0,7
Impact sur le paysage	10 %	6	0,6	8	0,8
Total			3,8		6,0

Le succès d'une démarche multicritère est fortement tributaire d'une bonne définition du problème, d'un choix judicieux des critères utilisés et d'une pondération cohérente de ces critères. En faisant ressortir clairement les critères de décision, l'approche multicritère confère au processus de prise de décision un caractère de transparence. De plus, la participation des parties prenantes contribue à accroître la légitimité du processus de décision. Toutefois, l'analyse multicritères est tributaire de l'évaluation effectuée par les seuls participants à l'analyse et de la difficulté du choix des critères et de leurs poids respectifs, éléments centraux de l'analyse.

4. TECHNIQUES D'ÉVALUATION MONÉTAIRE DES IMPACTS ET DES STRATÉGIES D'ADAPTATION

Pour comparer les avantages des stratégies d'adaptation aux coûts de leur mise en œuvre, il faut les exprimer, là où c'est possible, en unité de mesure uniforme, d'où la pertinence d'exprimer là où c'est possible ces avantages et ces coûts en termes monétaires. Dans ce contexte, la section 4.1 aborde la question de l'évaluation physique des impacts alors que les sections 4.2, 4.3 et 4.4 décrivent les méthodologies d'évaluation monétaire des impacts sur les biens marchands, les biens non marchands et les solutions ou stratégies d'adaptation.

De façon simplifiée, l'évaluation monétaire des impacts évités grâce aux stratégies d'adaptation qui en sont les avantages peut se résumer à deux étapes, soit : (1) la quantification physique des impacts et (2) la transposition des impacts en termes monétaires, ce qui revient à multiplier le nombre d'unités affectées par leur valeur monétaire.

Lorsqu'ils affectent les biens marchands, les impacts peuvent être évalués en termes monétaires à l'aide de méthodes relativement simples, puisque le prix des biens marchands s'exprime sur un marché. Pour leur part, les coûts qui sont associés à la mise en œuvre des stratégies d'adaptation et dont il est question à la section 4.4 sont également, en grande partie, évalués à partir des prix de marché.

L'évaluation des impacts qui affectent les biens non marchands est souvent plus complexe, mais doit néanmoins être effectuée puisque les impacts évités sur des biens non marchands constituent souvent une partie importante des avantages associés à une stratégie d'adaptation, surtout du point de vue du décideur public. En effet, les impacts des changements climatiques sont susceptibles de réduire le bien-être des populations puisqu'ils peuvent affecter les attributs naturels, tels les plages et les milieux humides, et peuvent causer des torts à la santé. La section 4.3 présente les différentes méthodologies utilisées pour déterminer la valeur monétaire des biens non marchands touchés par les changements climatiques.

4.1. La quantification des impacts physiques

Comme il a été mentionné dans la description du processus décisionnel (Figure 9), l'identification de l'impact évité constitue la phase initiale de l'évaluation monétaire des avantages des stratégies d'adaptation. Les changements climatiques engendrent un ensemble d'impacts directs amenant à leur tour des impacts indirects (Figure 7). Ce sont ces impacts directs et indirects sur la société, sur les actifs et sur les activités économiques qui constituent la source de modification du bien-être des individus. L'évaluation monétaire représente la valeur économique que les individus attribuent à cette modification

de leur bien-être suite aux changements dans l'environnement. Dans le cas de l'évaluation des stratégies d'adaptation, il faudra donc chercher en premier lieu à quantifier la variation attendue des impacts directs et indirects résultant de la mise en œuvre des stratégies d'adaptation.

La détermination de l'ampleur des impacts attendus est difficile et se heurte entre autres à la multiplicité des facteurs qui influencent plus particulièrement l'évolution d'une société ou d'une activité économique. Cependant, les comparaisons inter-temporelles et entre différentes zones géographiques permettent en général de déterminer des relations significatives entre les indicateurs ou les variables climatiques et les niveaux d'activité ou de production. Par exemple, en observant les rendements agricoles en fonction des variations climatiques observées pour un site donné on peut déduire l'impact des augmentations de température qu'il s'agisse de températures estivales, printanières, de la date de dégel ou encore de températures nocturnes. De même, en comparant les rendements agricoles sous des latitudes plus chaudes, il est possible d'évaluer l'impact d'une augmentation des températures pour des sols de qualité comparable et un même niveau de précipitations.

La quantification physique est essentielle pour évaluer les principaux impacts associés aux changements climatiques et, dans un second temps, préciser la réduction des impacts obtenue par la mise en œuvre des solutions d'adaptation. Ces impacts physiques doivent être quantifiés à un niveau suffisamment précis pour répondre au besoin de l'analyse. Ainsi, des stratégies d'adaptation en milieu urbain visant à lutter contre les impacts des vagues de chaleur ne doivent pas être associées à une « amélioration de la santé » générale, mais bien à des indicateurs permettant de quantifier les progrès en matière de mortalité ou de morbidité évitées.

La démarche générale de quantification des impacts biophysiques peut être schématisée de la façon suivante :

- 1) Identifier les impacts directs et indirects potentiels;
- 2) Définir la problématique et les objectifs du décideur;
- 3) Sélectionner les impacts qui doivent faire l'objet d'une analyse;
- 4) Identifier les mesures d'adaptation les plus probables;
- 5) Quantifier la variation des impacts obtenue par la mise en œuvre des solutions d'adaptation;
- 6) Déterminer le niveau d'incertitude de l'évaluation des impacts potentiels et de la réduction;
- 7) Décrire les effets qualitatifs non quantifiables.

L'identification des impacts peut prendre la forme d'une matrice qui décrit les impacts directs et indirects associés aux changements climatiques. Selon les besoins de l'analyse et la nature des données disponibles, quelques-uns de ces impacts seront ensuite évalués en termes monétaires. Pour ce faire, les impacts retenus doivent être exprimés en termes adéquats pour permettre l'évaluation monétaire. Notons cependant que seuls les impacts qui donnent lieu à une évaluation quantitative pourront être transposés en termes monétaires. Les impacts qui ne sont pas quantifiés ne doivent cependant pas être omis lors de la prise de décision et la matrice des impacts devrait présenter les impacts qualitatifs aussi bien que quantitatifs.

4.2. Évaluation monétaire des impacts causés aux biens marchands

Les impacts des changements climatiques sur les biens marchands sont de deux types : les impacts sur les activités économiques et les impacts sur les équipements, bâtiments et infrastructures (le capital physique). Dans les deux cas, l'évaluation monétaire des impacts pourra être effectuée en utilisant les prix ayant cours sur leurs marchés respectifs. Dans le cas des activités économiques on aura recours pour évaluer l'effet net aux fonctions de production alors que dans le cas des actifs on utilisera plutôt la notion de coûts de remplacement.

Notons que, dans la plupart des cas, les impacts des changements climatiques seront marginaux et n'affecteront pas l'équilibre général du marché et donc les prix relatifs des biens affectés. Cependant là où les changements climatiques auront des impacts sur l'ensemble de la production, comme il est probable en agriculture, l'évaluation monétaire devra combiner l'effet prix à l'effet sur la production pour déterminer l'impact total sur la valeur de production.

4.2.1. La fonction de production

Le recours aux fonctions de production est particulièrement utile pour la mesure des impacts sur les activités économiques, qu'il s'agisse par exemple de production agricole ou forestière, de services touristiques ou de consommation d'énergie.

Ainsi, on pourra utiliser la mesure de la marge bénéficiaire brute dans la situation où une organisation subit une baisse de son niveau de production due aux conséquences des changements climatiques. En effet, les coûts des changements climatiques peuvent se mesurer simplement par l'évaluation des pertes associées à la baisse de la production dans la mesure où les impacts sur la production ou la consommation sont marginaux et n'engendrent pas de variation dans le prix des produits mis en marché.

L'évaluation monétaire pourra aussi se faire en multipliant la baisse de production anticipée pour chacune des périodes par le prix du produit. Comme la baisse de production peut aussi engendrer une baisse du coût de production, il faudra dans ce cas soustraire cette baisse du coût de production du revenu, de façon à ne considérer que les avantages perdus. Ainsi, cette méthode implique de déterminer une marge bénéficiaire pour chaque unité produite et de multiplier cette marge par la variation estimée de la production suite aux changements climatiques.

À titre d'exemple, le producteur de soya qui perd des superficies agricoles suite aux effets de l'érosion pourra mesurer sa perte en multipliant les volumes de soya qu'il ne pourra plus produire par sa marge bénéficiaire sur chaque tonne de soya. La même logique peut s'appliquer aux nuitées dans les lieux touristiques ou au nombre de kWh produits dans une région donnée. La méthode doit cependant s'appliquer avec discernement d'autant plus que dans plusieurs situations, les entreprises font face à des coûts fixes incompressibles.

Enfin, en ce qui concerne le prix, considérant les longues périodes sur lesquelles les changements climatiques s'opèrent il est important de s'interroger sur leur stationnarité. Même si l'analyse est généralement effectuée en dollars constants, il est possible que sur une longue période, les prix des produits évoluent à la baisse ou à la hausse en termes relatifs. Donc, si on s'attend à une hausse des prix relatifs de ce type de production, l'estimation à prix constant risque de sous-estimer la perte encourue.

4.2.2. Les dépenses de remplacement

Les impacts des changements climatiques peuvent également se traduire par des pertes aux milieux bâtis. Dans ces cas la valeur monétaire des actifs pouvant être dégradés est supposée refléter les impacts subis. L'évaluation de la perte des actifs immobiliers pourra être mesurée par l'évaluation foncière, la valeur marchande courante ou la valeur de remplacement. De façon générale, l'approche du coût de remplacement est celle qui donne la meilleure évaluation. Cependant, cette approche intègre mal les actifs ayant une valeur patrimoniale particulière et ne reflète pas nécessairement toutes les pertes d'usage pouvant être occasionnées qui devront alors être ajoutés au calcul.

4.3. Évaluation monétaire des impacts causés aux biens non marchands

Plusieurs éléments de coûts ne se prêtent cependant pas à l'application des techniques d'évaluation utilisant les prix de marché en raison de l'inexistence d'un marché pour ce type de biens ou de service pour différentes raisons. Parmi ceux-ci, on retrouve en premier lieu les éléments du patrimoine naturel qui doivent aussi être considérés dans les analyses portant sur l'adaptation aux changements climatiques. Or il

s'agit de véritables « biens et service » non marchands dans la mesure où ils sont souvent l'objet d'une utilisation finale directe par les consommateurs, sont utilisés comme facteurs de production dans l'activité économique ou encore parce que les écosystèmes naturels auxquels ils participent contribuent par leur existence au bien-être des individus. De même des biens et services socioculturels peuvent être affectés par les projets d'adaptation pour lesquels également diverses méthodes d'évaluation peuvent être utilisées.

En particulier en matière d'environnement plusieurs techniques sont disponibles pour calculer la valeur de ces biens et services. Celles-ci sont basées sur la prémisse que la détermination de la valeur économique de l'environnement revient donc à révéler des prix qui ne sont pas payés. Or, la révélation des avantages environnementaux repose sur une hypothèse centrale de l'économie du bien-être : les préférences individuelles forment la base de l'évaluation des avantages. Cette hypothèse place l'individu au centre de la procédure d'évaluation monétaire de l'environnement, puisque celle-ci découle de la prise en compte de l'ensemble des préférences individuelles. Il s'agit d'évaluer la valeur que le consommateur aurait accordée à ce bien si un véritable marché avait existé pour lui permettre d'exprimer ses préférences.

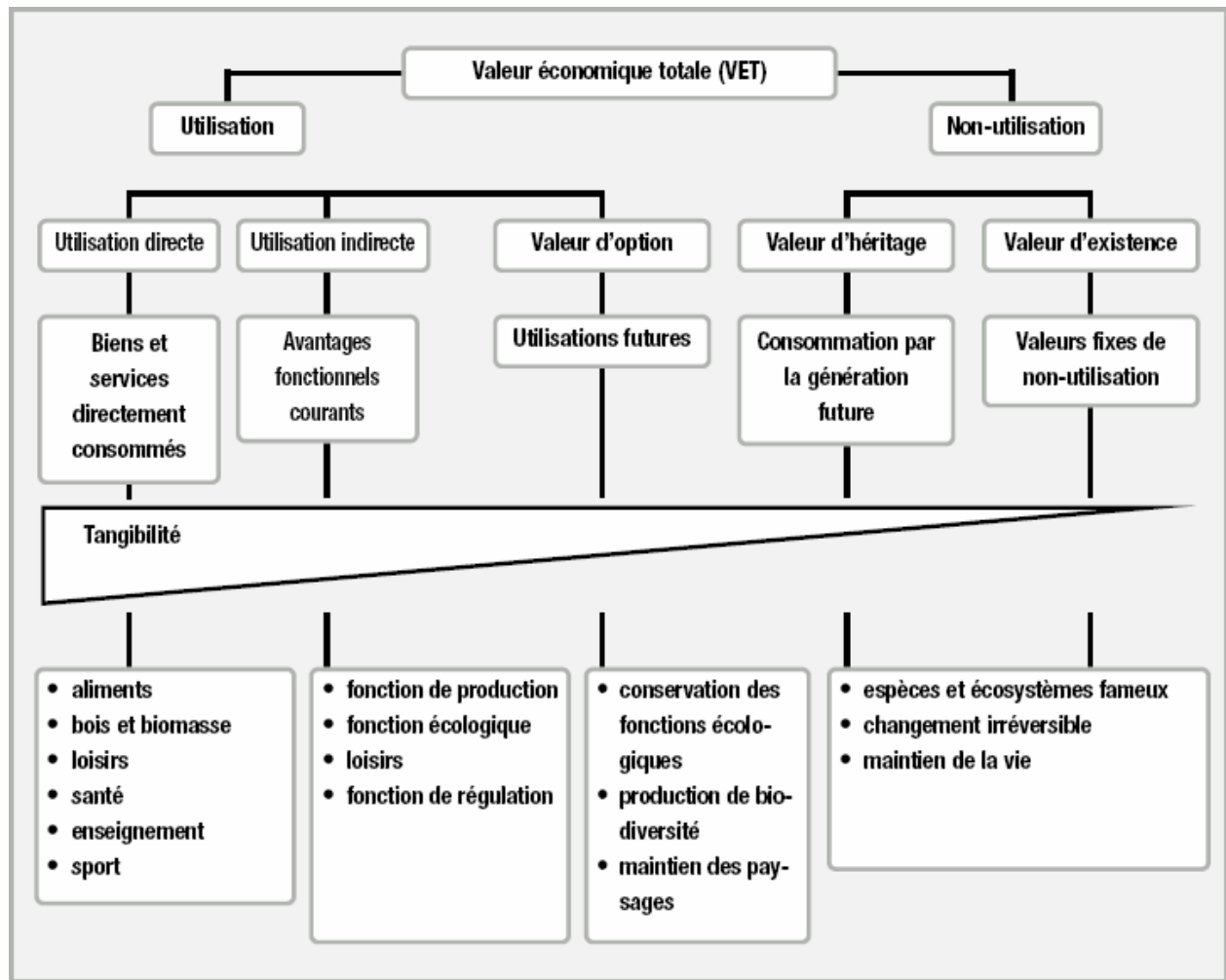
4.3.1. La valeur économique de l'environnement

La valeur économique de l'environnement est généralement décomposée en trois types de valeur : la valeur d'utilisation, la valeur d'option et la valeur d'existence (Figure 10) :

- La valeur d'utilisation regroupe l'ensemble des avantages découlant de l'utilisation actuelle d'une ressource, qu'il s'agisse d'activités commerciale, récréative ou de subsistance tels que la récolte de matières comestibles ou médicinales ou encore de fréquentation de lieux naturels pour des fins sportives ou touristiques;
- La valeur d'option fait référence à la valeur économique que les individus accordent à l'obtention ou au maintien d'une option d'utilisation directe et personnelle à l'égard d'un bien environnemental dans le futur tel que par exemple le maintien des paysages. Il s'agit donc de préserver « sa capacité de choix futurs ». De même, la valeur de quasi-option fait référence au consentement à payer pour préserver le bien et acquérir dans le temps l'information permettant de réduire les incertitudes et l'irréversibilité;
- La valeur d'existence, ou de non-utilisation, peut se définir comme la valeur économique que les individus accordent au fait qu'ils savent que la ressource existe dans la nature, indépendamment de toute forme d'utilisation personnelle présente ou future. Elle peut également inclure la notion de « legs » du capital naturel aux générations futures. Il en est ainsi par exemple des écosystèmes fameux et de la valeur des espèces rares et menacées.

Malgré les difficultés de l'estimation de la valeur économique totale des biens et services non-marchand celle-ci constitue un élément important de l'évaluation des stratégies d'adaptation. En effet, ne pas prendre en compte la totalité de la valeur économique peut entraîner une sous-estimation ou une surestimation des avantages sociaux du projet analysé et donc induire de mauvaises décisions économiques en particulier lorsque certaines stratégies engendrent des impacts importants sur les actifs environnementaux.

FIGURE 10 : LES SOURCES DE VALEUR QUI COMPOSENT LA VALEUR ÉCONOMIQUE TOTALE



Source : Adaptée à partir de Commission européenne (2003)

4.3.2. Les méthodes d'évaluation des biens non marchands

L'évaluation monétaire des biens non marchands s'effectue principalement à l'aide de trois méthodes : la méthode du coût de transport, l'évaluation hédonique et la méthode d'évaluation contingente. Les deux premières méthodes permettent d'évaluer indirectement les préférences des individus à partir d'un comportement observé sur des marchés complémentaires ou substituts alors que la troisième méthode évalue directement le consentement à payer à partir d'un marché simulé. Comme ces méthodes sont relativement coûteuses et complexes à mettre en œuvre, on utilisera souvent, pour simplifier l'exercice, le transfert de valeur qui consiste à utiliser des résultats d'évaluations monétaires existantes effectuées à l'aide de l'une ou l'autre de ces trois méthodes sur des problématiques similaires.

4.3.2.1. La méthode des coûts de transport

La méthode des coûts de transport permet d'évaluer la valeur de l'avantage associé à la fréquentation d'un site récréatif à partir des dépenses encourues pour effectuer le trajet du domicile jusqu'au site. L'évaluation du consentement à payer des individus pour l'utilisation de ces actifs environnementaux se base sur la relation entre le coût du trajet et le nombre de visites pour dériver une courbe de demande. La courbe de demande permet ensuite d'estimer l'avantage associé à la fréquentation de ce site ou encore le surplus du consommateur. Cette approche est recommandée par le Water Resources Council depuis 1979 et est très largement utilisée aux États-Unis ainsi qu'à l'échelle internationale pour l'évaluation des parcs nationaux. Cette méthode permet ainsi d'évaluer la valeur de zones récréatives (par exemple, les plages, les sites naturels, les sites de pêche, les marinas et les stations de ski) pouvant faire l'objet d'une modification d'usage associée aux changements climatiques.

Puisque l'évaluation se base exclusivement sur les dépenses réalisées pour la consommation directe de l'actif environnemental, la méthode des coûts de transport ne permet d'évaluer que la valeur d'utilisation. Elle comporte également un ensemble de biais auxquels il faut porter attention dans l'analyse dont les voyages multi-sites ou multi-usages et le coût d'opportunité du temps de déplacement.

4.3.2.2. La méthode des prix hédonistes

Cette méthode repose sur l'analyse des marchés de substitution où des biens et services qui possèdent des caractéristiques environnementales identifiables sont vendus et achetés. L'approche la plus fréquente est l'analyse du marché immobilier, où les caractéristiques environnementales peuvent contribuer à déterminer la valeur des maisons. L'établissement d'une relation statistique entre la variation du prix et la variation des caractéristiques environnementales permet de déduire la demande pour les attributs

environnementaux et de leur attribuer une valeur monétaire. Cette méthodologie est également appliquée sur la base des données du marché du travail pour évaluer la valeur attribuée aux risques environnementaux. Dans le cas plus spécifique des changements climatiques, cette méthode pourrait, par exemple, contribuer à évaluer les pertes de valeur des actifs immobiliers dans des zones à forts risques d'inondation ou d'érosion en les comparant à des actifs immobiliers dans des zones

La méthode des prix hédonistes nécessite cependant le recours à une démarche relativement complexe, suppose un marché qui fonctionne bien et où les caractéristiques environnementales sont clairement perçues par les utilisateurs.

4.3.2.3. La méthode d'évaluation contingente

La méthode d'évaluation contingente s'est considérablement développée ces dernières années, alors que le nombre d'évaluations s'est multiplié, en particulier aux États-Unis. Cette méthode s'est développée notamment parce qu'elle est applicable à toutes les situations et qu'elle permet d'adopter une approche prospective vis-à-vis des enjeux environnementaux. Toutefois, son principal avantage vient du fait que c'est la seule méthode qui permette d'évaluer l'ensemble des sources de valeur, y compris la valeur d'existence. Dans le cadre d'un marché normal, le fait de payer un certain montant pour un bien révèle la préférence des individus et donc la valeur économique qu'ils accordent à ce bien. La méthode d'évaluation contingente cherche à imiter cette situation en créant un marché hypothétique pour des biens non marchands. Par le biais d'un sondage, les individus sont amenés à révéler leurs préférences pour ces biens non marchands.

Après que l'individu ait pris connaissance des changements possibles en qualité et en quantité des biens environnementaux, il est amené à évaluer son consentement maximal à payer pour obtenir l'amélioration ou pour éviter la détérioration envisagée.

L'évaluation des impacts sur la santé humaine

L'évaluation des impacts sur la santé humaine peut faire appel à plusieurs approches relevant de la méthode d'évaluation contingente et la méthode de prix hédoniste. Ainsi pour la morbidité, l'évaluation peut s'effectuer par la mesure de coûts ayant une valeur marchande telle que l'estimation des dépenses de santé ou des pertes de productivité résultant des jours d'absence en milieu de travail. Le consentement à payer pour éviter ces impacts peut également se mesurer à partir de l'évaluation contingente. Les études de l'EPA à la fin des années 90 sur les avantages du Clean Air Act constituent des exemples classiques de cette approche. L'étude de Pearce (2006) analyse en détail ce type d'évaluation et l'étude de Santé Canada (2004) constitue une bonne synthèse canadienne.

L'évaluation contingente est donc conforme au principe de la « souveraineté du consommateur », qui suggère que les individus savent mieux que quiconque ce qui leur procure une utilité. Il est ensuite relativement simple d'évaluer un consentement à payer moyen et le consentement à payer total pour la population considérée. Dans le contexte des changements climatiques, l'ensemble des avantages environnementaux associés aux stratégies d'adaptation pourrait faire l'objet de ce type d'évaluation.

L'évaluation contingente requiert cependant de porter une attention particulière à un certain nombre de biais qui peuvent influencer l'évaluation, dont l'incitation des répondants à fausser les réponses, la présence de valeurs implicites dans le questionnaire ou de biens définis incorrectement, le biais d'inclusion ou les problèmes d'échantillonnage.

4.3.2.4. Le transfert de valeur

Le transfert de valeur consiste en la transposition de résultats obtenus dans un contexte analogue au site d'implantation du projet d'adaptation. Les résultats transposés proviennent d'une étude originale effectuée dans un autre lieu et à une autre période, mais dans un contexte similaire à celui du projet d'adaptation étudié. Le transfert de valeur devient nécessaire lorsque les données pour l'application des méthodes d'évaluation monétaire ne sont pas disponibles ou lorsque leur application est jugée trop coûteuse ou trop longue. Puisque la transposition des résultats diminue la précision des estimations, le transfert de valeur ne devrait être appliqué que lorsque les exigences de précision ne sont pas trop grandes. Trois approches peuvent être utilisées pour appliquer la méthode du transfert de valeur :

- le transfert du consentement à payer moyen pour un attribut environnemental du site d'étude, sous l'hypothèse que la valeur moyenne au site d'implantation du projet d'adaptation s'en rapproche;
 - le transfert de la valeur moyenne ajustée pour tenir compte des différences entre le site d'étude et le site d'implantation du projet d'adaptation;
 - le transfert de la fonction des avantages, qui exprime le consentement à payer moyen en fonction des caractéristiques socioéconomiques et environnementales. La forme de la fonction peut être ajustée pour tenir compte des différences entre le site d'étude et le site d'implantation du projet d'adaptation.
- 8) La méthode du transfert de valeur est plus simple à appliquer que les techniques d'évaluation des biens non marchands. Toutefois, ces dernières fournissent de l'information de première main, plus précise que l'information qui peut être tirée de la méthode du transfert de valeur.

Des bases de données sont maintenant disponibles pour faciliter le recours au transfert de valeur. À titre d'exemple, la base de données Environmental Valuation Reference Inventory (EVRI) ou Inventaire de référence des évaluations environnementales recense plusieurs centaines d'études d'évaluation des avantages et une vingtaine d'études consacrées aux changements climatiques³. L'intérêt porté à la problématique de l'évaluation monétaire des changements climatiques se justifie donc non seulement par l'utilité des études initiales dans des projets donnés mais aussi par le caractère transférable de l'information ainsi obtenue pour plusieurs stratégies d'adaptation à l'échelle québécoise et canadienne. Pour transposer ces valeurs, il faut cependant que les impacts considérés, l'actif environnemental et la population affectée soient similaires entre le site d'étude et le site d'implantation du projet d'adaptation. Dans tous les cas, la marge d'erreur associée aux estimés du transfert de valeur doit être prise en considération.

4.4. L'évaluation du coût des stratégies d'adaptation

Les décideurs privés et publics peuvent recourir à plusieurs moyens pour mettre en œuvre des stratégies d'adaptation (section 2.3). Ces mesures peuvent être de nature préventive ou corrective. La construction d'infrastructures et de bâtiments, le déplacement et l'expropriation des propriétés et des bâtiments, l'achat de nouveaux équipements, le déplacement d'activités économiques, ainsi que les programmes de sensibilisation et d'information, l'aide à la recherche, les modifications des lois et des règlements, l'ajustement des schémas d'aménagement et les programmes d'aide, font partie des stratégies possibles.

À la base, les coûts de la mise en œuvre de ces différentes stratégies se mesurent de la même façon que ceux d'un projet, d'une politique ou d'un programme quelconque. Comme ceux-ci sont majoritairement constitués des coûts en main-d'œuvre et du coût du capital, leur évaluation est a priori plus simple que celle des impacts des changements climatiques et repose généralement sur la valeur marchande. Pour les autorités gouvernementales s'ajoute le défi de recenser de façon exhaustive l'ensemble des coûts encourus par les agents privés et publics impliqués dans la mise en œuvre du projet. Aux coûts directs encourus par la réalisation du projet, il sera nécessaire d'ajouter les coûts sociaux et environnementaux en découlant.

La démarche se complique lorsque certains biens peuvent donner lieu à différentes évaluations nécessitant une correction du prix de marché observé. Ainsi, dans une stratégie d'adaptation qui suppose le remplacement d'actifs immobiliers, l'évaluation de ces actifs pourra être sensiblement différente si l'on utilise l'évaluation foncière, la valeur marchande courante ou la valeur de remplacement en raison des

³ www.evri.ec.gc.ca/evri/

délais de mise à jour, des imperfections de marché ou du comportement stratégique de la part des acheteurs et vendeurs anticipant les stratégies d'adaptation. De façon générale, l'approche du coût de remplacement est celle qui donne la meilleure évaluation.

Dans certains cas, la stratégie ne demande pas de ressources financières spécifiques, mais cela ne signifie pas nécessairement que le coût sera nul, car il faut tenir compte des coûts indirects et des frais généraux, comme le temps des gestionnaires et du personnel de soutien d'un organisme public. Les coûts d'évaluation doivent également être considérés, c'est le cas par exemple des études d'impacts environnementales dans des stratégies comme la construction de digues ou de murs de protection. De même, dans toute stratégie, il importe de considérer les incidences des mesures sur l'ensemble de la population et non seulement sur les acteurs directement visés par la stratégie. Le Tableau 7 synthétise ces différentes catégories de coûts à prendre en compte dans l'évaluation des stratégies d'adaptation. De façon générale, les prix de marché corrigés constituent la base de l'évaluation du coût des stratégies d'adaptation.

TABLEAU 7 : LES CATÉGORIES DE COÛTS DES STRATÉGIES D'ADAPTATION

Les coûts pour le décideur privé
Les frais généraux
Les coûts d'investissement
Les coûts d'opération et d'entretien
Les coûts de transition
Les coûts pour l'autorité publique
Les frais généraux
Les transferts, subventions et avantages fiscaux
Les coûts d'investissement
Les coûts d'opération et d'entretien
Les coûts indirects : coûts environnementaux et sociaux
Les coûts de transition.

5. PRENDRE EN COMPTE LA DYNAMIQUE TEMPORELLE ET L'INCERTITUDE

L'analyse des avantages et des coûts de l'adaptation aux changements climatiques n'est pas en substance différente de celle que doit faire tout bon gestionnaire public ou privé lors d'une décision d'investissement ou de la mise en place d'un programme. Cependant, comme les impacts des changements climatiques se produiront de façon croissante sur une longue période et dont on doit calculer l'ampleur à l'aide de plusieurs modèles et scénarios la prise en compte du temps et de l'incertitude y revêtent une importance accrue.

5.1. Prendre en compte la dynamique temporelle

Comme les choix dans le domaine des changements climatiques vont porter sur des stratégies dont les flux financiers représentant les dommages évités ou les gains ainsi que le coût des mesures d'adaptation s'échelonnent sur des périodes pouvant atteindre plusieurs dizaines d'années, il est très important de prendre en compte la dimension temporelle. En effet, la répartition des avantages et des coûts sur ce continuum temporel peuvent différer de façon importante entre les différentes options analysées avec par exemple des solutions dont les coûts sont répartis tout au long des années comparativement à d'autres où les investissements initiaux sont plus importants. La sommation des coûts ou des avantages répartis dans le temps doit alors faire l'objet d'une correction pour tenir compte de différents facteurs :

- l'aversion pour le risque au regard d'évènements futurs;
- l'utilité marginale de la consommation décroissante;
- la préférence pour l'utilité actuelle par rapport à l'utilité future;
- le coût d'opportunité du capital.

La correction effectuée prend en compte ces différents facteurs en utilisant un taux d'actualisation. Celle-ci doit être ajoutée à la correction de l'inflation, si les valeurs de coûts et d'avantages sont données en dollars courants. En l'absence de cette dernière correction, l'analyste devrait recourir à un taux d'actualisation augmenté du taux d'inflation anticipé pour tenir compte de la dispersion dans le temps des avantages et des coûts.

Dollars courants et constants

Les prix en dollars courants désignent les prix observés sur un marché à une période de temps donné. Ils intègrent donc l'effet de l'inflation généralisée des prix.

Les prix en dollars constants sont des prix ramenés à leur valeur pour une année de référence, ils permettent donc d'exclure l'effet de l'inflation dans les comparaisons temporelles. En règle générale, l'approche des prix constants sera préférée dans les analyses couts/avantages.

Pour un taux d'actualisation r , la valeur actualisée VA d'une valeur future B à la période t se calcule à l'aide de la formule suivante : $VA = \frac{B_t}{(1+r)^t}$

Dans l'analyse financière, le taux d'actualisation reflète généralement le taux d'emprunt ou de rendement observé sur le marché pour les différents agents pour des investissements de durée similaire. Bien que l'approche paraisse simple, plusieurs taux peuvent être retenus selon les différents agents.

Une première approche qui donnera un taux d'actualisation relativement bas est d'utiliser le coût d'emprunt. Pour l'investisseur public, on prendra le rendement des obligations alors que pour l'investisseur privé, le coût d'un emprunt à long terme. Dans ce dernier cas, la situation financière des entreprises et individus déterminera le véritable coût d'emprunt.

Une seconde approche qui donnera un taux plus élevé est de prendre en compte le rendement espéré du meilleur investissement alternatif qui reflète le coût d'opportunité maximal du capital. L'approche peut se baser par exemple sur le rendement marginal d'un portefeuille de titres sur le marché financier international. Ici aussi, le taux peut fluctuer selon les investisseurs. La prise en compte de l'incertitude sur les taux à venir peut également influencer sur la détermination de ce taux d'actualisation financier.

Le Tableau 8 présente un exemple simple d'actualisation d'une stratégie d'adaptation dont le coût est estimé à 10 000 \$ par année sur une période de 20 ans, de 2007 à 2027. En utilisant un taux d'actualisation de 4 %, le coût actualisé à la fin de 2007 est estimé à 135 903 \$ soit la somme des coûts actualisés annuels.

TABLEAU 8. EXEMPLE D'ACTUALISATION

Année d'actualisation		Coût actualisé en dollars à la fin de l'année de référence (2007)
0 (2007)		
1 (2008)	10000 / (1 + 0,04) ¹ =	9 615
2 (2009)	10000 / (1 + 0,04) ² =	9 246
3 (2010)	10000 / (1 + 0,04) ³ =	8 890
4 (2011)	10000 / (1 + 0,04) ⁴ =	8 548
5 (2012)	10000 / (1 + 0,04) ⁵ =	8 219
...
10 (2017)	10000 / (1 + 0,04) ¹⁰ =	6 756
...
15 (2022)	10000 / (1 + 0,04) ¹⁵ =	5 553
...
20 (2027)	10000 / (1 + 0,04) ²⁰ =	4 564
Coût actuel total		135 903

Source : Transports Canada (1994).

Dans une analyse coûts-avantages, le taux d'actualisation reflète la préférence sociale du temps qui pourra diverger des rendements financiers. Le recours à un taux d'actualisation social plus bas est généralement justifié par une plus grande préoccupation de l'ensemble de la société pour le bien-être futur de ses citoyens. Puisqu'un taux élevé réduit la valeur actualisée des coûts et avantages se produisant dans le futur, la question du choix du taux reste, après des années de discussion, une question cruciale donnant lieu à de vives controverses. L'expérience internationale, tant au niveau des États que des institutions multilatérales, est diversifiée.

Au Québec, il n'y a pas de taux d'actualisation recommandé, ni par le Secrétariat à l'allègement réglementaire ni par le Conseil du trésor, pour l'analyse coûts-avantages des projets de loi et de règlements ou des projets publics. Au Canada, pour les institutions fédérales canadiennes, le taux recommandé, établi en 1976, est un taux réel (excluant l'inflation) de 10 % avec analyse de sensibilité à 5 % et 15 % (Conseil du trésor du Canada, 1995). Notons que depuis 1995, les analystes peuvent utiliser un autre taux d'actualisation après avoir obtenu l'autorisation du Conseil du Trésor. Ainsi, un taux de 7,5 % avec une sensibilité à 10 % est fréquemment utilisé par les analystes d'Environnement Canada et

plusieurs études d'impact de la réglementation effectuées par les ministères fédéraux ont retenu des taux de 5 % ou de 7,5 %⁴.

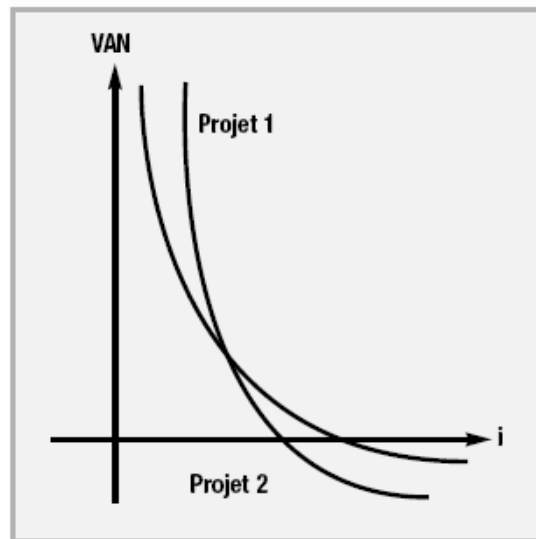
Aux États-Unis, c'est l'Office of Management and Budget (OMB) qui établit le taux officiel pour toutes les analyses coûts-avantages réalisées au sein de l'administration fédérale américaine. Ce taux a été établi à 7 % (OMB, Circular A-94), soit le taux de rendement moyen avant impôt des investissements privés récents, pour les analyses coûts-avantages de nouveaux projets d'investissement ou de réglementation. Par contre, pour des investissements permettant l'amélioration du fonctionnement interne de l'administration, on suggère l'emploi d'un taux de 4 % soit le taux d'emprunt moyen du gouvernement américain.

En Europe, c'est le Royaume-Uni qui est le pays le plus grand utilisateur d'analyse coûts-avantages, notamment dans les analyses d'impact de réglementation (RIA). Le taux d'actualisation utilisé est de 3,5 % (HM Treasury, 2003). En France, le taux d'actualisation social a été ramené de 8 à 4 % en 2005 avec des taux décroissants pouvant atteindre 2 % pour les évaluations qui portent sur le très long terme (Commissariat général du plan, 2005). Enfin, la Commission européenne recommande un taux de 3,5 % dans les analyses coûts-avantages pour la plupart des pays européens et de 5 % pour les analyses financières (Commission européenne, 2006).

Ce rapide survol permet de constater que les taux d'actualisation retenus varient d'un pays à l'autre. Pourtant, la préférence temporelle, que le taux d'actualisation exprime, est un facteur déterminant dans le calcul de la valeur actuelle nette (VAN). Il est donc important de tenir compte de la sensibilité des résultats au choix du taux d'actualisation lors de la prise de décision. En effet, si la sélection d'une option d'adaptation est relativement simple lorsque deux options sont comparées et que, quel que soit le taux d'actualisation choisi, l'option 1 a une VAN supérieure à celle de l'option 2, elle devient plus difficile lorsque la modification du taux d'actualisation inverse la VAN relative des deux options (Figure 11).

⁴ Par exemple, l'étude d'impact sur la réglementation du *Règlement modifiant le Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* utilise des taux d'actualisation de 3, 5 et 7 %, (Gazette du Canada, 2003).

FIGURE 11. EFFET DU TAUX D'ACTUALISATION (i) SUR LA VALEUR ACTUALISÉE NETTE (VAN) D'UN PROJET D'ADAPTATION



Source : Commission européenne (2003)

À partir des différentes approches analysées, il apparaît qu'un taux de 4 % avec une analyse de la sensibilité des résultats à des taux de 2 % et 6 % constitue une règle d'analyse prudente et pertinente.

L'autre paramètre qui influence la valeur actualisée est la longueur de l'horizon temporel à prendre en compte. En matière d'adaptation aux changements climatiques, les dépenses d'investissement s'effectuent souvent au cours des premières années alors que les avantages qui en découlent surviennent au cours des années suivantes. Par conséquent, le solde est généralement négatif au cours des premières années et devient positif après quelques années. Or, bien que l'actualisation fasse en sorte que plus de poids est accordé aux valeurs des premières années, le nombre d'années considérées dans le calcul peut affecter le résultat, surtout si le taux d'actualisation retenu est relativement faible. En général, l'horizon temporel sera défini par la durée de vie de l'investissement.

Cependant, une telle approche pourra être insuffisante dans les situations où certains coûts, en particulier les coûts environnementaux, se répartissent sur une très longue période de temps; il sera alors préférable de prendre en compte une période plus longue d'autant plus que les prix relatifs des biens et services environnementaux pourraient alors augmenter. Quelle que soit la durée retenue, il est conseillé d'effectuer une analyse de sensibilité afin de vérifier l'effet d'un horizon temporel différent sur le choix de la meilleure stratégie d'adaptation.

5.2. Prendre en compte l'incertitude et le risque

L'incertitude et le risque représentent un autre aspect particulièrement important de l'analyse des impacts des changements climatiques et des stratégies d'adaptation pour y faire face. Cette incertitude provient, entre autres, de l'horizon de très long terme sur lequel les impacts des changements climatiques doivent être considérés où un grand nombre de facteurs sont appelés à se modifier. En effet, plus la période d'analyse s'allonge, plus s'accroît la difficulté de prévoir l'évolution des variables; si certaines d'entre elles, telle la technologie, sont relativement prévisibles dans un horizon d'une ou deux décennies, elles le deviennent beaucoup moins au-delà. Pour ce qui est des changements climatiques eux-mêmes, l'incertitude repose sur plusieurs éléments qui s'additionnent, le premier étant l'importance des émissions et des concentrations de gaz à effet de serre, qui pourront être plus ou moins élevées selon l'évolution économique et technologique et les politiques adoptées par les gouvernements. La deuxième source d'incertitude porte sur la projection des changements climatiques à des échelles locales et régionales en fonction des spécificités de la géographie. Enfin, la réaction de l'environnement naturel et humain aux augmentations des concentrations de GES constitue une troisième source d'incertitude.

5.2.1. Le risque et l'incertitude liés aux changements climatiques

Le risque et l'incertitude renvoient à une conception probabiliste du futur et s'appliquent autant à une éventualité bénéfique qu'à une éventualité nuisible ou dangereuse. Dans la perspective de l'adaptation aux changements climatiques, la notion du risque doit être comprise en conjonction avec la notion de vulnérabilité d'une communauté aux impacts potentiels. La vulnérabilité se définit comme « la mesure selon laquelle un système est susceptible de souffrir des effets de [la] perturbation ou [du] stress »⁵. Elle constitue la mesure dans laquelle un système naturel ou humain peut s'accommoder ou non des effets du climat, y compris sa variabilité et ses extrêmes. La vulnérabilité est fonction de la nature, de l'ampleur et de la rapidité des changements climatiques auxquels un système est exposé, de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation. De toute évidence, les économies occidentales qui disposent de moyens financiers et technologiques importants sont, toute chose étant égale par ailleurs, moins vulnérables que les sociétés en développement. De même, les systèmes humains ont une plus grande capacité d'adaptation que les systèmes naturels.

La notion de risque est « la combinaison de la probabilité (possibilité qu'un événement survienne) et des conséquences d'un événement adverse (par exemple un aléa climatique) »⁶. Si les changements

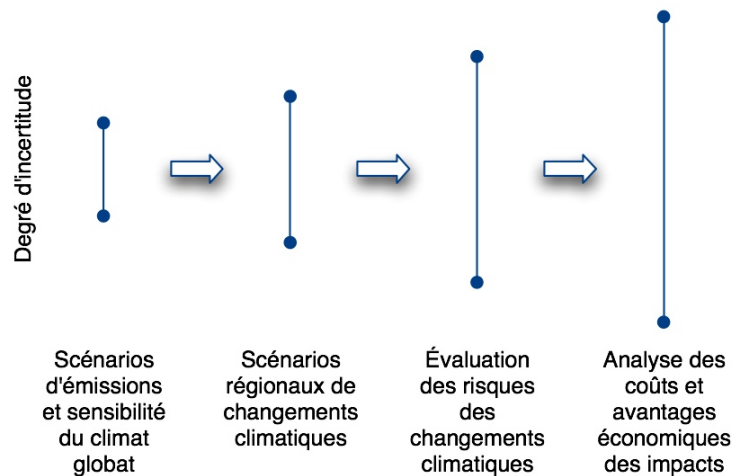
⁵ PNUD (2006) : 96.

⁶ PNUD (2006)

climatiques se traduisent généralement par des impacts négatifs, et donc un risque négatif, certains changements climatiques peuvent aussi amener des effets bénéfiques et représentent conséquemment une situation de risques positifs.

Pour sa part, l'incertitude réfère plutôt à la possibilité d'estimer objectivement les probabilités d'une éventualité ou l'ampleur des conséquences de cette éventualité⁷. En matière de changements climatiques, des incertitudes existent à toutes les étapes d'analyse des prévisions climatiques elles-mêmes, en passant par les impacts sur les activités humaines et sur les écosystèmes, jusqu'aux coûts et avantages économiques. Des incertitudes s'ajoutent à chacune de ces étapes, de sorte que l'ampleur de l'incertitude s'accroît au fur et à mesure que l'analyse progresse (Figure 13). Ces incertitudes peuvent être dues au manque de données ou à leur fiabilité douteuse, à la compréhension limitée du problème en soi ou des enjeux liés au problème, à la nature même de la modélisation climatique ou économique et à l'imprévisibilité inhérente de certains phénomènes tel que le progrès technologique, pour ne citer qu'un exemple.

FIGURE 13. AUGMENTATION DU DEGRÉ D'INCERTITUDE DANS L'ÉVALUATION DES IMPACTS ASSOCIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES



Source : Adaptée de Moss et Schneider (2000)

La première étape de l'évaluation des conséquences liées aux changements climatiques est de tenter de comprendre les caractéristiques du climat à venir. Des incertitudes existent dans l'analyse de l'évolution

⁷ *Idem.*

du climat, étant donné que les prévisions à l'égard des émissions futures dépendent des politiques de réduction des émissions, ainsi que des prévisions de croissance économique et de progrès technologique. Par ailleurs, l'exercice qui vise à déduire des informations spatio-temporelles au niveau de précision nécessaire à partir des scénarios climatiques, notamment aux échelles régionale et locale, demeure un défi. Si les modèles globaux offrent un éventail des changements attendus assez large, leur transposition sur le plan local est ambiguë et peut présenter une courbe de distribution plus large, ce qui équivaut à un niveau d'incertitude plus grand.

La deuxième étape est d'évaluer les conséquences des changements climatiques sur les activités humaines et sur les écosystèmes. Pour ce faire, de nombreuses variables, autres que celles reliées au climat, doivent être estimées. En effet, l'ampleur et la probabilité des impacts dépendent non seulement des changements climatiques à venir, mais également de la vulnérabilité du système exposé aux risques. La vulnérabilité est conditionnée par l'évolution technologique, économique et politique. Par exemple, dans le cas des inondations, les risques dépendent de facteurs qui sont indépendants des prévisions climatiques, tels que la capacité des réseaux d'aqueducs à évacuer une plus grande quantité d'eau et du nombre d'immeubles situés dans des zones à risque. La prise en compte des caractéristiques socioéconomiques et techniques des systèmes ajoute de l'incertitude dans l'exercice d'analyse.

En plus des incertitudes liées à la science du climat et à l'évaluation des impacts, des incertitudes d'un autre ordre entrent en ligne de compte lorsqu'on tente d'exprimer les risques biophysiques en termes socioéconomiques. De façon générale, les coûts et les avantages économiques d'un changement climatique sur une activité de production d'un bien ou d'un service marchand peuvent être évalués par l'utilisation de moyens relativement simples. Par exemple, il est possible d'évaluer les coûts liés à la relocalisation des propriétés privées due à l'érosion côtière en utilisant la valeur foncière ou la valeur marchande de la propriété. Toutefois, ces estimations sont soumises à une certaine marge d'imprécision, notamment quant à la valeur future des propriétés ou des coûts liés à la relocalisation.

Si l'analyse économique se prête assez facilement à l'évaluation des coûts et des avantages marchands, elle pose un problème, qui n'est pas propre aux changements climatiques, dans l'évaluation en termes monétaires de biens et services qui n'ont pas de valeur marchande. En effet, les impacts des changements climatiques sur l'écosystème ou sur la santé humaine sont difficilement exprimables en termes monétaires. Le degré d'incertitude se multiplie donc à chacune des étapes de l'analyse de risque. Bien que cette incertitude puisse poser un défi pour la prise en compte par les décideurs des impacts liés aux changements climatiques, elle ne doit pas être un motif pour évacuer la question.

5.2.2. Les outils pour prendre l'incertitude en compte

Des décisions d'adaptation doivent cependant être prises malgré ces incertitudes. À cet égard, différents outils et méthodes s'offrent aux décideurs permettant de traiter cette question avec une nécessaire transparence. La première étape pour circonscrire l'incertitude repose sur la construction des scénarios climatiques, biophysiques et socioéconomiques. Comme les différents modèles climatiques peuvent à partir d'un ensemble commun d'hypothèse donner plusieurs résultats pour chacune des variables on utilisera également plusieurs modèles avec chacun des scénarios. Cet exercice permettra de bien saisir l'éventail complet des changements dans les variables climatiques auxquels il faudra s'adapter. À partir de ces scénarios climatiques et de fonctions liant les variables du climat à l'environnement naturel et humain ainsi qu'aux activités socioéconomiques, on construira ensuite les scénarios d'impacts décrivant les risques des changements climatiques auxquels les stratégies d'adaptation tenteront de répondre. Là encore, il pourra être nécessaire de recourir à plus d'un modèle afin de couvrir l'ensemble des possibilités.

5.2.2.1. Analyse de sensibilité

Une seconde approche de prise en compte le risque est celle de l'analyse de sensibilité. Celle-ci a l'avantage de ne pas requérir que les probabilités soient connues pour chaque scénario. Elle s'effectue par l'augmentation graduelle de la valeur d'une variable climatique ou d'un paramètre socioéconomique à l'intérieur de limites réalistes afin de vérifier dans quelle mesure le résultat d'une option d'adaptation s'en trouve modifié.

Si les ressources du décideur ne sont pas suffisantes pour analyser la sensibilité des résultats à une modification des valeurs sur l'éventail des possibles, la sensibilité peut être vérifiée à l'aide des valeurs des scénarios extrêmes. Il s'agit alors de l'analyse d'intervalle, qui combine les extrêmes de chaque variable pour définir l'extrême global maximum et minimum. De plus, pour minimiser le coût de l'analyse, le décideur peut faire appel à l'opinion d'experts pour cibler les variables dont l'influence sur les résultats semble plus importante. L'analyse de sensibilité est utile pour étudier les effets conjoints de plus d'une variable ou pour tester la robustesse de la décision vis-à-vis des événements extrêmes⁸.

5.2.2.2 L'espérance mathématique

Une troisième méthode de prise en compte du risque est l'utilisation de l'espérance mathématique. Il s'agit dans ce cas de calculer la valeur moyenne des impacts anticipés des changements climatiques à

⁸ Willows et Connell (2003 : 83).

partir de la distribution des probabilités de l'ensemble des scénarios. Elle suppose cependant que l'on ait une bonne idée de la distribution des probabilités de chacun des scénarios. Il est également possible, en utilisant la même approche, de calculer la valeur attendue de chaque option d'adaptation pour identifier la meilleure. La valeur attendue d'une option d'adaptation équivaut à la moyenne des avantages nets ou des impacts évités par l'option afférente à chaque scénario, pondérée par la probabilité que le scénario se réalise. L'option choisie serait alors celle qui correspondrait à la valeur attendue maximale. En raison de la complexité du cumul des incertitudes, il est possible que l'on doive recourir à une estimation subjective des probabilités, ce qui n'est pas recommandé⁹.

5.2.2.3 Les critères de décision

Une troisième approche en fonction de l'attitude du décideur face au risque est d'utiliser certains critères de décision. On peut ainsi recourir, par exemple, aux critères du *maximin* ou du *maximax*.

Dans l'exemple hypothétique qui est dressé au Tableau 9 pour illustrer l'utilisation de ces critères, quatre options d'adaptation sont présentées. Les options d'adaptation sont classées selon le niveau d'investissement : on suppose que l'option la plus coûteuse à implanter se révélerait plus efficace si le scénario le plus pessimiste se réalisait et, à l'autre extrême, que l'option la moins coûteuse – c'est-à-dire ne rien faire – serait plus efficace si aucun changement climatique n'avait lieu. Le gain découlant de chaque option dans chacun des scénarios représente la somme de l'avantage de l'adaptation et du coût de l'investissement. Si le décideur choisit un niveau d'investissement élevé et qu'aucun changement climatique n'a lieu, il doit assumer le coût de l'adaptation sans retirer d'avantages (gain net de -100), alors que si un changement climatique important a lieu, son avantage équivaut à l'évitement des impacts nuisibles (gain net de -10).

L'approche du *maximin* correspond à une attitude de grande aversion vis-à-vis du risque de perte. Selon cette approche, le décideur considère le gain le moins grand que chaque option d'adaptation procure entre chacun des scénarios possibles et choisit le plus élevé de ceux-ci. Ainsi dans le tableau 9, pour le niveau d'investissement élevé, le gain le moins grand est -100; il est de -50 pour le niveau d'investissement moyen; de -50 pour le niveau d'investissement faible et de -150 pour l'option du statu quo. Donc en appliquant le *maximin*, le décideur sélectionnera l'option qui confère le plus grand gain d'entre « les moins grands gains ». Le plus grand gain est de -50 et correspond aux options d'investissement moyen ou faible. Dans ce cas le décideur ne pourra pas discriminer entre ces deux options à partir du critère du *maximin*. La stratégie du *maximin* permettra cependant d'éviter le surinvestissement : elle rejette l'option

⁹ Willows et Connell (2003 : p.65).

qui équivaut à un investissement élevé parce qu'elle se révélerait trop coûteuse si aucun changement climatique n'avait lieu. Toutefois, elle amène à opter pour un niveau d'investissement non nul, puisque l'éventualité d'un grand changement climatique s'avérerait trop coûteuse si aucun investissement n'était fait.

La méthode du *maximax* repose sur l'attitude opposée, soit une faible aversion au risque. Le décideur retient alors, pour chaque option d'adaptation, le gain le plus grand entre chacun des scénarios. Il choisit l'option qui procure le plus grand gain parmi « les plus grands gains. » Ce critère de décision amène un faible niveau d'investissement (Tableau 9).

Des critères intermédiaires se situant entre la grande prudence et une attitude plus agressive face au risque¹⁰ se rapprochent davantage de la préférence typique comme par exemple, l'approche du *minimax* qui privilégie l'option offrant le moindre regret. À cette fin, le décideur doit considérer le gain de chaque couple {option d'adaptation; scénario} et le comparer avec le plus grand gain qui aurait pu résulter du choix d'une autre option, étant donnée la réalisation de ce scénario. L'application du critère du *regret minimax* amènera le décideur à retenir l'option qui procure le regret potentiel le plus faible.

TABLEAU 9 : MATRICE HYPOTHÉTIQUE DU GAIN ASSOCIÉ À QUATRE NIVEAUX D'INVESTISSEMENT DANS LE CAS DE TROIS SCÉNARIOS

Niveau d'investissement	Scénarios		
	(1) Changement climatique important	(2) Changement climatique moyen	(3) Aucun changement climatique
Élevé	-10 (Décision <i>minimax</i>)	-50	-100
Moyen	-20	0	-50 (Décision <i>maximin</i>)
Faible	-50 (Décision <i>maximin</i>)	+20 (Décision <i>maximax</i>)	-10
Aucun investissement	-150	-75	0

Source : Adapté de Willows et Connell (2003 : 63).

¹⁰ Godard *et coll.* (2002)

6. LES EFFETS DE REDISTRIBUTION

La prise en compte de l'équité est un élément important de l'analyse des stratégies de mise en œuvre. Il est clair en effet que les changements climatiques affecteront plus particulièrement certains groupes de citoyens plus à risque, soit en raison de leur localisation (terres inondables, quartiers urbains) ou de leur condition (personnes âgées, malades, employés de métiers à risques, familles à faibles revenus). Bien que la première raison d'être des différentes stratégies d'adaptation ne soit pas de régler les questions d'équité sous-jacentes, le choix entre celles-ci peut comporter des effets de redistribution que l'on peut considérer inéquitables ou au contraire avantageux sur le plan de l'équité. Il est donc important que dans l'analyse des coûts et des avantages des options d'adaptation, on mesure correctement ces effets de redistribution, à la fois pour éclairer les choix et, au besoin, en compenser les effets.

La prise en compte des effets redistributifs peut s'effectuer à deux niveaux : intégrer un critère d'équité à même le calcul des coûts et avantages ou procéder à une analyse complémentaire. La première approche s'effectue en accordant des coefficients de pondération aux coûts et revenus reflétant les préférences d'équité de la société. L'approche se base sur le fait que l'utilité marginale du revenu n'est pas la même pour des individus à revenus différents et qu'une variation d'un dollar n'a pas la même signification pour les individus à revenu faible que pour ceux à revenu élevé. Le coefficient de pondération retenu reflète cet écart en termes d'utilité à la marge¹¹. Les différentes valeurs de l'analyse coûts-avantages sont donc corrigées pour tenir compte de ce facteur de pondération selon les revenus des différents groupes.

La seconde méthode d'évaluation de l'impact distributif s'effectue sous la forme d'une analyse d'impact mesurant les incidences de la stratégie d'adaptation en termes de redistribution de revenus. Il peut être utile de présenter ce type d'analyse sous la forme d'une matrice de distribution résumant les impacts sur chacun des groupes. Les résultats de cette démarche peuvent être intégrés dans des analyses multicritères mais restent complémentaires aux analyses coûts-avantages. Dans cette analyse, on tiendra compte en particulier des mécanismes de compensation mis en œuvre. Dans la mesure où une compensation adéquate est possible, les effets redistributifs sont annulés et n'influenceront donc pas le choix de la stratégie. Par contre, il n'est pas toujours possible de compenser adéquatement les personnes affectées et, dans ce sens, l'analyse visera d'abord à éclairer les choix effectués et devra en tenir compte dans le choix final de la solution d'adaptation.

¹¹ Un exemple de cette démarche est « l'euro comptable » qui est pondéré pour tenir compte des effets distributifs sur différents groupes sociaux (Commission européenne, 2003).

CONCLUSION

L'évaluation des stratégies d'adaptation est un domaine en développement et fait l'objet d'une littérature croissante¹². Cela s'explique probablement par les progrès dans la modélisation climatique et sur le caractère irréversible des changements climatiques, même si l'ampleur de ces changements reste à définir. L'approche n'est cependant pas nouvelle; le protocole de Kyoto de 1997 et la Convention-cadre de 1992 font tous deux références à la réduction des émissions ainsi qu'à la mise en place de stratégies d'adaptation. Reconnaître la nécessité de ces stratégies d'adaptation revient également à reconnaître la nécessité de développer des cadres d'analyse pour évaluer leur pertinence et leur efficacité.

Le cadre méthodologique nécessaire à l'évaluation de ces stratégies est de plus en plus robuste. Les outils d'aide à la décision comme l'analyse coûts-avantages possèdent déjà un long historique et les forces et faiblesses de ces stratégies sont bien connues. En ce qui concerne les outils d'évaluation monétaire, des progrès considérables ont été effectués au cours des dernières années pour développer et raffiner la précision des méthodes d'évaluation des biens non marchands. De même, la nécessaire prise en compte du long terme dans ces stratégies relance la réflexion sur l'actualisation.

L'ensemble de ces éléments n'est pas propre aux stratégies d'adaptation ni même aux changements climatiques. La nouveauté vient toutefois de l'application de cette démarche dans le contexte de l'adaptation aux changements climatiques. La multiplication de ces démarches ici et à l'étranger va contribuer à développer la spécificité de ces analyses dans un contexte où les enjeux de long terme, d'incertitude et d'équité sont plus accentués que dans la plupart des autres enjeux environnementaux.

La présente étude devrait contribuer à faciliter cette évaluation dans les projets d'adaptation élaborés au Québec et l'utilisation plus répandue de l'évaluation des stratégies d'adaptation contribuera à renforcer ce cadre d'analyse dans le contexte spécifique des changements climatiques. Bien que la question de l'adaptation aux changements climatiques et plus encore son évaluation monétaire reste relativement récente au Québec, il est donc probable qu'elles prendront un essor important au cours des prochaines années permettant ainsi de mieux outiller les décideurs dans leur prise de décision.

¹² UK Climate Impacts Programme, *Costing the impacts of climate change in the UK*
Australian Greenhouse Office, *Economic Issues Relevant to Costing Climate Change Impacts*
EuroSION (2004). *Vivre avec l'érosion côtière en Europe: Espaces et sédiments pour un développement durable*, Guide d'incorporation de l'analyse des coûts et bénéfices dans l'application des mesures de gestion du trait de côte.

GLOSSAIRE

Actualisation

Opération qui consiste à convertir, au moyen d'un taux d'actualisation approprié, des valeurs futures en valeur présente (valeur de l'année de référence). Elle est nécessaire pour rendre comparables deux options dont les flux financiers sont répartis sur des horizons temporels différents valeurs.

Biens marchands

Ce sont des biens (et services) vendus sur le marché à un prix qui, normalement, couvre leur coût de production.

Biens non marchands

Ce sont des biens (et services) qui ne sont pas vendus sur le marché et auxquels on ne peut pas (atmosphère) ou ne veut pas (eau douce, poissons sauvages) attacher un droit de propriété.

Coût d'opportunité

Avantages (ou manque à gagner) auxquels on renonce en affectant une ressource (capital, travail, etc.) à un usage donné. En terme technique, c'est la quantité du bien B2 qu'il faut sacrifier pour obtenir une unité additionnelle du bien B1

Dollars courants

Les dollars courants constituent les prix observés sur un marché à une période de temps donné. Ils intègrent donc l'impact de l'inflation.

Dollars constants

Les dollars constants représentent les prix en fonction d'une année de référence, ils permettent donc d'exclure l'effet de l'inflation dans les comparaisons.

Effet prix

Impact sur le prix d'un bien ou d'un service de l'augmentation de la consommation ou de la production de ce bien ou service.

Externalité.

En économie on considère comme une externalité les conséquences négatives ou positives (une perte de bien-être ou un gain d'une transaction pour un tiers qui n'est pas partie prenante à la transaction.

Fonction de production

En analyse économique, la fonction de production est le rapport entre la valeur d'une variable dépendante, (par exemple la production d'une usine ou d'une exploitation agricole) et les variables dites indépendantes appelées aussi facteurs de production tels que la main-d'œuvre, le capital, la terre ou les ressources naturelles et le climat.

Incertitude.

L'incertitude réfère plutôt à la possibilité d'estimer objectivement les probabilités d'une éventualité ou l'ampleur des conséquences de cette éventualité.

Risque

La notion de risque est la combinaison de la probabilité (vraisemblance qu'un évènement survienne) et des conséquences d'un événement adverse.

Taux d'actualisation

Taux utilisé pour déprécier des flux futurs (coûts et avantages) pour pouvoir déterminer leur valeur actuelle, par exemple leur valeur à la date d'aujourd'hui, (valeur (présente)

Taux de rentabilité interne (TRI).

Le taux d'actualisation pour lequel la valeur actuelle nette (VAN) d'un projet sera nulle

Valeur actuelle nette

La somme des écarts entre les flux actualisés des coûts et des avantages (des revenus et des dépenses)

RÉFÉRENCES

- Australian Greenhouse Office (2004), *Economic Issues Relevant to Costing Climate Change Impacts*, Canberra, 48 p.
- Commission européenne (2003). *Guide de l'analyse coûts-avantages des projets d'investissement*, Bruxelles, 153 p.
- Commission européenne (2006). *Guide méthodologique pour la réalisation de l'analyse coûts-avantages*, Bruxelles, 24 p.
- Commissariat général du plan (2005). *Révision du taux d'actualisation des investissements publics*, Gouvernement français, 112 p.
- Conseil du trésor du Canada (1995). *Guide de l'analyse avantages-coûts pour les programmes de réglementation*, Ottawa, 116p.
- D'Arcy, P., J.-F. Bibeault et R. Raffa (2005). *Changements climatiques et transport maritime sur le Saint-Laurent : Étude exploratoire d'options d'adaptation*, réalisée pour le Comité de concertation navigation du Plan d'action Saint-Laurent, 140 p.
- Environmental Protection Agency (1999), *The Benefits and Costs of the Clean Air Act 1990 to 2010*. Washington D.C.
- Environmental Protection Agency (2000). *Guidelines for Preparing Economic Analyses*, Washington D.C.
- Eurosion (2004). *Vivre avec l'érosion côtière en Europe: Espaces et sédiments pour un développement durable*, Guide d'incorporation de l'analyse des coûts et bénéfices dans l'application des mesures de gestion du trait de côte, 27 p.
- Gazette du Canada (2003). *Règlement modifiant le Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers*, Vol. 137, no 26.
- GIEC (2001). *Bilan 2001 des changements climatiques : Conséquences, adaptation et vulnérabilité*. Groupe intergouvernemental d'experts sur le climat.
- Godard, O., C. Henry, P. Lagadec et E. Michel-Kerjan (2002). *Traité des nouveaux risques*. Éditions Gallimard.
- HM Treasury (2003). *Green Book on Appraisal and Evaluation in Central Government*, Annexe 6.
- Metroeconomica (2004a), *Costing the Impacts of Climate Change in the UK: Overview of Guidelines*. UKCIP Technical Report, UK Climate Impacts Programme (UKCIP), Oxford.
- Transports Canada (1994). *Guide de l'analyse coûts-avantages à Transports Canada*, Ottawa. http://www.tc.gc.ca/Finance/Bca/fr/TOC_f.htm
- Moss, R.H. et S.H. Schneider (2000), « Uncertainties in the IPCC TAR: recommendations to lead authors for more consistent assessment and reporting » dans: *User's guide for Cross Cutting Issues Guidance Papers*, Taniguchi et Tanaka (éd.), GIEC.
- Office of Management and Budget (1992), *Circular A-94 Revised*.
- Ouranos (2007; à paraître), *Évaluation nationale, chapitre Québec*.
- Pearce, D, G. Atkinson et S. Mourato (2006). *Cost-Benefit Analysis and the Environment, Recent Development*, OCDE, Paris, 318 p.

PNUD (2006). *Cadre des politiques d'adaptation au changement climatique : Élaboration de stratégies, politiques et mesures*, Programme des Nations unies pour le développement, Édition française réalisée en partenariat avec l'Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF), p. 91-117.

Santé Canada (2004). *Guide canadien d'évaluation des incidences sur la santé*, Volume 3, 282 p.

Secrétariat du Conseil du trésor du Canada (1998). *Guide de l'analyse avantages-coûts*, Ébauche.

Secrétariat du Comité ministériel de la prospérité économique et du développement durable, *Politique gouvernementale sur l'allègement réglementaire et administratif*.

Stern, N. (2006). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge, 712 p.

Willows, R. et R. Connell (éds.) (2003). *Climate Adaptation: Risk, Uncertainty and Decision-Making*. Defra, Technical Report, mai 2003, 154 p.