Environnement Canada Environment Canada

COMPENDIUM DES MODÈLES D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES : PREMIÈRE ÉDITION

THEA DICKINSON
Division de la recherche sur l'adaptation et les répercussions
Environnement Canada

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier les personnes suivantes pour leur précieuse contribution au Compendium des modèles d'adaptation, qui ont généreusement fourni de l'information sur des modèles et qui ont revu et commenté le texte préliminaire et le texte final du présent document :

- Sukaina Bharwani, Mac Callaway, Kelly de Bruin, Kristie Ebi, Martin Fuessel, Philippe Gachon,
- Chris Hope, Jay Lund, Robert Mendelsohn, Olga Pilifosova, Elke Stehfest, Richard Tol, Ferenc Toth, Peter Urich, Heather Auld, Brad Bass, Stewart Cohen, Andrea Hebb, Brian Mills et Tina Neale.

Toute erreur ou toute omission sont ma responsabilité.

J'aimerais remercier tout particulièrement Ian Burton pour son inspiration, ses conseils et son appui.

Ce rapport devra être cité comme suit : Dickinson, T. 2007. *Compendium des modèles d'adaptation aux changements climatiques : Première édition.* Environnement Canada, Division de la recherche sur l'adaptation et les répercussions. 42 pages.

N° de catalogue : En56-220/2007F-PDF

N° ISBN : 978-0-662-04216-7

Pour des exemplaires supplémentaires, veuillez vous adresser à :

Don MacIver, directeur
Division de la rechercher sur l'adaptation et les répercussions
Environnement Canada
4905, rue Dufferin, Toronto (Ontario), Canada M3H 5T4
Téléphone : 416-739-4271 • Télécopieur : 416-739-4297
Adresse électronique : don.maciver@ec.gc.ca

COMPENDIUM DES MODÈLES D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES : PREMIÈRE ÉDITION

THEA DICKINSON
Division de la recherche sur l'adaptation et les répercussions
Environnement Canada

Environnement Canada Environment Canada

TABLE DES MATIÈRES

Préface iii

Liste des acronymes des modèles iv

1) **INTRODUCTION AU COMPENDIUM DES MODÈLES D'ADAPTATION** 1

Définitions 2
Méthode de sélection des modèles 3
Liste des modèles étudiés 4
Définition de la modélisation de l'adaptation 6
Typologie 7
Modèles intégrés d'évaluation et adaptation 7
Représentation et lacunes des modèles 8

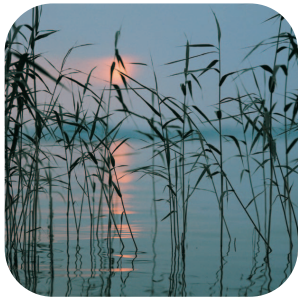
2) **COMPENDIUM DES MODÈLES D'ADAPTATION** 17

Liste des modèles étudiés

ABM, AD-DICE, AD-RICE, ASD, BRDSEM, CALVIN, CanCLIM, CanREM, CIAM, CLIMPACTS, CLOUD, COBWEB, CRISTAL, DICE, DIVA, EPIC, ESCAPE, FARM, FARM-Adapt, FUND 2.9, GIM, ICAM 2.5, ICLIPS, IMAGE 2, ISIS, MAGICC, MiniCAM 2.0, MPPACC, OSWRM, PAGE 2002, PEF, PGCAM, REAM, RegCM, RegIS 2, RICE, Ricardian, SimCLIM, SWAP, TARGETS, TEAM, TWA, UWF, WSBM

Références et autres publicationsRéférences et autres publications 39

PREFACE



Le climat est un système dynamique qui touche tous les aspects de notre vie : notre santé, notre prospérité, notre sécurité et notre compétitivité. Le climat a changé et continuera de changer, et qui dit changement dit adaptation. Mais la voie à suivre pour s'adapter est souvent difficile et complexe avec de nombreux choix, effets collatéraux, investissements et de nombreux partenaires. La science de l'adaptation joue un rôle clé et fondamental dans ce processus pour aider les décideurs à choisir la bonne voie.

Les modèles et outils d'adaptation permettent de soupeser de nombreux facteurs interdépendants pour mieux comprendre les sensibilités et les conséquences de nombreux éléments moteurs, surtout ceux des changements climatiques. Différents types de modèles de décision ne contiennent actuellement que des options modestes d'adaptation. En revanche, les modèles qui contiennent des mesures d'atténuation ont rapidement été développés pour appuyer l'établissement de politiques et de réglementation cibles, et il est permis de croire qu'ils ont aidé l'atténuation à gagner une plus grande reconnaissance en fournissant un éventail de limites désirables pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Il est prévu que la prochaine génération de modèles d'aide à la décision incluront à la fois des options d'adaptation et d'atténuation dans un contexte de développement durable.

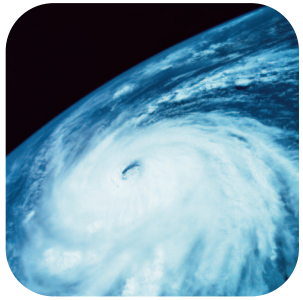
Décrire clairement ce qu'est un modèle d'adaptation est bien sûr difficile. En partant d'une recherche initiale des modélisateurs et des chercheurs, les modèles d'adaptation peuvent être répartis dans deux grandes catégories : les modèles axés sur l'impact (MAI) et les modèles axés sur l'adaptation (MAA). Toutefois, il est possible de recourir à plusieurs autres typologies pour différencier encore plus les modèles, incluant leur classification par secteur et selon des paramètres descriptifs.

Ce *Compendium des modèles d'adaptation aux changements climatiques : Première édition* présente et décrit sommairement 35 modèles d'adaptation sélectionnés. Nous profitons de cette occasion pour étudier et documenter d'autres modèles d'adaptation en vue de la Seconde édition, et, bien sûr, les commentaires sont toujours les bienvenus.

Don C. MacIver, *directeur*
Division de la recherche sur l'adaptation et les impacts
Environnement Canada

LISTE DES ACRONYMES DES MODÈLES

ABM	Agent Based Models / Modèles orientés agent
AD-DICE	Adaptation-Dynamic Integrated model of Climate and the Economy / Modèle intégré de la dynamique du climat et de l'économie et de l'adaptation
AD-RICE	Adaptation–Regional Integrated model of Climate and the Economy / Modèle intégré régional du climat et de l'économie et de l'adaptation
ACMs	Adaptation Centered Models / Modèles axés sur l'adaptation
AMSD	Adaptation Mitigation and Sustainable Development / Adaptation atténuation et développement durable
ASD	Automated Statistical Downscaling / Réduction d'échelle statistique automatique
BRDSEM	Berg River Dynamic Spatial Equilibrium Model / Modèle d'équilibre spatial dynamique de la rivière Berg
CALVIN	CALifornia Value Integrated Network / Réseau intégré à valeur ajoutée CALifornia
CanCLIM	Canada Climate / Climat du Canada
CanREM	Canadian Regional Energy Model / Modèle régional canadien de l'énergie
CIAM	Community Integrated Assessment Model / Modèle intégré d'évaluation de la collectivité
CLOUD	Climate Outlooks and Agent-Based Simulation of Adaptation in Africa / Perspectives climatiques et simulation orientée agent de l'adaptation en Afrique
COBWEB	Complexity and Organized Behaviour Within Environmental Bounds / Complexité et comportement organisé dans des limites environnementales
CRISTAL	Community-based Risk Screening – Adaptation and Livelihoods / Examen préalable du risque communautaire - Adaptation et moyens de subsistance
DICE	Dynamic Integrated Model of Climate and the Economy / Modèle dynamique intégré du climat et de l'économie
DIVA	Dynamic Interactive Vulnerability Assessment / Évaluation dynamique interactive de la vulnérabilité
EPIC	Erosion Productivity Impact Calculator / Calculateur de l'impact de l'érosion sur la productivité
ESCAPE	Evaluation of Strategies to Address Climate Change by Adapting to and Preventing Emissions / Évaluation de stratégies pour lutter contre les changements climatiques par l'adaptation et la prévention des émissions
Farm-Adapt	Future Agriculture Resource Model-Adapt / Modèle des ressources de l'agriculture future et de l'adaptation
FUND 2.9	Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution / Cadre pour l'incertitude, la négociation et la distribution
IAM	Integrated Assessment Models / Modèles intégrés d'évaluation
ICAM	Integrated Climate Assessment Model / Modèle intégré d'évaluation du climat
ICLIPS	Integrated Assessment of Climate Protection Strategies / Évaluation intégrée des stratégies de protection du climat
ICM	Impact Centered Models / Modèles axés sur l'impact
IMAGE 2.1	Integrated Model to Assess the Greenhouse Effect / Modèle intégré pour évaluer l'effet de serre
ISIS	Information Society Integrated Systems / Systèmes intégrés de la société d'information
MAGICC	Model for the Assessment of Greenhouse gases Induced Climate Change / Modèle pour l'évaluation des changements climatiques engendrés par les gaz à effet de serre
Mini-CAM	Mini-Climate Assessment Model / Modèle d'évaluation de mini-climats
MPPACC	Model of Private Proactive Adaptation to Climate Change / Modèle de l'adaptation proactive du secteur privé aux changements climatiques
OSWRM	Okanagan Sustainable Water Resources Model / Modèle des ressources en eau durables de l'Okanagan
PAGE 2002	Policy Analysis for the Greenhouse Effect / Analyse de la politique sur l'effet de serre
REAM	Regional Energy Analysis Model / Modèle d'analyse régional de l'énergie
SWAP	Soil Water Atmosphere and Plant Model / Modèle sol-eau-atmosphère-plante
TARGETS	Tool to Assess Regional and Global Environmental and health Targets for Sustainability / Outil d'évaluation des cibles régionales et mondiales environnementales et de santé pour la durabilité
TEAM	Tool for Environmental Assessment and Management / Outil pour l'évaluation et la gestion environnementales
TWA	Tolerable Windows Approach / Approche des intervalles tolérables
UWF	Urban Water Futures / Futurs des eaux urbaines



INTRODUCTION AU COMPENDIUM DES MODÈLES D'ADAPTATION

Introduction

Ces dernières années, le nombre de modèles qui incluent l'atténuation, décrite comme étant une intervention anthropique pour réduire les sources de gaz à effet de serre ou augmenter les puits de gaz à effet de serre (IPCC, 2007), s'est multiplié rapidement, alors que les modèles qui incluent l'adaptation en sont encore aux stades initiaux. Actuellement, plusieurs raisons expliquent l'importance de l'atténuation et le peu d'intérêt pour l'adaptation, incluant :

- La conviction que l'adaptation diminue l'urgence d'atténuer, ce qui constitue un élément dissuasif de faire la promotion de l'adaptation dans la lutte contre les changements climatiques.
- Les malentendus et la mésinformation au sujet de l'adaptation ont suscité les critiques du public et des médias à l'effet que c'est une approche pour ne rien faire.
- l'adaptation pose un problème pour l'interpolation de l'échelle locale à l'échelle régionale ou nationale, elle n'est pas seulement une mise à l'échelle simple.
- La difficulté réside dans la mesure de l'adaptation, ce que démontre la prolifération des modèles d'atténuation en comparaison des modèles d'adaptation.
- l'atténuation est facile à quantifier avec ses moyens concrets d'atténuer (réduire) les gaz à effet de serre.

l'adaptation est essentielle à la réduction des impacts actuels et inévitables des changements climatiques. Les bénéfices nets de l'adaptation sont récoltés avant ceux de l'atténuation parce qu'ils sont immédiats (Berkhout, 2005). Alors que les mesures d'atténuation peuvent être mises en œuvre maintenant, le temps de séjour (durée de vie dans l'atmosphère) des gaz à effet de serre, en particulier le dioxyde de carbone, varie de 50 à 200 ans (EPA, 2007), ce qui fait que les bénéfices des réductions d'émissions ne se feront pas sentir avant des dizaines d'années. Puisque l'atténuation ne peut pas réduire les impacts immédiats des changements climatiques, l'adaptation constitue une réponse essentielle et urgente des politiques. C'est faire preuve de sagesse que d'intégrer l'adaptation dans les objectifs stratégiques des politiques et de la porter à l'attention des médias. l'adaptation n'a pas à remplacer l'atténuation dans les objectifs stratégiques des politiques; il est préférable d'avoir recours à la fois à l'adaptation et à l'atténuation dans un contexte de développement durable. Au Canada, une combinaison de réponses d'adaptation et d'atténuation a été retenue par le groupe de recherche de la Division de la recherche sur l'adaptation et les répercussions (Adaptation aux changements climatiques, atténuation et liens avec le développement durable) d'Environnement Canada. Ce groupe fait la promotion d'une approche intégrée pour explorer les liens entre l'adaptation aux changements climatiques (A), l'atténuation (A) et le développement durable (DD).

Pour que l'adaptation soit utile et rentable, elle ne doit pas être uniquement en réaction (c.-à-d. après des impacts), mais être plutôt une adaptation proactive, préventive (Bouwer et Aerts, 2006). S'adapter aux changements climatiques peut également réduire notre vulnérabilité à la variabilité climatique et aux événements extrêmes. Les mesures d'adaptation appelées « gagnant-gagnant » et « sans regrets » offrent des bénéfices, qu'il y ait ou non des changements climatiques. Ces stratégies incorporent l'adaptation dans la planification et seraient bénéfiques et économiquement réalisables même en l'absence de répercussions futures des changements climatiques. Retarder la création de programmes axés sur l'adaptation ne fera qu'augmenter les coûts des impacts des changements climatiques et les risques pour l'humanité (Rosenberg, 1986).

Définitions

Le tableau suivant contient de brèves définitions de termes clés.

TABLEAU 1 PRINCIPALES DÉFINITIONS

TERME	DÉFINITION
Adaptation	l'adaptation aux changements climatiques désigne des ajustements apportés aux systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli présents ou prévus ou à leurs effets, qui réduisent les dommages ou qui tirent parti d'occasions bénéfiques. Il existe divers types d'adaptations, notamment les adaptations anticipées et réactives, privées et publiques, autonomes et planifiées (GIEC, 2001).
Adaptation proactive préventive	Mise en œuvre de mesures d'adaptation avant que les répercussions prévues ne se produisent, évitant ainsi des dépenses plus élevées et des dommages à l'économie (Berkhout, 2005).
Atténuation	l'atténuation est une intervention anthropique pour réduire les sources des gaz à effet de serre ou pour augmenter les puits de gaz à effet de serre (GIEC, 2007).
Modèle climatique	Un modèle climatique est une représentation numérique ou mathématique d'un système climatique à partir des propriétés physiques, chimiques et biologiques de ses composants (atmosphère, océan, glace et surface terrestre), qui incorpore des scénarios (descriptions cohérentes, uniformes et plausibles d'états possibles à venir du monde; Carter *et al.,* 1994), en tenant compte de la génération de prédictions futures (Santer *et al.,* 1990).
Modèle générique	Un modèle générique est une représentation, une description ou une abstraction développée pour illustrer une théorie, un système ou un concept. Il en existe une grande diversité qui comprend des modèles qualitatifs et quantitatifs jusqu'aux modèles computationnels et conceptuels.
Options d'adaptation Gagnant-gagnant	Par exemple, la conception d'infrastructures avec des toits verts (ce qui réduit la consommation d'énergie, le ruissellement pluvial, la pollution de l'air et peut aider à réduire l'effet d'îlot thermique), les programmes de conservation de l'eau (qui aident à réduire les pénuries d'eau et les effets de la sécheresse) et la mise en œuvre de l'énergie durable (qui bénéficie à l'environnement et peut fournir de l'énergie pendant les pannes d'électricité et les tempêtes).
Options d'adaptation Sans regrets	Options à protection totale. Par exemple, une option Sans regrets d'infrastructure augmenterait la durabilité et la longévité d'un immeuble en le rendant à l'épreuve de la variabilité climatique dans le temps.

Méthode de sélection des modèles

Les modèles de changements climatiques potentiels qui incluaient l'adaptation ont été sélectionnés à la suite d'une vaste recherche de la documentation et d'une enquête auprès d'experts et de praticiens. Comme la définition d'un modèle d'adaptation reste à établir, le choix des modèles est peut-être plus vaste que ce à quoi on s'attendait. Cela est dû au fait de ne pas avoir éliminé les modèles qui ne contenaient qu'un peu d'adaptation, parce qu'ils pourraient bien servir de fondement pour des solutions d'adaptation plus complexes dans des versions postérieures. Il y a de nombreux aspects des modèles d'adaptation qui traitent de l'adaptation de façons différentes, mais aussi valables. Les modèles ont été classés modèles d'adaptation selon les critères suivants :

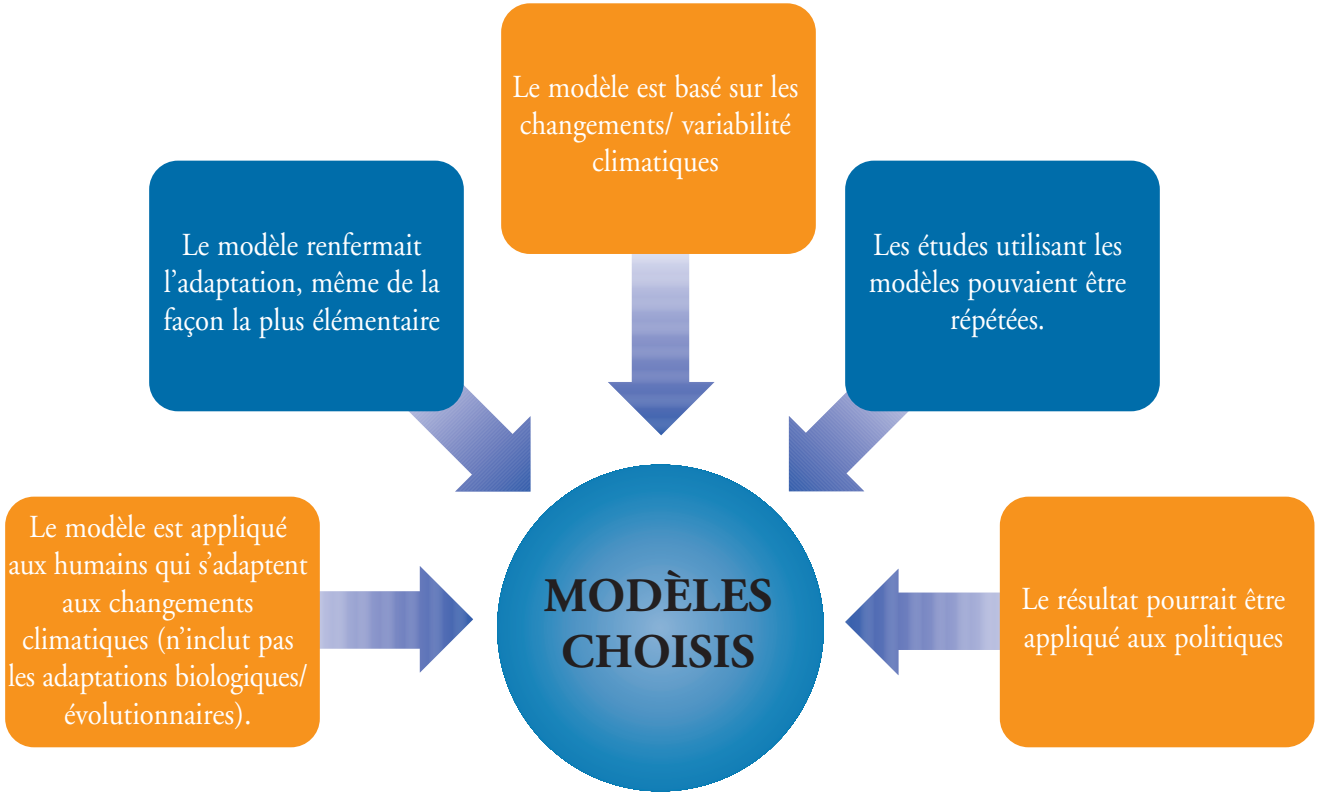


FIGURE 1.

CRITÈRES POUR LA SÉLECTION DES MODÈLES

Liste des modèles étudiés

Le tableau suivant (**tableau 2**) contient le nom du modèle, l'incorporation d'une adaptation et un lien pertinent où trouver plus d'information.

TABLEAU 2. INCORPORATION DE L'ADAPTATION ET INFORMATION ADDITIONNELLE

NOM DU MODÈLE	INCORPORATION DE L'ADAPTATION	INFORMATION ADDITIONNELLE
ABM	Simule l'adaptation d'agents	http://www.lter.uaf.edu/pdf/1041_berman_nicolson_2004.pdf
AD-DICE	Variable de politique/décision	http://ideas.repec.org/p/sgc/wpaper/126.html
AD-RICE	Variable de politique/décision	http://www.fnu.zmaw.de/Working-papers.5675.0.html
ASD	Réduction statistique	http://www.ccsn.ca/
BRDSEM	Estime le coût de la gestion de l'eau	http://www.aiaccproject.org/working_papers/Working%20Papers/AIACC_WP31_Callaway.pdf
CALVIN	Évaluation de l'adaptation	http://cee.engr.ucdavis.edu/faculty/lund/CALVIN/
CanCLIM	Évalue les options d'adaptation	http://waikato.ac.nz/igci/projects/canclim.htm
CanREM	Cibles d'émissions	
CIAM	Module d'adaptation	http://www.tyndall.ac.uk/research/theme1/final_reports/it1_3.pdf
CLIMPACTS	Évalue les options d'adaptation	http://climsystems.com/site/products/?id=10
CLOUD	Réaction sociale	http://www.geog.ox.ac.uk/research/projects/cloud/index.html
COBWEB	Adaptation d'agents	www.cobweb.ca
CRISTAL	Évalue les options d'adaptation	http://www.sei.se/index.php?section=climate&page=projdesc&projdescpage=99976
DIVA	Évalue les stratégies d'adaptation	http://diva.demis.nl/
EPIC	Évalue les options d'adaptation	http://www.brc.tamus.edu/epic/
ESCAPE	Relie plusieurs modèles intégrés d'évaluation (MIE)	http://sedac.ciesin.org/mva/iamcc.tg/TGsec4-2-5.html
ESPr	Évalue la stratégie d'adaptation	www.greenroofs.org

TABLEAU 2. INCORPORATION DE L'ADAPTATION ET INFORMATION ADDITIONNELLE

NOM DU MODÈLE	INCORPORATION DE L'ADAPTATION	INFORMATION ADDITIONNELLE
FARM-Adapt	Adaptations rentables	http://www.nottingham.ac.uk/environmental-modelling/
FUND 2.9	Adaptation induite	http://fnu.zmaw.de/FUND.5679.0.html
ICAM 2.5	Variable de décision	http://hdgc.epp.cmu.edu/models-icam/models-icam.html
ICLIPS	Évalue la politique (TWA/Approche des intervalles tolérables)	http://www.pik-potsdam.de/~fuessel/download/help_iit/publications/
IMAGE 2.1	Allocation des terres, expansion	http://www.mnp.nl/image/
ISIS	Socio-économie	http://w3g.gkss.de/staff/storch/pdf/kompl_Grossmann.pdf
MAGICC	Ensemble de modèles reliés	http://www.climatescience.gov/workshop2005/posters/P-WE1.21_Smith.J.pdf
MiniCAM 2.0	Adaptation induite	http://www.globalchange.umd.edu/data/models/MiniCAM.pdf
MPPACC	Évaluation de l'adaptation	http://diglib.uni-magdeburg.de/disssertationen/2005/torgrothmann.htm
OSWRM	Évaluation des options d'adaptation	http://www.ires.ubc.ca/aird (navigate to "completed projects")
PAGE 2002	Incorpore une politique d'adaptation	http://www.jbs.cam.ac.uk/people/faculty/hopec.html
RegIS 2	Évalue les réactions et les options	http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/iwe/projects/regis/regis2.htm
Ricardian	Évalue les rôles de l'adaptation	http://ceepa.co.za/docs/CDPNo21.pdf
SimCLIM	Évalue l'adaptation	http://climsystems.com/site/products/?id=9
SWAP-WSBM	Modèle sol-eau-atmosphère-plante associé au Modèle eau et salinité d'un bassin fluvial	http://www.geo.vu.nl/users/ivmadapt/downloads/Walawe_FinalReport.pdf
TARGETS	Variable de décision	http://sedac.ciesin.org/mva/iamcc.tg/TGsec4-2-7.html
TEAM	Évalue les forces de l'adaptation	http://www.ecobilan.com/uk_team.php
UWF	Options d'adaptation	http://www.ires.ubc.ca/aird/documents/OKPIA_2004-06_FinalReport_HiRes.pdf

Définition de la modélisation d'adaptation

Comme on l'a déjà noté, le domaine de la modélisation de l'adaptation est varié et indéfini, et ce qu'est un modèle d'adaptation peut être interprété de différentes façons. Divers types de modèles sont considérés comme des modèles d'adaptation, semant ainsi la confusion. La présente évaluation suggère que les modèles d'adaptation peuvent être classés dans deux grandes catégories : les modèles axés sur l'adaptation (ACM) et les modèles axés sur les impacts (ICM), où la différence principale entre les modèles est leur traitement de l'adaptation.

Les **tableaux 3A et 3B** résument les principales différences entre les modèles axés sur les impacts et les modèles axés sur les adaptations.

TABLEAU 3A. MODÈLES AXÉS SUR LES IMPACTS

MODÈLES AXÉS SUR LES IMPACTS	COMMENTAIRES
Les modèles mesurent les impacts des changements climatiques; modélisation des impacts et paramétrage de l'adaptation.	Impacts moins l'adaptation, pas les impacts bruts Normatif
l'adaptation est incorporée dans une équation inchangeable supposée tenir compte de l'adaptation.	Ce n'est pas une modélisation de l'adaptation
l'adaptation ne peut pas varier dans le modèle.	Paramètre positionné ou supposé à un niveau statique.
La quantité d'adaptation (ou réalisation nette) est supposée et n'est pas vérifiée ou n'a pas de fondements empiriques.	Ainsi, le résultat dépend de l'inclusion ou de l'exclusion de l'adaptation, mais l'adaptation même n'est pas modélisée.
Par exemple, dans Rosenzweig et Parry (1994), les hypothèses incluaient aucune adaptation, 50 % d'adaptation et une adaptation entière.	

TABLEAU 3B. MODÈLES AXÉS SUR L'ADAPTATION

MODÈLES AXÉS SUR L'ADAPTATION	COMMENTAIRES
Permettent une variété d'options d'adaptation à différents niveaux d'adaptation	Permettent d'accomplir toute l'adaptation possible; selon les impacts, la quantité d'adaptation pouvant se produire.
l'adaptation peut être modulée, estimée, évaluée.	Potentiel de démontrer les forces/faiblesses de l'adaptation aux changements climatiques.
Les modèles axés sur l'adaptation démontrent la capacité de l'adaptation de réduire les impacts des changements climatiques.	Les modèles axés sur l'adaptation sont plus satisfaisants que ceux axés sur les impacts et représentent une direction plus prometteuse pour le développement futur.
Par exemple, dans le modèle PAGE 2002, l'adaptation est incluse comme une variable de décision (Alberth et Hope, 2006).	

Typologie

La classification binaire précédente des modèles axés sur les impacts et les modèles axes sur l'adaptation est un système de classification préliminaire; elle ne fournit pas d'information sur l'applicabilité de chaque modèle. Par conséquent, les modèles peuvent être plus différenciés par sous-catégorie. La méthode de création d'une typologie pour les modèles d'adaptation aide à repérer a) les écarts, b) les secteurs où les modèles d'adaptation sont peu nombreux ou abondants et c) la direction des objectifs et besoins futurs de la recherche. La classification provisoire des modèles d'adaptation, présentée ci après, servira par la suite à catégoriser chaque modèle. Cette typologie a été retenue pour sa clarté et sa facilité d'utilisation. Plusieurs autres classifications sont possibles, dont celles basées sur les risques et/ou les impacts découlant des changements climatiques.

TABLEAU 4A ET B. SECTEURS ET PARAMÈTRES DESCRIPTIFS DES MODÈLES

SECTEURS	DESCRIPTEURS
Agricole (A)	Basé sur un agent (BA)
Côtier (C)	Comportemental (C)
Économie (E)	Analyse coûts-bénéfices (ACB)
Foresterie (F)	Modèle intégré d'évaluation (MIE)
Hydrologique (Hy)	Optimisation (O)
Multisectoriel (	Qualitatif (Ql)
Santé humaine (H)	Quantitatif (Qn)
Systèmes socioéconomiques (SSE)	Simulation (S)

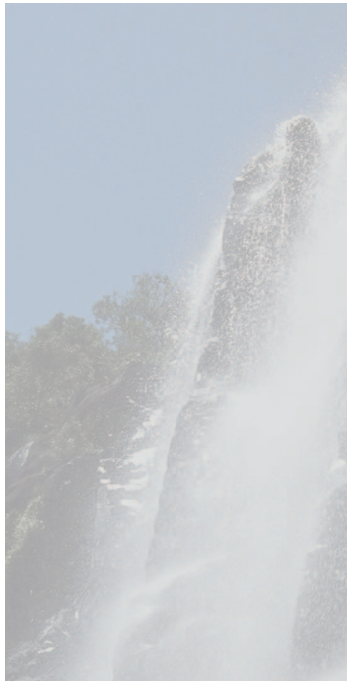
Modèles intégrés d'évaluation et adaptation

Les modèles intégrés d'évaluation (MIE) relient les dimensions socio-économiques aux aspects scientifiques des changements climatiques afin d'évaluer les options des politiques et les impacts environnementaux des changements climatiques (Weyant *et al.,* 1996). Ils servent à évaluer les politiques de lutte contre les changements climatiques (Weyant *et al.,* 1996) pour créer des cadres de travail interdisciplinaires relatifs aux problèmes des changements climatiques, notamment la détermination des influences qui rendent les secteurs sensibles aux changements climatiques et la quantification des problèmes environnementaux et autres générés par les changements climatiques, en classant les bénéfices et les désavantages de la lutte contre les changements climatiques dans les pays développés et en développement (GIEC, 2001). Les modèles intégrés d'évaluation (MIE) peuvent se répartir dans deux catégories distinctes : l'évaluation et l'optimisation.

TABLEAU 5. TABLEAU COMPARATIF DES MODÈLES INTÉGRÉS D'ÉVALUATION ET D'OPTIMISATION

MODÈLE	MODÈLE INTÉGRÉ D'ÉVALUATION	MODÈLE INTÉGRÉ D'OPTIMISATION
Utilisation	Pour simuler et approximer les résultats environnementaux d'une option politique sélectionnée et les différents scénarios.	Trouver les politiques optimales parmi les options de lutte contre les changements climatiques
Échelle	Option politique seule ou scénario choisi	Généralement mondial
Description	Débute avec des hypothèses d'événements futurs (développement socio-économique), puis par un scénario – les scénarios choisis sont alors analysés et évalués à l'aide de calculs fondés sur des hypothèses définies par l'utilisateur.	Essaie de déterminer le cheminement politique qui maximise l'utilité tout en imitant les effets de l'atténuation sur l'économie mondiale. Ces modèles servent à analyser les politiques qui diminueraient ou augmenteraient les chances d'atteindre les objectifs de minimisation des coûts en dépit d'un ensemble de contraintes précises.
Exemple	IMAGE 2.1	AD-DICE, AD-RICE et FUND 2.9

Représentation et lacunes des modèles



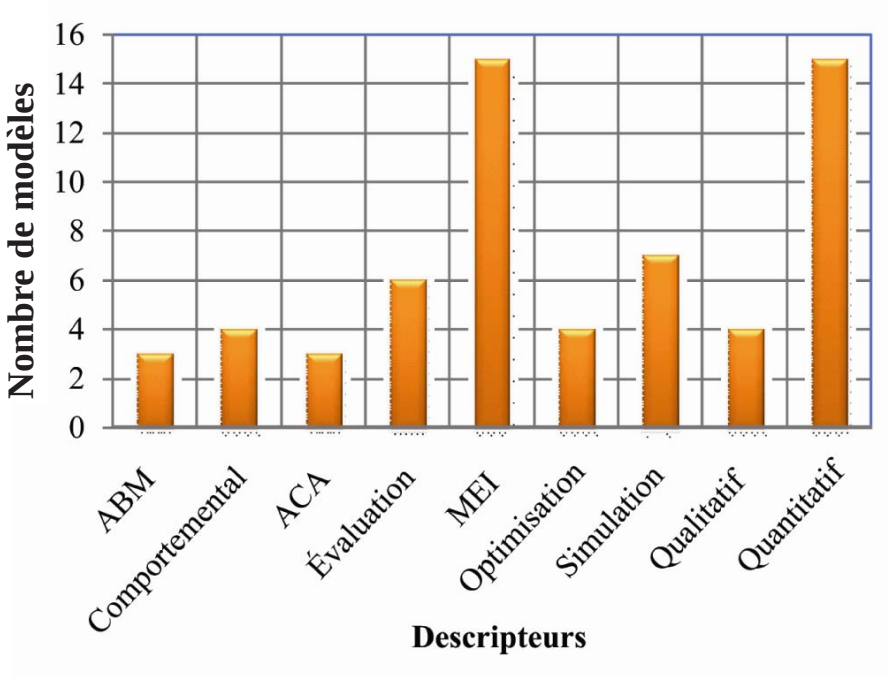
À partir de cette recherche sur la modélisation de l'adaptation, il devient évident qu'il existe des secteurs où les modèles d'adaptation l'emportent (**voir le graphique 1A et B**) (économie) et des secteurs où ils sont encore à adopter ou à développer comme le tourisme, l'aviation, la santé, le transport, les événements climatiques extrêmes, la mondialisation, les changements climatiques abrupts et la biodiversité. Ebi et Gamble (2005) ont réclamé des modèles pour la santé qui incorporeraient l'adaptation; jusqu'à maintenant, leur appel est resté sans réponse.

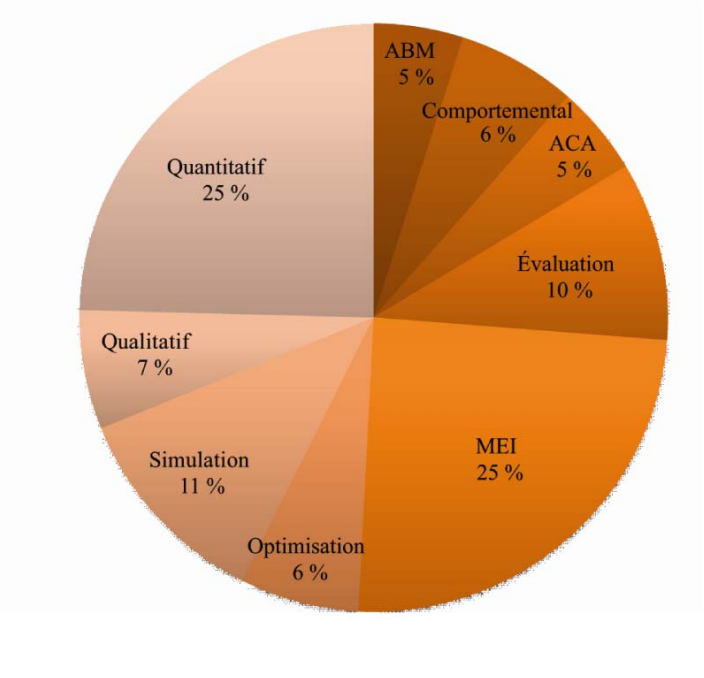
Le comportement humain devrait être une composante essentielle des modèles d'adaptation pour refléter exactement les agents sociaux et les agents individuels. Pour démontrer cette nécessité, deux fermiers recevant une information identique au sujet des changements climatiques futurs n'agiront ou ne réagiront pas de façon identique. Les modèles doivent incorporer cette différence. Ils peuvent tous deux percevoir cette connaissance avec une confiance différente, ce qui résulte en deux réactions très différentes. Les variations des réactions humaines à la vulnérabilité et au changement ne sont pas statiques et évoluent dans le temps. Les leçons apprises des années précédentes seront incorporées dans leur processus cognitif à l'avenir. La perception du risque des personnes ou agents modifiera leur choix de s'adapter. Par exemple, les fermiers qui diffèrent de confiance en eux, d'éducation et de compréhension des données météorologiques et climatiques; leur statut socio-économique modifiera leur capacité ou leur volonté de s'adapter. Plusieurs autres facteurs doivent être considérés, incluant si un fermier loue ou est propriétaire des terres et de l'équipement, son âge, son expérience, s'il s'agit d'une ferme commerciale ou familiale et la taille de la ferme

et son rendement financier; le capital disponible (finances courantes, dettes actuelles) et si le fermier est conservateur ou clairvoyant et innovateur. Par conséquent, les scénarios qui ne tiennent compte que des changements climatiques (ou de l'économie) et non des changements de comportement humain avec le temps ne seront pas exacts.

Les graphiques suivants montrent le nombre de modèles pour chaque paramètre descriptif ou secteur et leur pourcentage représentatif. Les quantités dans les graphiques représentent le nombre de modèles étudiés qui contiennent un seul paramètre. Sous réserve qu'un modèle peut appartenir à plusieurs catégories, il est par conséquent possible qu'un modèle puisse être à la fois un modèle intégré d'évaluation et un modèle quantitatif. Ainsi, les pourcentages représentent le nombre de fois qu'un modèle tombe dans n'importe laquelle des catégories sélectionnées.

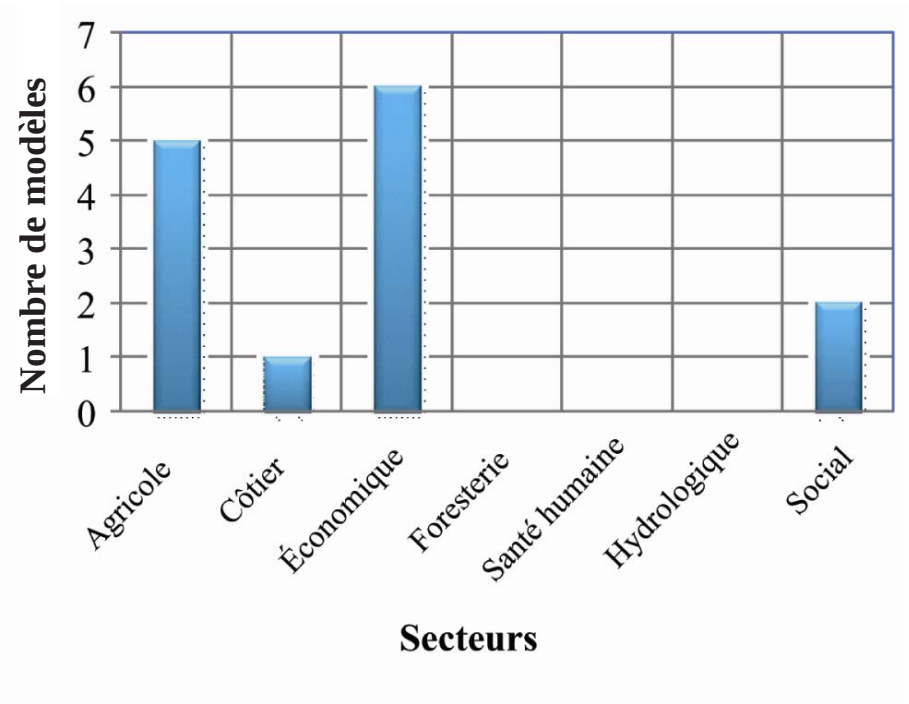
GRAPHIQUES 1A ET 1B. REPRÉSENTATION DE LA CLASSIFICATION PAR DESCRIPTEUR

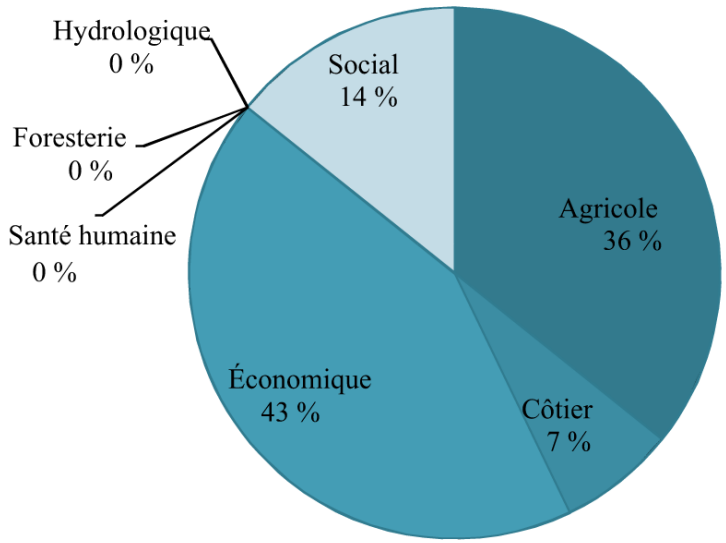




Les modèles d'adaptation ont été créés principalement pour les secteurs économique et agricole, la préférence ayant été accordée aux modèles intégrés d'évaluation quantitative.

GRAPHIQUES 2A ET 2B. REPRÉSENTATION DE LA CLASSIFICATION PAR SECTEUR





Les modèles d'adaptation ont été créés principalement pour les secteurs économique et agricole, la préférence ayant été accordée aux modèles intégrés d'évaluation quantitative.

TABLEAU 6. DESCRIPTION SOMMAIRE DE MODÈLES D'ADAPTATION

NOM DU MODÈLE	DESCRIPTION	CLASSIFICATION
ABM	Les modèles orientés agent sont des modèles informatisés qui servent à déterminer de quelle manière les êtres humains (agents) répondent à une variété de stimuli et de scénarios liés à des conditions environnementales et sociales ayant trait notamment à l'adaptation aux changements climatiques et aux réponses aux stratégies d'adaptation. Les agents représentent les positions, les limites et les actions des intervenants, les stimuli et les scénarios de conditions environnementales et sociales.	Simulation orientée agent Computationnel Comportemental
AD-DICE	Le modèle intégré de la dynamique du climat et de l'économie et de l'adaptation reprend les fondements du modèle intégré d'évaluation (MIE) DICE, le modifiant pour y intégrer l'adaptation en tant que variable décisionnelle. Cette variable permet un échange entre les options d'adaptation et d'atténuation à modéliser puisqu'il s'agit de variables décisionnelles distinctes.	Quantitatif Computationnel Économique, MIE
AD-RICE	Le modèle intégré régional du climat et de l'économie et de l'adaptation reprend le modèle RICE en y intégrant l'adaptation. Le modèle comprend une fonction de coût de l'adaptation et permet de montrer que l'adaptation réduit les dommages bruts occasionnés par les changements climatiques.	Quantitatif Computationnel Économique, MIE
ASD	Le modèle de réduction d'échelle statistique automatique établit la relation statistique entre les données climatiques à grande échelle et celles à échelle locale grâce à une interface graphique conviviale pour les réductions d'échelle statistique des données de sortie des variables régionales ou locales du modèle de circulation générale. Le principal avantage repose sur la sélection automatique des variables explicatives et des analyses statistiques suffisantes.	Computationnel Quantitatif
BRDSEM	Le modèle d'équilibre spatial dynamique de la rivière Berg est un modèle hydro-économique qui utilise une réduction d'échelle des données sur les précipitations et la température mensuelles pour évaluer les impacts physiques et économiques (avantages et coûts associés aux changements climatiques) d'un certain nombre d'options socio-économique d'adaptation à long et à court terme.	Quantitatif Analyse
CALVIN	Le réseau intégré à valeur ajoutée CALifornia est un modèle d'optimisation des techniques économiques à l'échelle de la Californie. Il a été conçu pour évaluer la capacité du système d'approvisionnement en eau de la Californie de s'adapter aux changements climatiques. Le modèle CALVIN est expressément adaptatif.	Quantitatif Économique Optimisation
CanCLIM	Le modèle sur le climat du Canada est un modèle intégré d'évaluation, créé expressément pour évaluer les options d'adaptation et les impacts des changements climatiques au Canada. Le modèle recourt à un système d'information géographique, à des scénarios nationaux et régionaux de changements climatiques et à la capacité d'examiner des données historiques relatives aux événements extrêmes.	Computationnel Simulation, MIE

TABLEAU 6. DESCRIPTION SOMMAIRE DE MODÈLES D'ADAPTATION

NOM DU MODÈLE	DESCRIPTION	CLASSIFICATION
CanREM-REAM	Le modèle régional canadien de l'énergie et le modèle d'analyse régional de l'énergie sont des modèles d'optimisation qui procurent des scénarios d'approvisionnement énergétique en vertu de différentes demandes ou contraintes. Ces modèles adaptent l'attribution de l'énergie en fonction de l'environnement externe, c'est-à-dire la demande ou les contraintes imposées au système, par exemple des cibles d'émission.	Optimisation
CIAM	Le modèle intégré d'évaluation de la collectivité est un modèle à venir découlant des recherches du Tyndall Centre, annoncé comme étant le nouveau « point central » de leurs recherches. Le modèle permettra aux scientifiques de réaliser des analyses holistiques à partir de stratégies d'adaptation aux changements climatiques; il est en mesure de simuler des options d'adaptation.	(modèle à venir)
CLIMPACTS	Le modèle d'impacts climatiques est un modèle intégré d'évaluation qui réalise des analyses d'impacts intégrées et évalue les options d'adaptation; il sert à évaluer des scénarios stratégiques en réponse aux changements climatiques jusqu'en l'an 2100. Le modèle comporte trois composants et plusieurs options d'adaptation.	Computationnel Évaluation Simulation, MIE
CLOUD	Le modèle des perspectives climatiques et de simulation orientée agent de l'adaptation en Afrique est un modèle orienté agent (ABM) qui simplifie les comportements des collectivités agricoles. À partir d'une étude sur le terrain, le modèle incorpore des modules relatifs à l'économie, aux cultures et à l'adaptation aux scénarios courants de changements climatiques. Réponses sociales aux données climatiques; prises de décision.	Agricole Orienté agents Comportement social
COBWEB	Le modèle Complexité et comportement organisé à l'intérieur de limites environnementales est une simulation orientée agent, créée pour découvrir de quelle manière des systèmes complexes incluant des personnes, des animaux ou des bactéries s'adaptent aux changements et aux variations d'ordre environnemental. Le modèle est très interactif, ce qui permet à l'utilisateur de régler de nombreux paramètres (dépenses énergétiques, taux de croissance des ressources, besoin d'énergie) à partir d'une interface conviviale.	Orienté agent Simulation Computationnel Comportemental
CRIiSTAL	Le modèle d'Examen préalable du risque communautaire – Adaptation et moyens de subsistance est un programme convivial qui facilite l'établissement de liens entre les changements climatiques et les moyens de subsistance. Le modèle peut être utilisé par des collectivités locales, des planificateurs de projet et des gestionnaires de projet qui souhaitent s'assurer que les possibilités d'adaptation sont optimisées et que les mauvaises adaptations sont réduites au minimum.	Quantitatif Computationnel
DIVA	Le modèle d'évaluation dynamique interactive de la vulnérabilité est un nouvel outil d'évaluation intégrée des zones côtières lancé à la fin de 2004. Il est conçu tout spécialement pour étudier la vulnérabilité des zones côtières à l'élévation du niveau de la mer. Il comprend une base de données mondiale du système naturel et des facteurs socio-économiques, des scénarios pertinents, un ensemble d'algorithmes impact-adaptation et une interface graphique personnalisée.	Quantitatif Computationnel Côtier, MIE

TABLEAU 6. DESCRIPTION SOMMAIRE DE MODÈLES D'ADAPTATION

NOM DU MODÈLE	DESCRIPTION	CLASSIFICATION
EPIC	Le calculateur de l'impact de l'érosion sur la productivité est conçu pour quantifier le coût de l'érosion du sol et les avantages des recherches et du contrôle de cette érosion. Cette approche est utile pour évaluer un nombre restreint d'adaptations agronomiques aux changements climatiques, comme le changement des dates de semence, la modification des rotations (à savoir le changement de cultivars et des espèces cultivées), le passage à d'autres pratiques d'irrigation et la modification des travaux du sol.	Quantitatif Computationnel Agricole
ESCAPE	Le modèle d'évaluation de stratégies pour lutter contre les changements climatiques par l'adaptation et la prévention des émissions est un modèle intégré d'évaluation en collaboration qui comporte des éléments des modèles IMAGE 2.1 et MiniCAM. Il comporte quatre régions du monde, des modules distincts pour les émissions, la chimie et la dynamique atmosphériques et les impacts.	Quantitatif Computationnel, MAI
ESP-r	Le modèle de recherche sur le rendement des services environnementaux simule la consommation d'énergie d'un immeuble. Le modèle évalue l'impact d'une grande toiture verte sur la consommation d'énergie. Il peut être utilisé pour évaluer les toitures vertes sous différents climats ou selon des scénarios de changements climatiques, lorsqu'il y a des scénarios comportant des intervalles de moins d'un jour.	Évaluation Simulation
FARM-Adapt	Le modèle des ressources de l'agriculture future et de l'adaptation est un modèle d'optimisation qui tente d'établir le coût le plus faible (sans profit) et les adaptations profitables; plusieurs options d'adaptation sont disponibles. FARM-Adapt utilise la simulation Monte Carlo pour étudier les adaptations les plus économiques.	Quantitatif Agricole Monte Carlo Optimisation
FUND 2.9	Le cadre pour l'incertitude, la négociation et la distribution 2.9 est une version modifiée du modèle FUND original; il est défini pour 16 régions de 1950 à 2300 en intervalles annuels et est expressément optimisé pour l'adaptation à l'élévation du niveau de la mer. Le modèle tient également compte de l'agriculture, des vents violents, des crues des rivières, des stress thermiques, de la malaria et des pertes de biodiversité. Les dommages sont exprimés en argent.	Quantitatif Économique Computationnel
ICAM 2.5	Le modèle intégré d'évaluation du climat est un modèle axé sur les impacts, qui analyse l'incertitude et les impacts liés aux changements climatiques. Le modèle génère des projections de croissance économique basées sur la croissance de la population régionale et les hypothèses spécifiées par l'utilisateur. Les stratégies d'adaptation sont représentées de façon implicite dans les modules d'impact et ne peuvent donc pas être modifiées de façon explicite.	Évaluation Monte Carlo MIE

TABLEAU 6. DESCRIPTION SOMMAIRE DE MODÈLES D'ADAPTATION

NOM DU MODÈLE	DESCRIPTION	CLASSIFICATION
ICLIPS	Le modèle Évaluation intégrée des stratégies de protection du climat est un MIE (l'outil ICLIPS d'impacts est un interface-utilisateur graphique pour une vaste base de données). Le modèle a été créé pour aider la Convention cadre des Nation Unies sur les changements climatiques à prendre des décisions. ICLIPS adopte une approche différente d'intégration des préoccupations d'atténuation et d'impacts ou d'adaptation, les applications composant de façon indirecte avec l'adaptation.	Computationnel Conceptuel, MIE
IMAGE 2.1	Le modèle intégré pour évaluer l'effet de serre est un cadre dynamique de modélisation de l'évaluation intégrée des changements mondiaux et un modèle de simulation. Les principaux objectifs d'IMAGE consistent à concourir à la compréhension scientifique et à faciliter la prise de décisions en quantifiant l'importance relative des processus et interactions majeurs du système société-biosphère-climat.	Computationnel Simulation, MIE
ISIS	Les modèles ISIS peuvent servir à décrire différentes options dont dispose la société pour faire face aux risques émergents, qu'ils soient réels ou perçus (les changements climatiques par exemple). ISIS peut s'appliquer à une grande variété de problèmes liés aux changements climatiques, aux risques et catastrophes naturels. Le modèle est articulé autour du cycle de vie d'une innovation élémentaire comportant sept étapes.	Quantitatif Computationnel Simulation
MAGICC	Le modèle pour l'évaluation des changements climatiques engendrés par les gaz à effet de serre est un ensemble de modèles simples qui, conjugués, constituent un modèle climatique unique pouvant être utilisé pour faciliter l'évaluation des adaptations aux changements climatiques. MAGICC est lié à SCENGEN, un générateur de scénarios mondiaux et régionaux.	Computationnel, MIE
MiniCAM 2.0	Le modèle d'évaluation de mini-climats est un MIE conçu pour étudier les changements climatiques à long terme et à grand échelle dans des systèmes énergétiques régionaux à mondiaux. Il intègre les modèles MAGICC et SCENGEN pour l'analyse des changements climatiques mondiaux et régionaux, mais possède des modules technologiques distincts.	Computationnel, MIE
MPPACC	Le modèle de l'adaptation proactive du secteur privé aux changements climatiques s'attarde aux étapes psychologiques des réponses aux perceptions : celles du risque et de la capacité adaptative aux changements climatiques. Le modèle comprend une capacité adaptative objective, une évaluation de l'adaptation et une volonté d'adaptation. Elles permettent d'obtenir des données de sortie sur l'adaptation ou de les empêcher.	Comportemental Quantitatif Social
OSWRM	OSWRM offre un outil d'apprentissage pour l'évaluation de l'efficacité des options d'adaptation des différents scénarios de changements climatiques et de croissance de la population du bassin de l'Okanagan, une région semi-aride de la Colombie-Britannique, au Canada.	Évaluation Computationnel
PAGE 2002	Les stratégies d'adaptation des modèles PAGE 2002 montrent les avantages de l'adaptation aux changements climatiques. PAGE 2002 porte sur huit régions du monde, toutes les émissions de GES majeures, les coûts de l'atténuation et de l'adaptation, les impacts (économiques et autres) et un intervalle allant jusqu'à 2200.	Évaluation Optimisation, MIE

TABLEAU 6. DESCRIPTION SOMMAIRE DE MODÈLES D'ADAPTATION

NOM DU MODÈLE	DESCRIPTION	CLASSIFICATION
RegIS2	RegIS2 utilise des MIE pour évaluer les impacts infranationaux au niveau local et régional ainsi que les options d'adaptation liées à la biodiversité agricole, aux littoraux, aux plaines inondables, aux ressources hydriques, tout en modélisant également les options de « non-adaptation » à des fins de comparaison.	Quantitatif Quantitatif Computationnel, MIE
Ricardien	Les modèles ricardiens (économétriques) incorporent des scénarios de changements climatiques afin de prévoir les coûts économiques de l'adaptation. Les modèles sont en mesure de saisir la gamme complète des adaptations économiques que les fermiers et les établissements auxiliaires sont susceptibles d'utiliser en réponse aux changements climatiques.	Quantitatif Économique Agricole
SimCLIM	SimCLIM peut servir à faciliter la prise de décision grâce à sa capacité d'évaluer les climats élémentaires, ainsi que la variabilité et les extrêmes actuels. Des mesures d'adaptation peuvent être testées pour les conditions actuelles et en fonction de scénarios futuristes des changements et de la variabilité climatiques et de l'élévation du niveau de la mer.	Computationnel Simulation, MIE
SWAP-WSBM	SWAP-WSBM est un cadre parallèle de modélisation à petite échelle qui facilite l'évaluation des impacts et des stratégies d'adaptation. Il sert à analyser et à comprendre les problèmes actuels liés aux ressources en eau, à analyser l'impact des changements climatiques et à évaluer des stratégies d'adaptation.	Quantitatif Agricole
TARGETS	Le modèle TARGETS sert à étudier les changements climatiques, les changements mondiaux et le développement durable. TARGETS comprend cinq modules « horizontaux » interreliés qui représentent la population et la santé, l'énergie et l'économie, la biophysique, les terres et les sols, et un sous-modèle lié à l'eau.	MIE
TEAM	TEAM utilise une approche à multiples critères pour l'évaluation des mesures d'adaptation visant à contrer les impacts des changements climatiques sur les ressources en eau, les zones côtières et l'agriculture. l'utilisateur sélectionne des « stratégies » ou des options d'adaptation et des critères, puis leur attribue une cote relative (excellente, bonne, moyenne ou faible) correspondant à la façon dont chaque stratégie répond à chaque critère.	Quantitatif Computationnel Quantitatif
UWF	UWF étudie les quantités d'eau du secteur résidentiel qui seront suffisantes pour les années à venir. Le modèle comporte des scénarios d'options d'adaptation présentant un intérêt pour les décisionnaires, qui sont représentés sous forme de scénarios de densité résidentielle et de gestion axée sur la demande.	Évaluation Computationnel

COMPENDIUM DES MODÈLES D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES : PREMIÈRE ÉDITION

LISTE DES MODÈLES ÉTUDIÉS

Toutes les descriptions des modèles proviennent de la documentation révisée par les pairs, des auteurs des modèles et de sites Web sur le sujet. Les modèles n'ont pas été évalués individuellement. l'information n'a pas été analysée, revue ou interprétée.

ABM (*Agent Based Models* / Modèles orientés agent)

Les ABM sont des modèles informatisés qui servent à déterminer de quelle manière les êtres humains (agents) répondent à une variété de stimuli et de scénarios liés à des conditions environnementales et sociales, ayant trait notamment à l'adaptation aux changements climatiques et aux réponses aux stratégies d'adaptation. Les agents représentent les positions, les limites et les actions des intervenants. Les ABM constituent un moyen de simuler de façon réaliste le comportement de réseaux d'intervenants dans le contexte de règles, de normes et de stratégies communes provenant d'institutions sociales et économiques. Ils sont applicables à l'échelle mondiale, nationale ou locale. Les principales données d'entrée sont qualitatives et quantitatives. Les principales données de sortie comprennent des aperçus de la manière dont se déroule le processus de prise de décision et de mise en œuvre. Les ABM sont des voies socioéconomiques réalistes bâties comme étant l'aboutissement de multiples décisions.

À titre d'exemple, une simulation sociale basée sur un agent peut comporter des scénarios socioéconomiques construits sur des ensembles de règles comme les valeurs environnementales, la réglementation et des objectifs économiques. Cette approche présente, entre autres, l'avantage de faire de la réalisation des scénarios socioéconomiques la résultante d'un comportement de l'intervenant plutôt que d'être imposée de l'extérieur d'une manière qui n'a aucune relation avec les processus décisionnels réels.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter le site :

http://www.lter.uaf.edu/pdf/1041_berman_nicolson_2004.pdf

AD-DICE (*Adaptation-Dynamic Integrated Model of Climate and the Economy* / Modèle intégré de la dynamique du climat et de l'économie et de l'adaptation)

AD-DICE (de Bruin *et al.,* 2007) utilise les bases du modèle intégré d'évaluation (MIE) initial qui mettent en commun les dimensions socioéconomiques des changements climatiques et les aspects scientifiques en vue d'évaluer les options politiques et les impacts environnementaux des changements climatiques et DICE, pour ensuite le modifier afin d'y intégrer l'adaptation en tant que variable décisionnelle. Le modèle dynamique intégré du climat et de l'économie (DICE) initial, élaboré par Nordhaus, est paru en 1994 dans une publication où il était présenté comme l'un des plus récents modèles d'évaluation intégrés (Nordhaus et Mendelsohn, 1996). DICE est un modèle mondial d'optimisation dynamique qui comporte des fonctions économiques et géophysiques (Nordhaus, 1992). Dans le modèle DICE, l'utilité est optimisée et les agents sont présumés s'adapter de façon optimale (de Bruin, 2007). Le modèle DICE initial ne considère toutefois pas l'adaptation de manière explicite; il présume que l'adaptation est optimale et incluse dans la fonction de dommage. Une modification a été apportée dernièrement à ce modèle, soit en 2007 (de Bruin *et al.,* 2007), ce qui explique son nouveau nom AD-DICE (Adaptation-DICE). AD-DICE est un MIE économique computationnel comportant une approche descendante dans laquelle l'adaptation modélisée fait office de variable liée aux décisions stratégiques. Ce modèle permet des compromis entre l'adaptation et l'atténuation à modéliser puisqu'il s'agit de variables décisionnelles distinctes.

Étude de cas terminée

AD-DICE montre de façon explicite les fonctions de coûts d'adaptation que comporte le modèle DICE. Le modèle, qui met en application cinq scénarios différents (contrôles optimaux; aucun contrôle; adaptation seule; atténuation seule) a permis de conclure que l'option « adaptation seule » se révélait d'une plus grande utilité que l'option « atténuation seule », ce qui signifie que l'adaptation est une mesure de lutte contre les changements climatiques plus rentable. Le modèle a également permis de montrer que les avantages nets de l'atténuation étaient négatifs jusqu'en 2050. Lorsqu'elle est appliquée de façon optimale, l'adaptation réduit de 35 % en moyenne les dommages bruts des changements climatiques. Les résultats obtenus avec le modèle appuient l'hypothèse voulant que l'application de l'adaptation seule est plus profitable que l'application de l'atténuation seule, confirmant l'importance de l'adaptation en tant qu'option de contrôle dans la lutte contre les changements climatiques d'ici à 2100, moment où l'atténuation se mettra à réduire les dommages (de Bruin *et al.,* 2007).

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/dicemodels.htm

http://ideas.repec.org/p/sgc/wpaper/126.html

AD-RICE (*Adaptation – Regional Integrated model of Climate and the Economy* / Modèle intégré régional du climat et de l'économie et de l'adaptation)

Le modèle intégré régional du climat et de l'économie (RICE) initial analysait différentes stratégies d'orientation en matière de changements climatiques (Nordhaus et Mendelsohn, 1996). RICE est en somme un modèle régional et dynamique d'équilibre général de l'économie qui intègre l'activité économique aux sources et aux émissions de gaz à effets de serre, ainsi qu'à leurs conséquences et à celles des changements climatiques. Dans le modèle RICE, le monde est divisé en un certain nombre de régions. Chacune est dotée d'un capital social, d'une population et d'une technologie initiaux (Nordhaus et Mendelsohn, 1996). Le modèle RICE met en scène les choix économiques majeurs suivants que les nations doivent faire : consommation de biens et de services; investissements dans le capital productif; ralentissement des changements climatiques par la réduction des émissions de CO_2.

Application aux changements climatiques

AD-RICE reprend le modèle RICE en y intégrant l'adaptation en tant que variable décisionnelle. Le modèle comprend une fonction de coût de l'adaptation et permet de montrer la différence entre les coûts d'adaptation selon les régions d'application de RICE (de Bruin *et al.,* 2007). D'autres formes différentes de coopération entre adaptation et atténuation sont envisagées.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

www.enr.wur.nl/uk/staff/debruin

http://www.fnu.zmaw.de/Working-papers.5675.0.html

http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/dicemodels.htm

ASD (*Automated Statistical Downscaling* / Réduction d'échelle statistique automatique)

Le modèle de réduction d'échelle statistique automatique (ASD) axé sur la régression (Hessami *et al.,* 2007), inspiré de l'actuel modèle de réduction d'échelle statistique (SDSM) créé par Wilby *et al.* (2002), a été conçu dans l'environnement MATLAB. Le modèle ASD établit des liens statistiques entre les données climatiques à grande échelle (les variables explicatives) et à l'échelle locale (les prédictants), le but final du modèle consistant à fournir des données à haute résolution sur le climat à venir en orientant les liens statistiques calibrés à l'aide des variables explicatives du modèle climatique global (MCG) pour les périodes à venir.

l'outil ASD est une interface graphique conviviale pour la réduction d'échelle statistique des données de sortie en fonction des variables régionales ou locales. Le processus lié au modèle peut être conditionnel à l'occurrence d'un événement (p. ex. pour les précipitations) ou inconditionnel (p. ex. pour la température). Par conséquent, la modélisation des précipitations quotidiennes fera intervenir les étapes suivantes : la modélisation des occurrences de précipitation suivie de la modélisation des quantités de précipitation (en cas de précipitations). Pour réaliser une réduction d'échelle statistique, vous devrez fournir des données quotidiennes relatives aux observations locales (les prédictants) et les données atmosphériques relatives aux observations quotidiennes et celles à grande échelle du MCG (les variables explicatives).

Le principal avantage du modèle ASD sur les autres méthodes de réduction d'échelle statistique réside dans la sélection automatique des variables explicatives; même pour les spécialistes les plus expérimentés en la matière, il fournit des analyses statistiques suffisantes pour justifier une intervention au besoin. De plus, le modèle est doté d'une interface graphique conviviale et propose aux utilisateurs des critères statistiques pratiques pour évaluer la fiabilité des variables de réduction d'échelle statistique par rapport à d'autres données observées, et différents critères diagnostiques (moyenne, écart-type et quelques indices extrêmes quant aux variables de la température et des précipitations) qui permettent d'analyser les données de sortie pour la période actuelle et la période à venir. Le logiciel ASD fournit également les graphiques quantile-quantile comme moyen d'étudier le rendement d'un modèle.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://www.cccsn.ca/

Régions de l'étude de cas utilisée pour l'évaluation du modèle ASD

Le rendement du modèle ASD a été évalué dans deux régions du Canada (pour les provinces des Prairies, voir Barrow, 2007; pour l'est du Canada, voir Gachon *et al.,* 2005) et dans une région tropicale de l'Afrique de l'Ouest (voir Parishkura, 2007). Dans l'est du Canada et en Afrique, le modèle ASD a également été comparé au modèle SDMS. Dans tous les cas, le modèle ASD s'est relativement bien comporté pour la réduction d'échelle relative à la température quotidienne, ainsi qu'aux précipitations, y compris les indices extrêmes. En règle générale, les indices les plus fidèlement reproduits ont été les indices extrêmes liés à la température, tandis que les indices liés aux précipitations se sont révélés les valeurs les plus aberrantes (même lorsque les valeurs médianes étaient bien corrélées), indiquant une forte dispersion du composant stochastique du modèle. Cela révèle que les événements importants comportant des précipitations de convection, surtout durant la période estivale, ne sont en général pas saisis par les modèles de régression multilinéaires (voir Wilby *et al.,* 2004).
Une version revue et mise à jour du modèle ASD à partir des recommandations présentées dans le rapport d'évaluation de Barrow (2007) est en cours de rédaction; il sera bientôt possible de la télécharger à partir du site Web du Réseau canadien des scénarios de changements climatiques (www.ccsn.ca).

BRDSEM (*Berg River Dynamic Spatial Equilibrium Model* / Modèle d'équilibre spatial dynamique de la rivière Berg)

Le modèle d'équilibre spatial dynamique de la rivière Berg, un modèle intégré d'évaluation, constitue la réponse à la nécessité de montrer les avantages économiques et les compromis du développement avec les changements climatiques. BRDSEM est utilisé pour évaluer les avantages et les coûts de mesures d'adaptation données. Il s'agit d'un modèle hydroéconomique ayant recours à des données sur les précipitations et la température mensuelles soumises à une réduction d'échelle qui permettent de mesurer les impacts physiques et économiques (avantages et coûts associés aux changements climatiques) d'un certain nombre d'options d'adaptation à court et à long terme (Callaway et Hellmuth, 2006). Le modèle s'est inspiré de ceux élaborés par Hurd , 2004. BRDSEM est appliqué à un bassin choisi, sur la base d'une différenciation spatiale, et tient à jour les données sur le climat pour estimer la valeur économique des dommages causés par les changements climatiques, les avantages économiques nets de l'évitement de ces dommages, et les dommages causés (inévitables) par les changements climatiques. Les principales données d'entrée du modèle sont tirées d'un modèle climatique régional, d'un modèle hydrologique régional et de données d'entrée sur les politiques, les plans et les technologies, ce qui génère des données de sortie relatives aux mesures de la valeur économique de l'eau (soit les rendements nets de l'eau) pour les utilisateurs de l'eau, la répartition des secteurs urbains et des régions agricoles, la capacité optimale de stockage et le barrage de la rivière Berg. Des avantages et des coûts de différentes natures sont associés aux changements climatiques et à l'adaptation pour diverses mesures d'adaptation (Callaway et Hellmuth, 2006).

Étude de cas terminée (rapportée également dans le Stern Review)

Les avantages nets des mesures d'adaptation (en réponse aux changements climatiques) de la construction du barrage de la rivière Berg ont été comparés, à l'aide de BRDSEM, au remplacement du cadre réglementaire existant relatif à l'attribution de l'eau du bassin aux utilisateurs des secteurs urbains et agricoles, sans le barrage de la rivière Berg. l'étude sur l'approvisionnement en eau du bassin de la rivière Berg, en Afrique du Sud, a été réalisée par Callaway et Hellmuth (Stern, 2006). Le modèle intégrait l'adaptation aux changements climatiques à l'aide d'une comparaison des mesures estimées des bénéfices ou des coûts pour chaque adaptation proposée. Elles comprenaient les mesures d'élaboration (sur l'hypothèse de l'absence de changements climatiques); les avantages nets des mesures d'élaboration; des mesures d'adaptation additionnelles (élaboration et changements climatiques); les avantages nets de l'adaptation (réduction des dommages moins les coûts de l'adaptation); coûts de l'absence de planification en vue des changements climatiques qui ne se produisent pas; coûts de la planification en vue de changements climatiques qui se produisent. l'introduction de l'adaptation aux changements climatiques a montré les avantages de la mise en œuvre des deux stratégies à la fois; elle a également illustré un point important, à savoir que le coût de ne pas s'adapter aux changements climatiques est plus élevé que celui de l'adaptation.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://www.hmtreasury.gov.uk/media/8A7/87/stern_review_supporting_technical_material_molly_hellmuth_231006.pdf

CALVIN (*CALifornia Value Integrated Network* /Réseau intégré à valeur ajoutée CALifornia)

CALVIN est un modèle d'optimisation des techniques économiques à l'échelle de l'État. Il a été conçu pour évaluer la capacité du système d'approvisionnement en eau de la Californie à s'adapter aux changements climatiques. C'est un modèle expressément adaptatif (Jenkins *et al.,* 2004) qui tient compte de l'approvisionnement en eau et des activités de gestion de la demande nécessaires pour s'adapter aux changements climatiques en vue de réduire au minimum leur impact économique. Le modèle permet de modéliser des options d'adaptation, comme : attribution et marchés de l'eau, opérations conjointes pour l'eau de surface et l'eau souterraine, opérations coordonnées des installations, efficience de la conservation et/ou de l'utilisation urbaines de l'eau, changements de cultures et mise en jachère, utilisation économique de l'eau en agriculture, nouvelles technologies, réutilisation des eaux usées et dessalement de l'eau de mer (Lund *et al.,* 2007).

Étude de cas terminée

Tanaka *et al.* (2006) ont évalué les impacts des changements climatiques sur la Californie, avec et sans adaptation. Cinq scénarios portant sur tout l'État ont été appliqués au modèle CALVIN : a) scénario de référence 2020 : présume la perpétuation des opérations et des politiques actuelles; b) SWM 2020 : présume des opérations souples, stimulées par l'économie, et des politiques d'attribution; c) SWM 2100 : prolonge le modèle jusqu'en 2100; d) PCM 2100 : se base sur un scénario hydrologique de réchauffement climatique donnant du temps chaud et sec de 2080 à 2099; e) HCM 2100 : se base sur un scénario hydrologique de réchauffement climatique donnant du temps chaud et humide de 2080 à 2099. Les impacts sur l'eau et les adaptations ont été réglés à l'échelle de l'État. Un certain nombre de types et d'échelles d'adaptations stimulées par l'économie ont été intégrés au modèle au lieu de générer une seule réponse adaptative. Les résultats du modèle ont montré que le système hydrologique de la Californie pourrait s'adapter aux scénarios (même les plus pessimistes), mais les adaptations s'accompagnent nécessairement de coûts; toutefois, avec la mise en place d'une gestion fiscale appropriée, les coûts ne menaceraient pas l'économie (Tanaka *et al.,* 2006).

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://cee.engr.ucdavis.edu/faculty/lund/CALVIN/

CanCLIM (*Canada Climate* / Climat du Canada)

CanCLIM est une version modifiée du modèle CLIMPACTS, qui a été mise au point pour le Canada en vue de faciliter l'évaluation des impacts possibles des changements climatiques et celle des options d'adaptation aux changements climatiques. CLIMPACTS est un logiciel de conception néo-zélandaise (qui est utilisé maintenant partout dans le monde). Le modèle comporte une interface graphique (GUI) conviviale, un système d'information géographique (SIG) personnalisé, un générateur de scénarios ayant trait aux changements climatiques à l'échelle nationale et régionale pour la création rapide de scénarios de changements climatiques spécifiés par l'utilisateur, une capacité d'analyser les événements climatiques extrêmes à partir des données historiques.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://www.waikato.ac.nz/igci/modelling/modelling.htm

http://www.waikato.ac.nz/igci/projects/canclim.htm

CanREM and REAM (*Canadian Regional Energy Model and Regional Energy Analysis Model* / Modèle régional canadien de l'énergie et Modèle d'analyse régional de l'énergie)

Il s'agit de modèles d'optimisation qui procurent des scénarios d'approvisionnement énergétique en vertu de différentes hypothèses de demandes ou de contraintes. Le modèle adapte au fond l'attribution des ressources énergétiques en fonction de l'environnement externe, c'est-à-dire la demande ou les contraintes imposées au système, soit les cibles d'émission. Les scénarios de demande peuvent être basés sur des changements climatiques projetés et tenir compte d'autres changements des technologies ou de la société. CanREM, fruit d'une collaboration entre Environnement Canada et l'Université de Regina, est avant tout fondé sur des données et se révélera plutôt sensible aux problèmes relatifs aux données. Pour cette raison, il a été conçu de manière à intégrer des intervalles et des paramètres flous. Il peut toutefois fournir une analyse très précise à partir de ressources exploitées pour les utilisations finales de l'énergie, dont les changements climatiques.

Le modèle REAM est plus simple et se concentre sur la demande globale et un ensemble de facteurs de pondération environnementaux. Même s'il n'est pas aussi précis que CanREM quant aux scénarios sur l'avenir, ses résultats peuvent s'afficher sur une feuille de calcul.

Étude de cas terminée

Q.C. Lin, G.H. Huang et B. Bass (2005). « An energy systems modeling approach for the planning of power generation: A North American case study », *International Journal of Computer Applications in Technology, 22 :* 151-159.

Le modèle CanREM a servi à avoir une projection dans l'avenir des approvisionnements énergétiques de la région Toronto-Niagara selon différents scénarios stratégiques, dont une élimination progressive de l'électricité provenant des centrales thermiques alimentées au charbon, en vue d'atteindre les cibles d'émissions de Kyoto et de favoriser l'utilisation de ressources renouvelables. Dans l'ensemble, une stratégie axée sur les cibles de Kyoto était de loin plus efficace pour favoriser l'utilisation de ressources renouvelables qu'une stratégie dirigée plus particulièrement sur ce secteur, en plus d'être plus efficace pour l'élimination progressive du charbon aux fins d'une réduction des émissions.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://www.lter.uaf.edu/pdf/1041_berman_nicolson_2004.pdf

CIAM (*Community Integrated Assessment Model* / Modèle intégré d'évaluation de la collectivité)

Le modèle CIAM est un modèle à venir découlant des recherches du Tyndall Centre, qui l'a annoncé comme étant le nouveau « point central » de leurs recherches. Le modèle permettra aux scientifiques de réaliser des analyses holistiques à partir de stratégies d'adaptation aux changements climatiques; il est en mesure de simuler des options d'adaptation. CIAM amalgamera des modèles climatiques, des modèles socioéconomiques, des modèles de changement technologique, des modèles stratégiques, des modèles de transport, des modèles de comportement social et de prise de décision, des modèles hydrologiques et des modèles d'impacts des changements climatiques, comme le déplacement des biomes, la santé humaine et les événements extrêmes. Le modèle prévoira les coûts de l'adaptation aux changements climatiques; il est supposé être plus avancé sur le plan mathématique que les modèles antérieurs, atténuant l'incertitude grâce à une analyse mathématique plus approfondie.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://www.tyndall.ac.uk/research/theme1/final_reports/it1_3.pdf

CLIMPACTS (*Climate Impacts* / Impacts climatiques)

CLIMPACTS est un modèle intégré d'évaluation qui effectue des analyses d'impact intégrées et évalue les options d'adaptation; il sert à évaluer des scénarios stratégiques de réponse aux changements climatiques jusqu'à l'an 2100. Le modèle comporte trois éléments principaux : 1) un simple modèle climatique mondial du bilan énergétique de remontée-diffusion, étant lui-même un modèle intégré contenant des modèles de cycle gazeux et de forçage radioactif du climat, ainsi qu'un simple modèle océan-atmosphère; 2) un générateur de scénarios climatiques pour la Nouvelle-Zélande, qui est constitué de données climatiques à intervalles tirées d'une station, de schémas climatologiques et de réduction d'échelle à interpolation spatiale relatifs aux changements climatiques qui ont été dérivés d'expériences réalisées à l'aide d'un modèle de circulation générale (MCG) complexe, ainsi que de schémas de variabilité liés à ENSO et à l'oscillation interdécennale dans le Pacifique; 3) un ensemble de modèles d'impacts liés aux cultures et aux sols utilisés pour le pâturage, l'horticulture et le labour.

Les options d'adaptation comprennent la gestion intégrée des bassins hydrologiques, les changements des systèmes d'établissement du prix de l'eau, les initiatives de valorisation de l'eau, la construction ou la remise en état de technostructures, la relocalisation d'immeubles, la planification et la gestion urbaines, et l'amélioration des mesures d'approvisionnement en eau dans les régions éloignées et les basses terres insulaires. Les enjeux financiers et les coûts investis dans d'éventuelles adaptations indiquent une forte vulnérabilité en ce qui a trait à l'hydrologie.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://climsystems.com/site/products/?id=10

CLOUD (*Climate Outlooks and Agent-Based Simulation of Adaptation in Africa* / Perspectives climatiques et simulation orientée agent de l'adaptation en Afrique)

CLOUD est un modèle orienté agent (ABM) qui simplifie le comportement des collectivités agricoles. À partir de travaux sur le terrain, le modèle incorpore des modules relatifs à l'économie, aux cultures et à l'adaptation à des scénarios courants de changements climatiques. Le modèle est à même d'intégrer la mémoire de l'agent en cas de variabilité climatique antérieure. CLOUD examine les changements climatiques et l'adaptation tout en tenant compte du comportement des agents (Bharwani *et al.,* 2005). Les options d'adaptation dont dispose l'agent en ce qui a trait à l'agriculture et à la salubrité des aliments sont intégrées au modèle. Les caractéristiques des voies d'adaptation font partie des données de sortie du modèle. La question centrale ou l'objectif principal de CLOUD consiste à savoir « dans quelle mesure les prévisions saisonnières permettent d'assurer une adaptation de longue durée aux changements climatiques, en faisant le lien entre l'apprentissage à l'échelle saisonnière et l'évolution du climat sur des intervalles plus longs ».

Étude de cas terminée

On a appliqué CLOUD aux stratégies d'adaptation de fermiers faisant partie d'un projet de jardin communautaire mis sur pied dans le village de Mangondi, dans la province de Limpopo, en Afrique du Sud. Le modèle comportait des « agents » fermiers ayant différents profils de richesse. Les travaux sur le terrain ont été menés, les fermiers, interrogés, et les données recueillies, utilisées pour créer des modules relatifs à l'économie, aux cultures et à l'adaptation. Des scénarios climatiques tirés des expériences avec le modèle de changements climatiques ont été insérés. Les agents du modèle se « souvenaient » des extrêmes climatiques passés, ce qui permettait de modifier le comportement et la perception du risque (Bharwani *et al.,* 2005). Les résultats du modèle orienté agent illustrent les impacts de stratégies d'adaptation de ce genre, à court terme, qui concourent à la résilience à long terme dans certaines conditions de changements climatiques ou certaines conditions de variabilité du climat. Les réponses à court terme décrites dans les parties précédentes, basées sur les observations tirées des travaux sur le terrain, ont des impacts qui favorisent la durabilité des intervalles, de saisonniers à annuels et à décennaux, puisque le capital accumulé permet de mettre en place des stratégies plus novatrices.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://www.geog.ox.ac.uk/research/projects/cloud/ links.html

COBWEB (*Complexity and Organized Behaviour Within Environmental Bounds* / Complexité et comportement organisé dans des limites environnementales)

COBWEB est une simulation orientée agent qui a été créée pour découvrir de quelle manière des systèmes complexes pouvant inclure des personnes, des animaux ou des bactéries s'adaptaient aux changements et aux variations de l'environnement. Les agents du modèle COBWEB sont animés par un outil d'intelligence artificielle appelé algorithme génétique, qui est une stratégie comportementale. Ces stratégies sont créées au hasard lors du lancement du modèle. Les stratégies des agents sont modifiables par l'entremise de communications avec d'autres agents, la reproduction et d'autres données provenant de l'environnement. Les ressources, ou variabilité environnementale, sont simulées à l'aide d'un autre outil courant d'intelligence artificielle, un automate cellulaire. Le modèle COBWEB est très interactif, ce qui permet à l'utilisateur de régler de nombreux paramètres pour influer sur les agents ou les ressources. Des paramètres, comme les dépenses énergétiques, le taux de croissance des ressources, les besoins d'énergie de diverses mesures et l'énergie dérivée de différentes ressources sont tous accessibles à partir de l'interface, très conviviale. Les schémas résultants de populations et de ressources sont déterminés par l'interaction des agents entre eux et avec l'environnement. COBWEB est utilisé pour la recherche, tant par les étudiants des universités que par ceux des écoles secondaires; il sert à l'éducation sur l'adaptation dès la quatrième année du primaire jusqu'à la quatrième année des études universitaires.

Étude de cas terminée

B. Bass et E. Chan (2005). « Complex organization and bifurcation within environmental bounds. COBWEB: An agent-based approach to simulating ecological adaptation », *Journal of Environmental Information, 6* (2).

Cette étude a utilisé le modèle COBWEB pour découvrir la manière dont les espèces sont en mesure de s'adapter à un nouvel environnement. Les explications les plus courantes, comme de forts taux de reproduction, ne pouvaient pas mener à une invasion réussie. Le seul changement environnemental qui ait mené à une invasion réussie était la quantité d'énergie emmagasinée dans le territoire envahi. Lorsque la base de ressources était suffisamment riche pour les espèces indigènes comme pour les espèces envahissantes, l'envahisseur avait la chance de coloniser les lieux et d'en extirper les espèces indigènes. COBWEB a servi à simuler l'émergence de la collaboration ou du vol dans des conditions de stress afin de prévoir la population minimale viable pour subvenir aux besoins d'une population, pour simuler la dissémination du virus de la grippe (une étude qui a reçu une médaille d'or à la Toronto Science and Technology Fair) et pour étudier l'émergence des comportements de groupes et des hiérarchies de lieux centraux.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

www.cobweb.ca

CRiSTAL (*Community-based Risk Screening – Adaptation and Livelihoods* / Examen préalable du risque communautaire – Adaptation et moyens de subsistance)

La notion que des projets communautaires pouvaient mener à une bonne ou à une mauvaise adaptation, selon que l'on augmente ou que l'on diminue la vulnérabilité, a favorisé la création de CRiSTAL, un programme convivial qui facilite l'établissement de liens entre les changements climatiques et les moyens de subsistance. Le modèle permet de déterminer si un projet communautaire accroît la capacité d'adaptation ou la réduit. l'outil peut être utilisé par des collectivités locales, des planificateurs de projet et des gestionnaires de projet qui souhaitent s'assurer que les possibilités d'adaptation sont optimisées et que les mauvaises adaptations sont réduites au minimum. CRiSTAL vise les buts suivants : a) cibler les aspects d'un projet donné qui sont directement liés à la capacité d'adaptation aux changements climatiques à l'échelle communautaire; b) évaluer les effets précis des activités d'un projet sur cette capacité; c) déterminer les changements susceptibles d'améliorer les effets du projet. Le but visé est d'accroître les moyens de subsistance en augmentant la capacité d'adaptation aux changements climatiques (voir la source en ligne).

Étude de cas

Au Mali, une sécheresse, des inondations et une chaleur extrême accrues font partie des changements climatiques majeurs, ce qui occasionne des dégâts aux cultures, la perte d'arbres et des conflits sociaux dus à la sécheresse; l'eau de surface se raréfie, les stocks de poissons sont réduits, et des pertes de revenus sont causés par les inondations, la maladie ou l'affaiblissement des animaux d'élevage, de même que la réduction du travail et le chômage causés par la chaleur extrême si aucune mesure d'adaptation appropriée n'est mise en place. Un groupe de travail a appliqué le modèle CRiSTAL; les données de sortie ont établi que les activités retenues pour le projet avaient un effet plutôt positif sur les ressources naturelles, le capital physique, le capital social et les ressources humaines. Le financement des projets d'adaptation constitue l'une des limites de ce modèle. Par conséquent, seules les adaptations abordables sont incluses dans le modèle.
Selon les résultats des analyses sur le terrain, CRiSTAL est sur le point d'être révisé, et des partenaires rechercheront d'autres sources de financement à appliquer à l'outil pour différents emplacements du projet, ce qui fera progresser la mise en œuvre des activités d'adaptation aux activités sur le terrain (voir la source en ligne).

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://www.iisd.org/security/es/resilience/climate_phase_2.asp

http://www.sei.se/index.php?section=climate&page=projdesc&projdescpage=99976

DIVA (*Dynamic Interactive Vulnerability Assessment* / Évaluation dynamique interactive de la vulnérabilité)

DIVA est un modèle mondial élaboré spécifiquement pour l'évaluation de stratégies d'adaptation aux changements climatiques dans les zones côtières. La création du modèle faisait partie du projet DINAS-COAST financé par l'Union européenne. DIVA est un outil intégré d'évaluation des zones côtières. Il est conçu spécialement pour étudier la vulnérabilité des régions côtières à l'élévation du niveau de la mer. Il comprend une base de données mondiale du système naturel et des facteurs socioéconomiques, des scénarios pertinents, un ensemble d'algorithmes impact-adaptation et une interface graphique personnalisée. Les facteurs pris en compte sont entre autres l'érosion, la salinisation attribuable aux crues et la perte de milieux humides. DIVA s'inspire de l'évaluation sur papier de la vulnérabilité mondiale (Hoozemans *et al.,* 1993), auquel une amélioration majeure a été apportée au niveau des données, des facteurs pris en compte (y compris l'adaptation) et l'utilisation des techniques informatiques.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://www.dinas-coast.net/

http://diva.demis.nl/

http://unfccc.int/files/national_reports/non-annex_i_natcom/cge/application/pdf/diva_print_me_first.pdf

http://unfccc.int/files/adaptation/methodologies_for/vulnerability_and_adaptation/application/pdf/dynamic_interactive_vulnerability_assessment__diva_pdf

EPIC (*Erosion Productivity Impact Calculator* / Calculateur de l'impact de l'érosion sur la productivité)

EPIC est conçu pour quantifier les coûts de l'érosion du sol et les avantages de la recherche et de la lutte contre l'érosion. Cette approche est utile pour évaluer un nombre restreint d'adaptations agronomiques aux changements climatiques, comme le changement des dates de semence, la modification des rotations (à savoir le changement de cultivars et des espèces cultivées), le passage à d'autres pratiques d'irrigation et la modification des travaux du sol (Adejuwon, 2006).

EPIC est propre à chaque site et peut donc s'appliquer dans différentes régions agricoles. Par conséquent, les dossiers de paramètres sont extrêmement sensibles aux conditions locales; EPIC peut donc donner des résultats manifestement erronés lorsque des paramètres par défaut sont utilisés, puisque le modèle est conçu expressément pour différents sites et divers systèmes de culture. Les principales données d'entrée sont quantitatives et portent sur le climat, les sols et la gestion des cultures, tandis que les principales données de sortie représentent la réponse aux rendements de culture, aux composants de rendement et aux exigences en matière d'irrigation liés aux adaptations aux changements climatiques (Adejuwon, 2006). Le modèle EPIC 8120 est en mesure d'analyser les données d'entrée de cinq façons différentes : i) estimation de la productivité des cultures, c'est-à-dire le rendement des cultures par unité de surface du terrain; ii) estimation de la production totale des cultures sur une superficie donnée du terrain ou du territoire; iii) évaluation des impacts de la variabilité et des changements climatiques sur les rendements et la production des cultures; iv) évaluation de la vulnérabilité des systèmes de production des cultures à la variation et aux changements climatiques; v) évaluation des options et des stratégies d'adaptation pour la gestion des impacts néfastes de la variabilité et des changements climatiques (Adejuwon, 2006).

Étude de cas terminée

En 1992, Easterling *et al.* ont mené une étude sur les réponses à long terme et à court terme aux changements climatiques et sur les adaptations. l'étude a utilisé le modèle EPIC et quatre scénarios : a) 2030, sans adaptation ni enrichissement du CO_2; b) 2030, sans adaptation, avec concentrations plus élevées de CO_2; c) 2030, avec adaptation; d) 2030, avec adaptation et concentrations plus élevées de CO_2. Les scénarios ont été lancés et EPIC a été en mesure de montrer que les adaptations aux changements climatiques réussissaient à faire diminuer les impacts imminents (Easterling *et al.,* 1992).

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://www.brc.tamus.edu/epic/

ESCAPE (*Evaluation of Strategies to Address Climate Change by Adapting to and Preventing Emissions* / Évaluation de stratégies pour lutter contre les changements climatiques par l'adaptation et la prévention des émissions)

ESCAPE est un modèle intégré d'évaluation en collaboration qui comporte des éléments d'IMAGE et de MiniCAM. ESCAPE comporte quatre régions du monde, des modules d'émissions distincts, la chimie et la dynamique atmosphériques, et les impacts. Le cadre d'ESCAPE a servi à la création de MAGICC qui est à même d'inclure des cadres intégrés plus volumineux créés par d'autres institutions.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://sedac.ciesin.org/mva/iamcc.tg/TGsec4-2-5.html

ESP-r (*Environmental Services Performance-research* / Recherche sur le rendement des services environnementaux)

ESP-r simule la consommation d'énergie d'un immeuble. Il a été conçu et tenu à jour par l'Université de Strathclyde, en Écosse. Il a fait l'objet de modifications en vue de permettre l'évaluation de l'impact d'une grande toiture verte sur la consommation d'énergie. Cette modification particulière se fonde sur la contribution de chaque couche de toiture verte exprimée sous forme de paramètres comme la conductivité thermique. Les toitures vertes sont perçues comme une adaptation à laquelle les villes peuvent recourir pour faire face aux changements extrêmes des précipitations et de la température. Le modèle peut être utilisé pour évaluer les toitures vertes sous différents climats ou selon des scénarios de changements climatiques, lorsque des scénarios comportant des intervalles de temps sous-quotidiens sont disponibles.

Étude de cas terminée

S. Saiz-Alcazar, C. Kennedy, B. Bass et K. Pressnail (2006). « Comparative life cycle assessment of standard and green roofs », *Environmental Science and Technology, 40 :* 4312-4316.

Cette étude a évalué le rendement d'une toiture verte par rapport à une toiture standard à l'aide d'un certain nombre de mesures, dont la consommation d'énergie. À l'aide d'un immeuble résidentiel de huit étages situé à Madrid, ESP-r a simulé une différence modeste, mais significative dans la consommation d'électricité durant l'été (réduction de 6 % avec une toiture verte) et la demande de pointe (10 % avec une toiture verte). l'étage situé sous la toiture a pour sa part bénéficié d'économie de plus de 20 %, avoisinant les 30 %, dans le scénario de la demande de pointe.

■ Pour plus de renseignements

D'autres applications sont mentionnées dans Proceedings of Greening Rooftops for Sustainable Communities 2005 and 2006 sur le site :

www.greenroofs.org

Farm-Adapt (*Future Agricultural Resource Model-Adapt* / Modèle des ressources de l'agriculture future et de l'adaptation)

FARM-Adapt est un modèle d'optimisation qui tente d'établir le coût le plus faible (sans profit) et les adaptations profitables. Le modèle optimise la marge nette et les recettes de la ferme en sélectionnant les mélanges optimaux de cultures, d'animaux, de main-d'œuvre, de machinerie, d'entreposage, d'hébergement et d'irrigation pour un certain type de ferme; il a été utilisé dans les recherches axées sur les stratégies et l'environnement (impacts des changements climatiques sur les fermes, réduction des émissions de gaz à effet de serre et perte de nitrates). Il comporte quelques options d'adaptation, dont l'absence d'adaptation, la modification du mélange de cultures, la chronologie, la machinerie, les capacités d'irrigation et d'entreposage, et les changements d'entreprises. FARM-Adapt utilise la simulation Monte Carlo pour étudier les adaptations les plus économiques.

Étude de cas terminée

Une publication récente fait état de l'utilisation de FARM-Adapt pour établir le rapport coût-efficacité des adaptations des fermiers aux changements climatiques à partir d'une simulation Monte Carlo visant à établir les coûts-avantages d'adaptations particulières. Après avoir lancé le modèle d'adaptation profitable (rentable) visant à réduire l'impact environnemental des activités agricoles, les éléments suivants ont été déterminés : les adaptations rentables consistaient i) à éliminer la production bovine intensive, ii) à réduire le stockage de fumier et à augmenter la fréquence de son épandage, iii) à remplacer les aliments concentrés par de l'herbe et de l'herbe conservée dans la production laitière, iv) à épandre moins d'azote minéral dans les pâturages. Le modèle a permis d'analyser la gestion du risque dans les fermes (gestion des activités agricoles) tout en tenant compte de la mauvaise adaptation, parce que le modèle prend en considération des facteurs d'atténuation. Par conséquent, les adaptations retenues doivent être rentables sans être mauvaises (Gibbons *et al.,* 2006).

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://www.nottingham.ac.uk/environmental-modelling

FUND 2.9 (*Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution* / Cadre pour l'incertitude, la négociation et la distribution)

FUND 2.9 est une version modifiée du modèle FUND original; il est défini pour 16 régions, pour lesquelles des données sont obtenues pour 1950 à 2300 en intervalles annuels, et est expressément optimisé pour l'adaptation à l'élévation du niveau de la mer. Le modèle, que Richard Tol a énormément étudié, tient également compte, outre de l'élévation du niveau de la mer, de l'agriculture, des vents violents, des crues des rivières, des stress thermiques, du stress dû au froid, de la malaria et des pertes de biodiversité. Les dommages sont exprimés en devises. Les fonctions de dommages dans FUND 2.9 sont des fonctions polynomiales secondaires du taux de change ou du niveau de la température mondiale moyenne, qui tiennent compte de l'adaptation (Tol et Fankhauser, 1998; Tol, 2007).

Étude de cas terminée

Plusieurs études ont utilisé FUND. Une étude a révélé que l'impact d'une hausse de 2,5 °C de la température moyenne de l'air à la surface du globe d'ici 2050 ferait augmenter de 1,5 % les recettes mondiales (Pearce *et al.,* 1996). Par la suite, une deuxième étude de Tol (2007) a montré que la mise en place d'une adaptation réduirait les impacts de l'ordre de 10 à 100. l'adaptation serait réalisable à un faible coût comparativement aux dommages évités, et puisque le niveau de la mer s'élève à grande vitesse, l'atténuation ne réduirait les impacts que dans une certaine mesure (Tol, 2007). l'utilisation de FUND 2.9 a également montré qu'une trop forte atténuation aurait en fait des effets néfastes parce qu'il y aurait moins d'adaptation, ce qui entraînerait plus de dommages nets dus aux changements climatiques (de Bruin *et al.,* 2007).

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://fnu.zmaw.de/FUND.5679.0.html

ICAM (*Community Integrated Assessment Model* / Modèle intégré d'évaluation du climat)

ICAM (différentes versions) est un modèle axé sur la simulation d'impacts qui analyse l'incertitude et les impacts liés aux changements climatiques. Le modèle génère des projections de croissance économique basées sur la croissance de la population régionale et les hypothèses spécifiées par l'utilisateur. Les stratégies d'adaptation sont représentées de façon implicite dans les modules d'impact, et ne peuvent dont pas être modifiées de façon explicite.

ICAM-3 fonctionne avec sept zones géographiques (surtout des régions des Nations Unies), selon des intervalles de cinq ans jusqu'à l'an 2100. Le modèle a servi à étudier la réduction de l'effet de serre, l'adaptation et les options de géotechniques (Downlatabadi, 1995). Les impacts sur le marché reflètent les données de sortie de la perte économique résultant des changements climatiques, et diminuent progressivement en raison de l'adaptation (Dowlatabadi, 1995).

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://hdgc.epp.cmu.edu/models-icam/models-icam.html

ICLIPS (*Integrated Assessment of Climate Protection Strategies* / Évaluation intégrée des stratégies de protection du climat)

ICLIPS est un modèle intégré d'évaluation (l'outil ICLIPS pour les impacts est une interface-utilisateur graphique d'une vaste base de données de résultats). ICLIPS adopte une approche différente de l'intégration des questions d'atténuation et d'impact/d'adaptation, les applications composant de façon indirecte avec l'adaptation. Le cadre combine de nombreux modèles dans une approche à fenêtres tolérables, ou approche à garde-fou, ce qui signifie que jugements de valeur et analyse scientifique sont séparés. Pour atteindre ce but, la première étape consiste à se baser sur une définition normative des contraintes (« garde-fou »), qui exclut les impacts climatiques et les conséquences socioéconomiques des mesures d'atténuation qui sont perçus comme intolérables par les décisionnaires. Dans les étapes subséquentes, une analyse scientifique de la « chaîne de causalité », fondée sur le modèle, est réalisée en vue d'en extraire une liste de toutes les stratégies recevables de protection du climat, c'est-à-dire l'ensemble de toutes les voies stratégiques compatibles avec les contraintes prédéterminées (Toth, 2003).

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://www.pik-potsdam.de/~fuessel/

IMAGE 2.1 (*Integrated Model to Assess the Greenhouse Effect* / Modèle intégré pour l'évaluation de l'effet de serre)

IMAGE est un cadre dynamique de modélisation de l'évaluation intégrée des changements mondiaux et un modèle de simulation. Les principaux objectifs d'IMAGE consistent à contribuer à la compréhension scientifique et à faciliter la prise de décisions en quantifiant l'importance relative des processus et des interactions majeurs du système société-biosphère-climat. Le modèle procure des perspectives dynamiques à long terme des conséquences systémiques des changements mondiaux, des aperçus des impacts des changements mondiaux, une base quantitative pour l'analyse de l'efficacité relative de différentes options stratégiques pour aborder le problème des changements mondiaux (Alcamo *et al.,* 1998; voir la source en ligne).

Dans le cadre d'IMAGE 2.1, le modèle général d'équilibre économique, WorldScan, et le modèle de population, PHOENIX, procurent les données de base sur les développements économiques et démographiques dans 17 régions du monde et dans trois sous-systèmes connexes : le système énergie-industrie (SEI), le système de l'environnement terrestre (SET) et le système atmosphérique et océanographique (SAO). Les données historiques pour les périodes de 1765 à 1995 servent à initier le cycle du carbone et le système climatique. Les simulations par IMAGE 2.2 couvrent les périodes de 1970 à 2100. Les données pour 1970 à 1995 servent à étalonner le SEI et le SET. Les simulations allant jusqu'à l'an 2100 sont réalisées à partir de scénarios hypothétiques portant, par exemple, sur la démographie, l'alimentation et la consommation d'énergie, la technologie et le commerce (voir la source en ligne).

Étude de cas terminée

IMAGE est un modèle élaboré et complexe qui comporte un grand nombre de composants. Les changements climatiques auront un effet direct sur la végétation naturelle, plus que sur d'autres secteurs. Une migration des plantes (un mécanisme d'adaptation) sera peut-être observée en réponse à ces impacts (sécheresse, précipitations, stress thermique). IMAGE est en mesure de discerner la capacité d'adaptation de la végétation naturelle. Dans une étude, les zones possibles de migration ont été calculées à partir des distances de dispersion maximales et des taux de migration. Le modèle peut déterminer la capacité de la végétation naturelle de s'adapter (par migration) à d'autres « cellules » du modèle (dans l'ensemble de la zone de migration). Les « cellules » capables de s'adapter convertiront le type de végétation original en un nouveau type de végétation sur la base d'hypothèses relatives aux périodes de transition. Il sera ainsi possible d'évaluer la capacité d'adaptation de la végétation (voir la source en ligne).

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://www.mnp.nl/image

http://www-iam.nies.go.jp/aim/AIM_workshop/GHG/KRAM.pdf

ISIS (*Information Society Integrated Systems* / Systèmes intégrés de la société d'information)

Les modèles ISIS peuvent servir à décrire différentes options dont dispose la société pour faire face aux risques émergents, qu'ils soient réels ou perçus (les changements climatiques, par exemple). ISIS est applicable à une grande variété de problèmes liés aux changements climatiques, aux risques et aux catastrophes naturels. Le modèle est articulé autour du cycle de vie d'une innovation élémentaire comportant sept étapes. La première étape est l'invention (un nouveau marché d'adaptation en soi) susceptible de changer l'économie et la vie humaine. Le modèle reprend le processus d'adaptation mutuelle (semblable à la diffusion des innovations). ISIS peut reproduire une expansion massive d'une nouvelle adaptation, une expansion lente et une expansion mondiale (Grossmann, 2001).

Étude de cas complétée

Dans Grossmann (2001), un monde en deux régions est analysé à l'aide d'ISIS. La région I, qui possède une économie traditionnelle, fait face à des risques posés par des facteurs environnementaux (p. ex. changements climatiques), en comparaison de la région II, qui est nettement moins développée et qui affronte un moins grand nombre de menaces par des forces naturelles. Après le lancement du modèle, les catastrophes environnementales et une perception accrue du risque (par l'expérience et l'éducation) ont engendré une augmentation des activités dans la région II. Au lieu d'une augmentation des coûts, le déplacement des activités (adaptation aux impacts des changements climatiques) s'est révélé plus efficace pour l'économie sur une longue période, parce qu'il a forcé l'investissement dans des technologies d'adaptation plus modernes.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://w3g.gkss.de/staff/storch/pdf/kompl_Grossmann.pdf

MAGICC (*Model for the Assessment of Greenhouse gas Induced Climate Change* / Modèle pour l'évaluation des changements climatiques produits par les gaz à effet de serre)

MAGICC est un ensemble de modèles simples qui, conjugués, constitue un modèle climatique unique. Le modèle sert à évaluer les stratégies d'adaptation. MAGICC est un modèle de circulation générale (MCG), à la différence qu'il utilise un ensemble de modèles à forme comprimée pour reproduire le comportement de MCG complets, tridimensionnels et dynamiques. MAGICC calcule la température annuelle moyenne de l'air à la surface du globe et les répercussions mondiales moyennes au niveau de la mer des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre et de dioxyde de soufre. Les utilisateurs peuvent choisir quels scénarios d'émissions utiliser ou définir leur propre scénario; ils peuvent également modifier un certain nombre de paramètres du modèle pour étudier l'incertitude. Le GIEC a utilisé souvent ce modèle dans ses évaluations.

SCENGEN, un générateur de scénarios mondiaux et régionaux, n'est pas un modèle climatique; il s'agit plutôt d'une simple base de données qui contient les résultats d'un grand nombre d'expériences réalisées à l'aide du MCG, ainsi qu'un ensemble de données climatiques mondiales et quatre ensembles de données climatiques régionales. Ces différents champs de données sont manipulés par SCENGEN en utilisant les données sur le taux et l'ampleur du réchauffement mondial fournis par MAGICC et conditionnés par le choix des utilisateurs quant à l'importance des caractéristiques du scénario climatique. SCENGEN a été élaboré sur un certain nombre d'années pour fonctionner conjointement avec MAGICC, mais il peut être utilisé seul, pour des fonctions plus limitées. Le GIEC n'a pas utilisé officiellement SCENGEN, mais presque tous les ensembles de données et les observations utilisés par les MCG de SCENGEN ont servi ou ont été évalués dans différentes analyses du GIEC, dont le troisième rapport devant paraître en 2001 (Hulme *et al.,* 2000).

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://sedac.ciesin.columbia.edu/aiacc/toolkit.html

http://www.climatescience.gov/workshop2005/posters/P-WE1.21_Smith.J.pdf

Mini-CAM (*Mini-Climate Assessment Model* / Modèle d'évaluation de mini-climats)

Mini-CAM est un modèle intégré d'évaluation des changements climatiques. Le modèle est conçu pour examiner les changements à long terme et à grande échelle dans des systèmes énergétiques mondiaux et régionaux dont les caractéristiques de capital national existant ne constituent pas le facteur dominant dans l'établissement des dynamiques du système énergétique. Il intègre plusieurs modèles, dont MAGICC et SCENGEN pour l'analyse des changements climatiques et régionaux, mais possède des modules technologiques distincts. Il incorpore les prix de l'énergie, les émissions, la fourchette de températures et l'aménagement des sols. Le modèle s'applique à l'échelon régional et mondial puisqu'il contient des données détaillées sur 14 régions (États-Unis, Canada, Europe de l'Ouest, Japon, Australie et Nouvelle-Zélande, ancienne Union soviétique, Europe de l'Est, Amérique latine, Afrique, Moyen-Orient, Chine [et économies asiatiques renouvelées], Inde, Corée de Sud, reste de l'Asie du Sud et de l'Est). Mini-CAM fonctionne par intervalles de 15 ans entre 1990 et 2095.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://www.globalchange.umd.edu/models/MiniCAM.pdf

http://www.pnl.gov/gtsp/research/minicam.stm

MPPACC (*Model of Private Proactive Adaptation to Climate Change* / Modèle de l'adaptation proactive du secteur privé aux changements climatiques)

La perception du risque et la capacité d'adaptation perçue sont d'importants facteurs qui, avant Grothmann et Patt (2005), n'étaient pas inclus dans les modèles d'adaptation aux changements climatiques. Dans une tentative de traiter des facteurs psychologiques dans l'adaptation, on a élaboré un modèle sociocognitif d'adaptation proactive du secteur privé aux changements climatiques (MPPACC) à partir du modèle psychologique appelé « théorie de la motivation à la protection ». Le modèle s'attarde aux étapes psychologiques des réponses aux perceptions : perception du risque et capacité adaptative perçue aux changements climatiques. Le modèle suit un cadre qui ajoute le comportement adaptatif à un résultat d'adaptation réussie ou non. Le modèle de processus comprend une capacité d'adaptation objective (temps, argent, résistance, connaissances, droits, soutien social et institutionnel) et une évaluation de l'évaluation : efficacité de la perception de l'adaptation, auto-efficacité perçue et coûts perçus de l'adaptation, mesures incitant à l'adaptation; évitement d'une mauvaise adaptation (fatalisme, déni, idées chimériques); et intention d'adaptation. Elles permettent d'obtenir des données de sortie sur l'adaptation ou de les empêcher.

Étude de cas terminée

Deux exemples sont publiés dans Grothmann et Patt (2005), un provenant d'Allemagne et l'autre, d'une région rurale du Zimbabwe. Le premier est une étude des décisions pour l'adaptation à la menace d'inondation de Cologne, en Allemagne. l'étude de Cologne a montré que les facteurs sociocognitifs ont été plus utiles pour expliquer le comportement adaptatif que ne l'ont été les facteurs socioéconomiques objectifs, comme la propriété d'une résidence et les revenus familiaux. Le deuxième exemple est une étude des décisions de modifier les pratiques agricoles pour adapter les prévisions relatives aux chutes de pluie saisonnières au Zimbabwe, pour laquelle le modèle a trouvé une correspondance qualitative entre MPPACC et le comportement adaptatif. l'étude de cas du Zimbabwe a montré de quelle manière l'évidence de l'échec d'adaptation des personnes est explicable à l'aide de facteurs cognitifs. Ces études de cas initiales ont montré l'importance de la capacité d'adaptation perçue, qu'aucun autre modèle d'adaptation n'avait encore abordée au moment de la publication. Par conséquent, on pourrait avancer que lors de la modélisation de l'adaptation, il est nécessaire d'incorporer des variables sociocognitives.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://diglib.uni-magdeburg.de/disssertationen/2005/torgrothmann.htm

OSWRM (*Okanagan Sustainable Water Resources Model* / Modèle des ressources en eau durables de l'Okanagan)

Les systèmes liés aux ressources hydriques sont sensibles et vulnérables aux changements climatiques et aux pressions d'expansion. OSWRM offre un outil d'apprentissage pour l'évaluation de l'efficacité des options d'adaptation des différents scénarios de changements climatiques et de croissance de la population du bassin de l'Okanagan, une région semi-aride de la Colombie-Britannique, au Canada. Le modèle a été élaboré selon une approche de modélisation raisonnée en collaboration avec des experts locaux qui ont donné leur avis tout au long du processus (Langsdale *et al.,* 2006a, b; Langsdale, 2007). Le modèle se fonde sur STELLATM, un modèle qui tient compte des changements dans les ressources naturelles et celles gérées par l'homme et des débits d'eau du système de la région d'Okanagan. OSWRM n'est pas conçu pour être un outil opérationnel, et cette version (v. 1.62) ne comprend pas les changements d'aménagement des sols et les coûts d'adaptation. Certains aspects du système hydrique (comme l'eau souterraine) sont simplifiés en raison du manque de données.

Étude de cas

Conçu dans le cadre d'une évaluation intégrée participative sur la région de l'Okanagan (Cohen *et al.,* 2004, 2006; Cohen et Neale, 2006), OSWRM combine les impacts basés sur des scénarios et des données sur l'adaptation tirées des connaissances des experts locaux de l'état actuel du système hydrique de l'Okanagan (Langsdale, 2007). La version actuelle du modèle comprend trois scénarios climatiques, trois scénarios relatifs à la population, et une grande variété d'options pour la gestion de la demande en eau dans les secteurs résidentiel et agricole, de l'écoulement fluvial (conservation) pour les poissons, de la capacité de retenue d'eau et de son relâchement, du mélange de types de cultures, de la densité résidentielle et de l'accès au lac Okanagan. Certaines options sont disponibles en répondant « oui » ou « non » (p. ex., accès au lac Okanagan), tandis que d'autres sont sélectionnées par réglages quantitatifs compris dans des limites préétablies. OSWRM v. 1.62 montre que, dans les scénarios concurrents relatifs au réchauffement climatique et à la croissance de la population, une grande variété de mesures d'adaptation seront nécessaires pour neutraliser le risque accru de pénuries d'eau prévu, qui se produirait dès 2020, durant les années relativement sèches (Langsdale *et al.,* 2006b; Langsdale, 2007). Cette variété de mesures d'adaptation devra inclure une augmentation de l'approvisionnement géré actuel. La gestion de la demande, seule, ne suffirait pas.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://www.ires.ubc.ca/aird
(Se rendre à la section « Projets complétés ».)

http://www.adaptation.nrcan.gc.ca

PAGE 2002 (*Policy Analysis for the Greenhouse Effect* / Analyse de la politique sur l'effet de serre)

Dans une enquête sur les modèles intégrés d'évaluation menée en 1998 par Tol et Frankhauser, le modèle PAGE s'est révélé le seul dans lequel l'adaptation était expressément considérée comme une variable stratégique dans tous les secteurs (de Bruin, 2007) d'abord publiés par Hope *et al.,* en 1993. Ce modèle est un MIE, créé en 1991, puis mis à jour (PAGE 95, et maintenant PAGE 2002) (Wahba et Hope, 2006). PAGE 2002 modèle les stratégies d'adaptation de façon à montrer les avantages de l'adaptation aux changements climatiques. PAGE 2002 porte sur huit régions du monde, toutes les émissions de GES majeures, les coûts de l'atténuation et de l'adaptation, les impacts (économiques et autres) et un intervalle allant jusqu'à 2200. PAGE 95 contient des équations qui modèlent : les émissions des principaux gaz à effet de serre, l'effet de serre, le refroidissement par des aérosols sulfatés, les effets régionaux de la température, la non-linéarité des dommages causés par le réchauffement mondial, la croissance économique régionale et l'adaptation aux changements climatiques (Hope *et al.,* 1993; Wahba et Hope, 2006).

Étude de cas terminée

Dans les travaux de Hope *et al.* (1993), le modèle PAGE a servi à mesurer la valeur des stratégies relatives aux changements climatiques. Les données de sortie ont montré que l'atténuation seule n'était pas une mesure autonome suffisante. Une adaptation énergique est nécessaire. l'étude a porté sur deux stratégies différentes d'adaptation aux changements climatiques; les cas extrêmes se trouvaient dans le premier scénario, la stratégie ne comportant aucune adaptation, et la deuxième mettait en œuvre des mesures d'adaptation énergiques. l'introduction d'une équation pour le coût de l'adaptation, donc l'investissement dans des mesures d'adaptation (p. ex. l'érection d'ouvrages longitudinaux de défense des côtes; création de cultures résultant à la sécheresse) est susceptible de réduire la vulnérabilité aux changements climatiques avant l'apparition de pertes économiques, et d'amoindrir l'ampleur des impacts économiques et autres (Hope, 2006). Les données de sortie du modèle montrent qu'avec un taux d'escompte de 5 %, les coûts de l'adaptation (0,3 billions ECU) se justifient sans peine puisque, selon les calculs, le total des dommages causés par les changements climatiques s'élèverait à 17,5 billions ECU (avantages de la réduction des impacts économiques, moins d'adaptation). l'adaptation aux changements climatiques est extrêmement efficace pour réduire les impacts partout dans le monde (Hope *et al.,* 1993).

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://www.jbs.cam.ac.uk/people/faculty/hopec.html

http://www.hmtreasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm

RegIS 2

RegIS 2 utilise des modèles intégrés d'évaluation pour évaluer les impacts locaux et régionaux à l'échelle infranationale et les options d'adaptation pour la biodiversité agricole, les côtes, les plaines inondables, les ressources hydriques, tout en modélisant aussi des options « sans adaptation » aux fins de comparaison. Le modèle permet aux intervenants d'évaluer les impacts des prochains changements climatiques sur les inondations fluviales et côtières, l'hydrologie, la biodiversité et l'agriculture. l'interface du système d'information géographique donne accès aux métamodèles qui produisent des simulations couplées d'impacts possibles selon différents scénarios climatiques pour les années 2020 et 2050. l'interface permet également aux utilisateurs d'analyser une variété de réponses adaptatives possibles et l'influence de politiques et de scénarios socioéconomiques futurs sur ces réponses. RegIS 2 utilise le modèle IMPEL pour l'agriculture et l'aménagement des sols, le modèle CRASH pour l'eau et le modèle SPECIES pour la biodiversité.

La deuxième étape de l'étude RegIS 2 développera davantage les scénarios socioéconomiques régionaux de RegIS dans le contexte des scénarios socioéconomiques du Programme sur les impacts climatiques du Royaume-Uni (UKCIP) pour l'évaluation de l'impact des changements climatiques. Les modèles de cette étude seront reliés, les données (de sortie) d'un modèle alimentant un autre modèle, et ainsi de suite.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/iwe/projects/regis/regis2.htm

http://wcrp.ipsl.jussieu.fr/Workshops/SeaLevel/Posters/8_6_Nicholls.pdf

Ricardian (Econometric) / Ricardien (économétrique)

Les modèles ricardiens (économétriques) incorporent des scénarios de changements climatiques afin de prévoir les coûts économiques de l'adaptation. Ils estiment les relations structurelles entre les valeurs historiques relatives au climat et aux terres agricoles à partir de l'hypothèse que de telles relations reflètent un niveau stationnaire d'adaptation des systèmes agricoles régionaux aux caractéristiques du climat local. Ces relations sont transversales (c.-à-d. que les unités d'observation sont des zones géographiques), et la variation géographique des valeurs relatives aux terres est présumée partiellement régulée par les différences de qualité des données d'entrée sur le climat. Les estimations des paramètres incluent l'efficacité relative de l'adaptation actuelle à une variété de conditions climatiques (froid et chaleur).

Les modèles ricardiens sont en mesure de saisir la gamme complète des adaptations économiques que les fermiers et les établissements auxiliaires sont susceptibles d'utiliser en réponse aux changements climatiques. Ils conviennent tout particulièrement aux analyses qui présupposent une absence de changement dans les prix réels des cultures en réponse aux changements climatiques. Ces outils n'estiment pas le coût de l'adaptation.

Les modèles ricardiens ont servi à estimer les coûts et avantages économiques des changements climatiques sur l'agriculture et la foresterie aux États-Unis, au Brésil et en Inde.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://ceepa.co.za/docs/CDPNo21.pdf

http://unfccc.int/files/adaptation/methodologies_for/vulnerability_and_adaptation/application/pdf/economic_models_-_econometric__ricardian-based__models.pdf

SimCLIM

SimCLIM peut servir à faciliter la prise de décision grâce à sa capacité d'évaluer les climats élémentaires ainsi que la variabilité et les extrêmes actuels. Il est possible d'évaluer les risques actuels et les risques à venir. Des mesures d'adaptation peuvent être testées pour les conditions actuelles et en fonction de scénarios futuristes des changements et de la variabilité climatiques et de l'élévation du niveau de la mer. Avec le programme, les utilisateurs peuvent réaliser une analyse de sensibilité et examiner les impacts des changements climatiques. SimCLIM permet de mener des analyses d'impact intégrées à différentes échelles.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://climsystems.com/site/products/?id=9

SWAP-WSBM (*Soil Water Atmosphere and Plant Model – Water and Salinity Basin Model* / Modèle sol-eau-atmosphère-plantes associé au Modèle eau et salinité d'un bassin fluvial)

SWAP-WSBM est un cadre couplé de modélisation à petite échelle qui facilite l'évaluation des impacts et des stratégies d'adaptation. Il sert à analyser et à comprendre les problèmes actuels liés aux ressources hydriques, à analyser l'impact des changements climatiques et, plus important encore, à évaluer des stratégies d'adaptation.

Étude de cas terminée

Trois périodes ont été retenues, dans lesquelles celle de 1961 à 1990 a servi à ajuster les projections des changements climatiques à des conditions locales et à fournir une référence en vue de comparer les changements attendus dans un proche avenir (de 2010 à 2039) et dans un avenir plus lointain (de 2070 à 2099) (Droogers, 2004). Le modèle SWAP a aussi été appliqué à une étude d'adaptation dans sept différents bassins d'Afrique, d'Asie, d'Amérique et d'Europe afin de découvrir de quelle manière l'agriculture peut répondre aux changements climatiques projetés (Droogers et Aerts, 2005).

Le modèle SWAP a beaucoup servi dans le cadre d'études portant sur les changements climatiques. Une étude menée au Sri Lanka s'est concentrée sur les stratégies d'adaptation aux changements climatiques pour la culture du riz; le modèle SWAP a été inséré dans un modèle à l'échelle du bassin pour s'assurer que les processus en aval et en amont des ressources hydriques étaient pris en considération (Droogers, 2004).

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://sedac.ciesin.columbia.edu/aiacc/progress/AF47_Jan04.pdf

TARGETS (*Tool to Assess Regional and Global Environmental and Health Targets for Sustainability* / Outil d'évaluation des cibles régionales et mondiales environnementales et de santé pour la durabilité)

Le modèle TARGETS sert à étudier les changements climatiques, les changements mondiaux et le développement durable. TARGETS comprend cinq modules « horizontaux » interreliés qui représentent la population et la santé, l'énergie et l'économie, la biophysique, les terres et les sols, et le sous-modèle lié à l'eau. Le modèle peut s'appliquer à l'échelle mondiale ou à six sections régionales (Rotmans *et al.,* 1994).

Les applications de TARGETS comprennent des recherches terminées sur des populations, individuelles et communautaires, en Éthiopie du Nord en vue de savoir de quelle manière les gens (en grande partie des fermiers) percevaient les changements climatiques (sécheresse) et la dégradation de l'environnement, et de quelle manière ils ajustaient leurs stratégies de vie, plus particulièrement leur comportement démographique (formation d'une famille, migration).

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://sedac.ciesin.org/mva/iamcc.tg/TGsec4-2-7.html

TEAM (*Tool for Environmental Assessment and Management* / Outil pour l'évaluation et la gestion environnementales)

TEAM utilise une approche à multiples critères pour l'évaluation des mesures visant à contrer les impacts des changements climatiques sur les ressources en eau, les zones côtières et l'agriculture. TEAM présente l'avantage de fournir un format interactif pour faciliter la structuration et la définition des décisions en délibération. TEAM est un produit créé par Decision Focus, Inc. (DFI) pour le compte de l'U.S. Environmental Protection Agency qui avait besoin d'un progiciel convivial pour aider les décisionnaires à évaluer les stratégies d'adaptation aux changements climatiques. Le logiciel TEAM comprend des composants sur les ressources côtières, les ressources en eau et l'agriculture, ainsi qu'un composant d'évaluation générale. Le logiciel demande à l'utilisateur d'entrer des données selon une séquence de questions-réponses guidée, puis se sert d'une présentation graphique à menus des résultats pour l'évaluation des options d'adaptation. l'utilisateur sélectionne des « stratégies », des options d'adaptation et des critères précis, puis leur attribue une cote relative (excellente, bonne, moyenne ou faible) correspondant à la façon dont chaque stratégie répond à chaque critère. Outre les classements qualitatifs, l'utilisateur a la possibilité d'entrer des données absolues pour chaque stratégie (p. ex. sommes en dollars) (Julius et Scheraga, 2000).

Étude de cas terminée

Les modèles DSSAT3 et COTTAM, en association avec TEAM (Tool for Environmental Assessment and Management decision model), ont servi à évaluer l'adaptation de la production de blé, de maïs et de coton (Eid *et al.,* 1996, 1997) aux changements climatiques en Égypte (Susan, 1996). Les prochaines stratégies d'adaptation aux changements climatiques comprendront peut-être la création de nouveaux cultivars plus thermotolérants et de nouvelles cultures (culture accrue du coton pour remplacer une partie du maïs et plus de légumineuses hivernales au lieu du blé). Le changement des pratiques de la culture du coton (date de semis optimale, cultivars, quantité d'eau et densité des plantes) permettra peut-être aux fermiers de tirer profit des changements climatiques grâce à une augmentation d'environ 29 % de la productivité du coton.

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://cfpub.epa.gov/gcrp (then > data, documents and tools > publications and presentations)

http://www.ecobilan.com/uk_team.php

http://www.ceepa.co.za/docs/CDPNo29.pdf

UWF (*Urban Water Futures* / Futurs des eaux urbaines)
Analyse à multiples variables de la croissance de la population et des impacts des changements climatiques sur la demande en eau dans les milieux urbains du bassin de l'Okanagan, en Colombie-Britannique

Le modèle UWF a été conçu pour étudier la question des quantités suffisantes d'eau du secteur résidentiel pour les années à venir en comparant des scénarios de la demande future à partir de sources d'approvisionnement titulaires d'un permis provincial. Le modèle intègre des scénarios relatifs aux impacts des changements climatiques, à la croissance de la population, à la densité résidentielle et aux options de gestion axée sur la demande. Ces scénarios à composants sont fondés sur des valeurs publiées, dont des scénarios de modèles climatiques mondiaux avec réduction d'échelle, des données de recensement, des tendances démographiques et des analyses de l'efficacité des différentes mesures de conservation de l'eau. Les données d'entrée du modèle comptent, entre autres, des données historiques sur l'utilisation de l'eau dans le secteur résidentiel à l'intérieur et à l'extérieur, et des données climatiques pour les périodes correspondantes. Les options d'adaptation qui présentent un intérêt pour les décisionnaires sont représentées sous forme de scénarios de densité résidentielle et de gestion axée sur la demande. l'efficacité de l'association de différentes techniques de gestion axées sur la demande (mesurer la consommation d'eau par l'établissement de prix, dispositifs économiseurs d'eau, aménagement paysager en milieu désertique, éducation publique) et de l'augmentation des densités résidentielles peuvent être étudiées en tant qu'options de l'adaptation aux facteurs combinés de la croissance de la population et des changements climatiques.

Étude de cas terminée

Des études de cas ont été réalisées dans trois services d'eau du bassin de l'Okanagan, en Colombie-Britannique, au Canada : les services des villes d'Oliver, de Penticton et de Kelowna. Chaque étude de cas comprend :

- trois scénarios de croissance de la population (faible, moyenne et élevée);
- deux scénarios de densité résidentielle (« croissance intelligente » et préférences actuelles);
- six scénarios de changements climatiques (trois modèles : CGCM 2, HADCM 3 et CSIRO; deux scénarios SRES : A2 et B2);
- jusqu'à sept scénarios de gestion axée sur la demande (éducation publique, mesure de la consommation d'eau avec droit utilitaire constant, mesure de la consommation d'eau avec taux de blocs croissants, accessoires de plomberie et appareils électroménagers de haute efficacité, aménagement paysager en milieu désertique et une combinaison d'options).

Le modèle a produit une gamme de 252 scénarios relatifs à la demande annuelle en eau dans le futur comparés à la demande initiale pour l'an 2001 et aux données des sources d'approvisionnement titulaires d'un permis provincial. Dans les scénarios « les plus favorables » comportant une faible croissance de la population, où sont combinés la gestion axée sur la demande, une croissance résidentielle intelligente et le scénario de changements climatiques le moins extrême, la future demande en eau n'a que légèrement augmenté par rapport à l'utilisation actuelle ou est même descendue sous le niveau actuel d'utilisation dans la période du scénario (de 2010 à 2069). Dans les scénarios « les plus défavorables » comportant une forte croissance de la population, aucune gestion axée sur la demande, où sont maintenues les préférences résidentielles actuelles et le scénario de changements climatiques le plus extrême, la future demande en eau a quintuplé par rapport à l'utilisation de l'eau en 2001 et dépassait la disponibilité des fournisseurs licenciés avant la fin de la période du scénario.

Ce modèle a servi pour les données d'entrée du modèle OSWRM (Langsdale *et al.,* 2007).

■ Pour plus de renseignements

Veuillez consulter les sites :

http://www.ires.ubc.ca/aird/documents/OKPIA_2004-06_FinalReport_HiRes.pdf

Références et autres publications

Adejuwon, J. 2006. « Assessing the suitability of the EPIC crop model for use in the study of impacts of climate variability and climate change in West Africa ». *Journal of Tropical Geography*, *26* (1) : 44-60.

Alberth, S., et C. Hope. 2006. « Climate modeling with endogenous technical change: Stochastic learning and optimal greenhouse gas abatement in the PAGE 2002 model ». *Energy Policy*, *35* : 1795-1807.

Alcamo, J., R. Leemans, R. et E. Kreileman. 1998. *Global Change Scenarios of the 21st Century: Results from the IMAGE 2.1 Model*. Pergamon and Elseviers Science, Londres.

Barrow, E.M. 2007. Assessing the Performance of the Automated Statistical Downscaling (ASD) Model in the Prairie Provinces. Environnement Canada, Division de la recherché sur l'adaptation et les repercussions. Rapport interne, 65 pages.

Berkhout, F. 2005. « Rationales for adaptation in EU climate change policies ». Climate Policy, Special Issue: *Climate Policy Options Post-2012 — European Strategy, Technology and Adaptation after Kyoto*. Tiré de http://www.hmtreasury.gov.uk/media/ 8AA/9C/ stern_review_ supporting_technical_material_frans_berkhout_231006.pdf le 10 mai 2007.

Bharwani, S., Bithell, M., Downing, T.E., New, M., Washington, R., Ziervogel, G., 2005. Multi-agent modelling of climate outlooks and food security on a community garden scheme in Limpopo, South Africa. Philosophical Transaction Royal Society B. 360: 2183–2194.

Bouwer, L., et J. Aerts. 2006. « Financing climate change adaptation ». *Disasters*, *30* : 49-63.

Callaway, J., et M. Hellmuth. 2006. « Climate risk management for development: Economic considerations », présenté au Stern Review Workshop on Economics of Adaptation, 15 mai 2006. Sur le site http://www.sternreview.org.uk.

Carter, T., M. Parry, H. Harasawa et S. Nishioka. 1994. *IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations*. Londres.

Cohen, S., et T. Neale (dir.). 2006. *Participatory Integrated Assessment of Water Management and Climate Change in the Okanagan Basin, British Columbia*. Vancouver, Environnement Canada et Université de Colombie-Britannique. En ligne à http://www.ires.ubc.ca/aird/documents/ OKPIA_200406_FinalReport_HiRes.pdf.

Cohen, S.J., D. Neilsen, S. Smith, T. Neale, B. Taylor, M. Barton, W. Merritt, Y. Alila, P. Shepherd, R. McNeill, J. Tansey, J. Carmichael et S. Langsdale. 2006. « Learning with local help: Expanding the dialogue on climate change and water management in the Okanagan region, British Columbia, Canada ». *Climatic Change*, *75* : 331-358.

Cohen, S., D. Neilsen et R. Welbourn (dir.). 2004. *Expanding the Dialogue on Climate Change & Water Management in the Okanagan Basin, British Columbia. Final Report, January 1, 2002-June 30, 2004.* Vancouver, Environnement Canada, Agriculture et Agroalimentaire Canada et Université de Colombie-Britannique. 230 pages.

de Bruin, K., R. Dellink et R. Tol. 2007. *AD-DICE: An Implementation of adaptation in the DICE Model*. Hambourg, Université de Hambourg et Centre for Marine and Atmospheric Science,. FNU-126.

Dowlatabadi, H. 1995. « Integrated assessment models of climate change: An incomplete overview ». *Energy Policy*, *23* : 289-296.

Draper, A.J., M.W. Jenkins, K.W. Kirby, J.R. Lund et R.E. Howitt. 2003. « Economic-Engineering Optimization for California Water Management ». *Journal of Water Resources Planning and Management*, *129* (3).

Droogers, P. 2004. « Adaptation to climate change to enhance food security and preserve environmental quality: Example for Southern Sri Lanka ». *Agricultural Water Management, 66* (1) : 15-33.

Droogers, P. et J. Aerts. 2005. « Adaptation strategies to climate change and climate variability: A comparative study between seven contrasting river basins ». *Physics and Chemistry of the Earth*, *30* : 339-346.

Easterling, W., M. McKenney, N. Rosenberg et K. Lemon. 1992. « Simulations of crop response to climate change: Effects with present technology and no adjustments (the 'dumb farmer' scenario) ». *Agricultural and Forestry Meteorology*, *59* (1-2) : 53-73.

Ebi, K., et J. Gamble. 2005. « Summary of a workshop on the development of health models and scenarios: strategies for the future ». *Environmental Health Perspectives*, *113* : 335-338.

Eid, H.M., S.M. El-Marsafawy, N.G. Ainer, M.A. Ali et M.M. Shahin. 1997. *Assessment of Strategy and Policy Measures for Adaptation to Climate Change in Egyptian Agriculture*. Support for National Action Plan of Egypt (SNAP).

Eid, H.M., S.M. El-Marsafawy, N.G. Ainer, M.A. Ali, M.M. Shahin, N.M. El-Mowelhi et O. El-Kholi. 1996. « Vulnerability and adaptation to climate change in Egyptian agriculture ». *Country Study Report* (pp. 1-53). Washington DC, Country Studies Program (CSP).

EPA – Environmental Protection Agency. 2007. En ligne à http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/table.html le 10 mai 2007.

Gachon, P., A. St-Hilaire, T. Ouarda, V.T.V. Nguyen, C. Lin, J. Milton, D. Chaumont, J. Goldstein, M. Hessami, T.D. Nguyen, F. Selva, M. Nadeau, P. Roy, D. Parishkura, N. Major, M. Choux et A. Bourque. 2005. *A First Evaluation of the Strength and Weaknesses of Statistical Downscaling Methods for Simulating Extremes over Various Regions of Eastern Canada.* Montréal (Québec), Canada, Sous-composante du Fonds d'action pour le changement climatique (FACC), Environnement Canada. Rapport final, 209 pages.

Gibbons, J.M., G.M. Cox, A.T.A. Wood, J. Craigon, S.J. Ramsden et N.M.J. Crout. 2006. « Towards the systematic simplification of mechanistic models ». *Ecological Modelling*, *198* : 240-246.

GIEC – Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. 2007. *IPCC Fourth Assessment Report — Climate Change 2007*. Consulté le 1er mars 2007 sur http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf.

GIEC – Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. 2001. *Troisième rapport d'évaluation du GIEC – Bilan 2001 des changements climatiques*. Sur http://www.ipcc.ch/languages/french.htm#2.

Grossmann, W., 2001: Entwicklungsstrategien in der Informationsgesellschaft - Mensch, Wirtschaft und Umwelt. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 350 pp.

Grothmann, T., et A. Patt. 2005. « Adaptive capacity and human cognition: The process of individual adaptation to climate change ». *Global Environmental Change*, *15* : 199-213.

Hessami, M., P. Gachon, T.B.M.J. Ouarda et A. St-Hilaire 2007. « Automated statistical downscaling using a regression-based approach ». *Environmental Modelling and Software* (évaluation finale).

Hoozemans, F.M.J., M. Marchand et H.A. Pennekamp. 1993. *Sea Level Rise: A Global Vulnerability Assessment — Vulnerability Assessments for Population, Coastal Wetlands and Rice Production on a Global Scale*. Deuxième édition révisée. Delft et The Hague, Pays-Bas, Delft Hydraulics et Rijkswaterstaat, xxiii + 184 pages.

Hope, C. 2006. « The marginal impact of CO_2 from PAGE 2002: An integrated assessment model incorporating the IPCC's five reasons for concern ». *Integrated Assessment*, *6* (1).

Hope, C., J. Anderson et P. Wenman. 1993. « Policy analysis of the greenhouse effect: An application of the PAGE model ». *Energy Policy*, *21* (3) : 327-338.

Hulme, M., I. Lorenzoni, A. Jordan, A., R.K. Turner et T. O'Riordan, T. 2000. « A co-evolutionary approach to climate change impact assessment part I. Integrating socio-economic and climate change scenarios ». *Global Environmental Change*, *10* : 57-68.

Jenkins, M., J. Lund, R. Howitt, A. Draper, S. Tanaka et G. Marques. 2004. « Optimization of California's Water System: Results and Insights ». *Journal of Water Resources Planning and Management*, *130* (4).

Julius S., et J. Scheraga. 2000. « The team model for evaluating alternative adaptation strategies ». *Mathematical Systems.* Berlin, Springer.

Langsdale, S.M. 2007. Participatory model building for exploring water management and climate change futures in the Okanagan Basin, British Columbia, Canada. Vancouver, Université de Colombie-Britannique. Thèse de doctorat, 196 pages.

Langsdale, S., A. Beall, J. Carmichael, C. Forster, S. Cohen et T. Neale. 2006a. « Shared learning through group model building ». Dans S. Cohen et T. Neale (dir.), Participatory Integrated Assessment of Water Management and Climate Change in the Okanagan Basin, British Columbia. Vancouver, Environnement Canada et Université de Colombie-Britannique, pp. 49-64.

Langsdale, S., A. Beall, J. Carmichael, S. Cohen et C. Forster. 2006b. « A system dynamics model for exploring water resources futures ». Dans S. Cohen et T. Neale (dir.), *Participatory Integrated Assessment of Water Management and Climate Change in the Okanagan Basin, British Columbia*. Vancouver, Environnement Canada et Université de Colombie-Britannique, 65-80.

Lund, J., T. Zhu, S. Tanaka et M. Jenkins. 2007. « Water Resources Impacts ». Dans J.B. Smith et R. Mendelsohn (dir.), *The Impact of Climate Change on Regional Systems: A Comprehensive Analysis of California.* Royaume-Uni, Edward Elgar Publishing Ltd.

Mendelsohn, R. 2000. « Efficient adaptation to climate change ». *Climatic Change*, *45* : 583600.

Mendelsohn, R., et A. Dinar. 1999. « Climate change, agriculture, and developing countries: Does adaptation matter? » *The World Bank Research Observer*, *14* : 277-293.

Neale, T., J. Carmichael et S. Cohen. 2006. Urban Water Futures: Exploring Development, Management and Climate Change Impacts on Urban Water Demand. Environnement Canada.

Nordhaus, W., et R. Mendelsohn. 1996. « The impact of global warming on agriculture: Reply ». *American Economic Review*, *86* (5) : 1312-1315.

Parishkura, D. 2007. « Évaluation de méthodes de mise à l'échelle statistique : Reconstruction des extrêmes et de la variabilité du régime de mousson au Sahel ». Montréal (Québec), Canada, Université du Québec à Montréal, Département de la terre et de l'atmosphère. Mémoire de maîtrise en sciences (évaluation finale).

Pearce, D., W. Cline, A. Achanta, S Fankhauser, R. Pachauri, R. Tol, and P. Vellinga, 1996. The Social Cost of Climate Change: Greenhouse Damage and the Benefits of Control. In Bruce, J, H Lee, and E Haites (eds) Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 179-224.

Rosenberg, N. 1986. « Adaptations to adversity: Agriculture, climate, and the Great Plains of North America ». *Great Plains Quarterly*, *6* : 202-217.

Rosenzweig, C., et M. Parry. 1994. « Potential impact of climate change on world food supply ». *Nature*, *367* :133-138.

Rotmans, J., M.B.A. van Asselt, A.J. de Bruin, M.G.J. den Elzen, J. de Greef, H. Hilderink, A.Y. Hoekstra, M.A. Janssen, H.W. Koster, W.J.M. Martens, L.W. Niessen et H.J.M. de Vries 1994. *Global Change and Sustainable Development: A Modeling Perspective for the Next Decade*. Bilthoven, Pays-Bas, National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM). Rapport RIVM 461502000.

Santer, B., T. Wigley, M. Schlesinger et J. Mitchell. 1990. *Developing Climate Scenarios from Equilibrium GCM Results*. Hambourg, Allemagne, Max-Planck-Institut für Meteorologie. Rapport n° 47.

Stern, N., 2006. *Stern Review Report on the Economics of Climate Change*. HM Treasury. Consulté à http://www.hmtreasury.gov.uk/independent_reviews/ stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm le 1er mars 2007.

Susan, H.J. 1996. A Multi-criteria Decision Support Tool for Water Resources Managers. Tool for Environmental Assessment and Management (TEAM). U.S. Environmental Protection Agency, Climate and Policy Assessment Division. Rapport préliminaire.

Tanaka, S., T. Zhu, J. Lund, R. Howitt, M. Jenkins, M. Pulido, M. Tauber, R. Ritzema et I. Ferreira. 2006. « Climate warming and water management adaptation for California ». *Climatic Change*, *76* : 3-4.

Tol, R. 2007. « The double trade-off between adaptation and mitigation for sea level rise: An application of FUND ». *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *12* : 741-753.

Tol, R., et S. Fankhauser. 1998. « On the representation of impact in integrated assessment models of climate change ». *Environmental Modeling and Assessment*, *3* : 63-74.

Toth, F. 2003. « Climate policy in light of climate science: The ICLIPS project ». *Climatic Change*, *56* (1-2) : 7-36.

Wahba, M., et C. Hope. 2006. « The marginal impact of carbon dioxide under two scenarios of future emissions ». *Energy Policy*, *34* (17) : 3305-3316.

Weyant, J., O. Davidson, H. Dowlatabadi, J. Edmonds, M. Grubb, E. Parson, R. Richels, J. Rotmans, P. Shukla, R. Tol, W. Cline et S. Fankhauser. 1996. « Integrated assessment of climate change: An overview and comparison of approaches and results ». Dans J. Bruce, H. Lee et E. Haites (dir.). *Climate change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press.

Wilby, R.L., S.P. Charles, E. Zorita, B. Timbal, P. Whetton et L.O. Mearns. 2004. Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Downscaling Methods. 27 pages. Pour obtenir cette publication, s'adresser au Centre de distribution de données du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).

Wilby, R.L., C.W. Dawson et E.M. Barrow. 2002. « SDSM — A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts », *Environmental Modelling & Software*, *17* : 147-159.