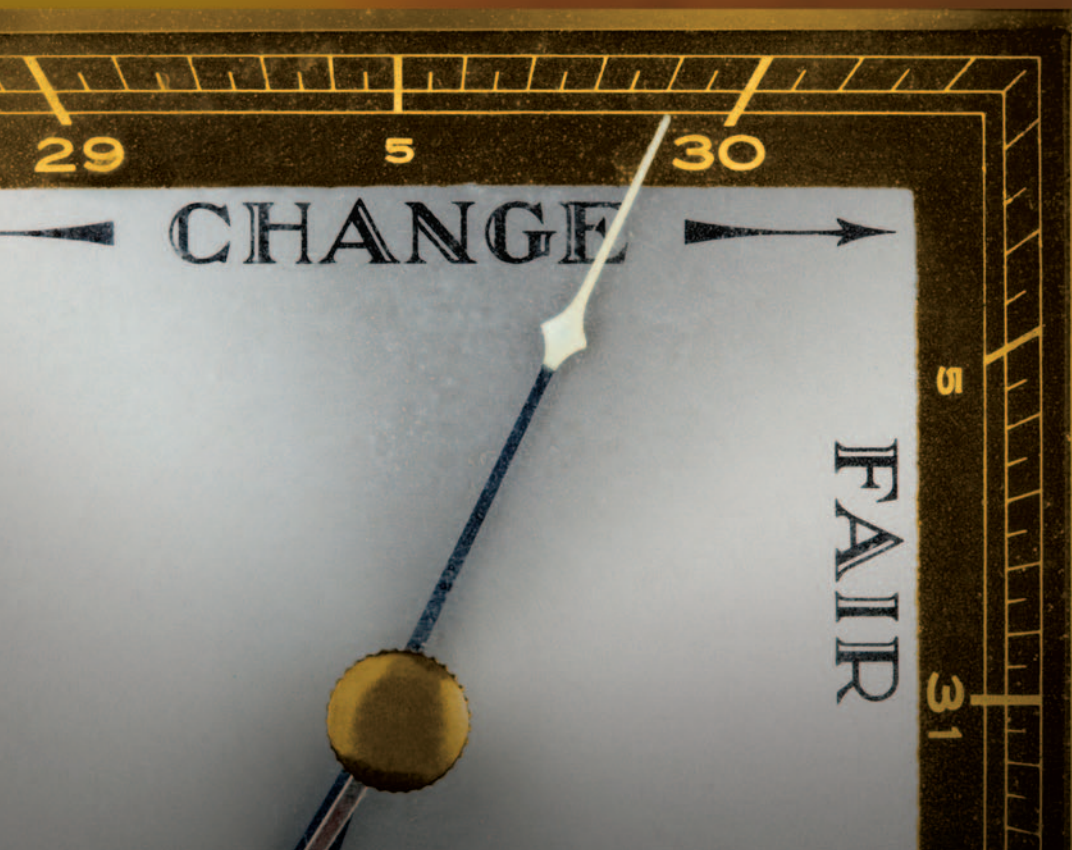



Formuler des scénarios climatiques pour éclairer les stratégies de développement résilient au climat

Guide à l'intention des praticiens





Le PNUD est le réseau mondial de développement dont dispose le système des Nations Unies. Il prône le changement et relie les pays aux connaissances, expériences et ressources dont leurs populations ont besoin pour améliorer leur vie. Nous sommes présents sur le terrain dans 166 pays, les aidant à identifier leurs propres solutions aux défis nationaux et mondiaux auxquels ils sont confrontés en matière de développement. Pour renforcer leurs capacités, ces pays peuvent s'appuyer à tout moment sur le personnel du PNUD et son large éventail de partenaires.

Avril 2011

© Programme des Nations Unies pour le développement

Tous droits réservés. La reproduction de la présente publication, en tout ou en partie, son stockage sur un système quelconque ou sa transmission sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soient, électronique, mécanique, photocopie enregistrement ou de quelque autre type, sont interdits sans l'autorisation préalable du Programme des Nations Unies pour le développement.

Les opinions et les recommandations exprimées dans le présent rapport sont celles de ses auteurs et ne représentent pas nécessairement celles du PNUD, de l'Organisation des Nations Unies (ONU) ou de ses États Membres. Les appellations employées dans la présente publication n'impliquent, de la part du PNUD ni de l'ONU, aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Les auteurs assument seuls la responsabilité des erreurs ou omissions éventuelles.

Conception: Anvil Creative Group (NY, www.anvilcreativegroup.com)

Table des matières

AVANT-PROPOS	v
APERÇU GÉNÉRAL	1
Objectif du guide	3
Public cible	4
Cadre de travail du PNUD pour l'élaboration de scénarios climatiques	4
Structure du rapport	6
CHAPITRE 1 : ÉTAPES PRÉLIMINAIRES POUR L'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES	7
Évaluer et définir les besoins en matière d'élaboration de scénarios climatiques (1^e étape)	
Réunir une équipe intersectorielle pour l'élaboration de scénarios climatiques (étape 1.1)	9
Définir les besoins en matière d'élaboration de scénarios climatiques (étape 1.2)	10
Évaluer les connexions et analyser les besoins en matière d'élaboration de scénarios climatiques (étape 1.3)	13
Formuler un plan et répertorier les ressources existantes (étape 1.4)	14
CHAPITRE 2 : RÔLE DES CONTRAINTES RÉGIONALES DANS L'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES	17
Circonscrire les contraintes régionales et formuler un plan réaliste pour l'élaboration de scénarios climatiques (Étape 2)	
Évaluer les contraintes régionales (étape 2.1)	20
Recenser les contraintes scientifiques (étape 2.2)	21
Recenser les contraintes non scientifiques (étape 2.3)	23
Évaluer l'ensemble des contraintes scientifiques ou autres (étape 2.4)	23
CHAPITRE 3 : INCERTITUDES ET ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES	25
Comprendre les incertitudes pour créer un éventail prospectif de scénarios climatiques (étape 3)	
Examiner les principales sources d'incertitude dans la modélisation des prévisions (étape 3.1)	27
Sélectionner les scénarios d'émission pour créer un éventail prospectif de scénarios climatiques (étape 3.2)	29
Envisager d'autres incertitudes quand on crée un éventail prospectif de scénarios climatiques (étape 3.3)	30
Prendre des décisions informées en dépit des incertitudes des scénarios climatiques (étape 3.4)	32

CHAPITRE 4 : MÉTHODES D'ÉLABORATION DES SCÉNARIOS CLIMATIQUES	33
Élaborer et documenter les scénarios climatiques (Étape 4)	
Passer en revue les procédures générales d'élaboration des scénarios climatiques (étape 4.1)	35
Choisir un modèle de changement climatique (étape 4..2)	35
Documenter le processus d'élaboration des scénarios climatiques (étape 4.3)	46
CHAPITRE 5 : CONCLUSION	47
ANNEXE — TECHNIQUES DE RÉDUCTION D'ÉCHELLE : ÉTUDES DE CAS	51
Étude de cas n° 1 — Réduction d'échelle de futurs scénarios climatiques basés sur les MCG : seconde communication nationale de l'Argentine à la CCNUCC	53
Étude de cas n° 2 — Réduction d'échelle en Uruguay : coupler une modélisation climatique régionale et une technique de réduction d'échelle statistique pour appuyer la SDRCSE	56
Étude de cas n° 3 — Réduction d'échelle des scénarios de précipitations en Afrique australe : évaluer les scénarios de précipitations en élaborant des scénarios climatiques régionaux	59
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	61
DIAGRAMMES	
Diagramme 1 : Cadre du PNUD pour l'élaboration de scénarios climatiques destinés à appuyer les stratégies de développement résilient au climat et sobre en émissions	5
Diagramme 2 : Questions clés à poser pour définir l'objectif et les besoins en matière d'élaboration de scénarios climatiques	10
Diagramme 3 : Exemples d'applications cibles pour les scénarios climatiques	14
Diagramme 4 : Questions clés à poser pour décider d'un plan d'action réaliste pour l'élaboration de scénarios climatiques	20
Diagramme 5 : Influence de la géographie physique (géomorphologie, hydrologie, écologie et climatologie) sur les résolutions spatio-temporelles des scénarios climatiques	22
Diagramme 6 : Influences réciproques des contraintes non scientifiques (relatives aux données, financières, scientifiques ou de main-d'œuvre), de la complexité des analyses et de la résolution spatio-temporelle lors de l'élaboration de scénarios climatiques	24
Diagramme 7 : Principales sources d'incertitudes à prendre en compte lors de l'élaboration de scénarios climatiques	28
Diagramme 8 : Relation entre la complexité de l'analyse et la résolution pour deux cas hypothétiques en termes de contraintes financières, informatiques, de données ou de main-d'œuvre pour l'élaboration de scénarios climatiques	31
Diagramme 9 : Diagramme schématique des trois principales techniques de réduction d'échelle dans le cadre de l'élaboration de scénarios climatiques	38
Diagramme A-1 : Caractérisation de l'élaboration des scénarios climatiques dans la SCN de l'Argentine en termes de complexité de l'analyse, de résolution spatio-temporelle et des contraintes non scientifiques	53
Diagramme A-2 : Caractérisation de l'élaboration des scénarios climatiques pour la SDRCSE de la région de Montevideo en termes de complexité de l'analyse, de résolution spatio-temporelle et des contraintes non scientifiques	56
Diagramme A-3 : Caractérisation de l'élaboration des scénarios climatiques pour l'Afrique australe en termes de complexité de l'analyse, de résolution spatio-temporelle et des contraintes non scientifiques	59

TABLEAUX

Tableau 1 : Documents d'orientation sur l'élaboration de scénarios climatiques	4
Tableau 2 : Membres clés de l'équipe d'élaboration de scénarios climatiques	9
Tableau 3 : Formulaire suggéré pour déterminer les besoins et l'objet des scénarios climatiques	12
Tableau 4 : Directives pour définir les besoins en matière d'élaboration de scénarios climatiques	12
Tableau 5 : Formulaire suggéré pour choisir la meilleure méthode pour l'élaboration des scénarios climatiques	21
Tableau 6 : Méthode analogique temporelle ou spatiale	36
Tableau 7 : Méthode des changements arbitraires	37
Tableau 8 : Avantages et inconvénients des méthodes de réduction d'échelle des facteurs de changement et non intelligente	40
Tableau 9 : Synthèse des techniques de réduction d'échelle dynamiques	43
Tableau 10 : Formulaire suggéré pour déterminer la viabilité des méthodes de réduction d'échelle	43
Tableau 11 : Techniques de réduction d'échelle statistiques	45

ENCADRÉS

Encadré 1 : Principes fondamentaux de la modélisation climatique	15
Encadré 2 : Différence entre les MCG et les scénarios climatiques à haute résolution : l'avantage de la réduction d'échelle	15
Encadré 3 : Données clés pour l'élaboration de scénarios climatiques	19
Encadré 4 : Exemples hypothétiques d'élaboration de scénarios climatiques dans différents cas de contraintes	30
Encadré 5 : Application de la réduction d'échelle statistique en conditions réelles pour illustrer les limites potentielles de cette méthode	45

Acronymes et abréviations

AR4	Quatrième rapport d'évaluation du GIEC
AR5	Cinquième rapport d'évaluation du GIEC
CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
CIMA	<i>Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera</i> [Centre de recherches sur l'océan et l'atmosphère - Argentine]
CN	Communication nationale
CRU	<i>Climate Research Unit</i> [Unité de recherche sur le climat]
DOE	<i>US Department of Energy</i> [ministère de l'Énergie - USA]
GES	gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
MCG	modèle climatique global/modèle de circulation générale
MCR	modèle climatique régional
NCEP	<i>National Centers for Environmental Prediction</i> [Centres nationaux de prévision environnementale - USA]
NCAR	<i>National Center for Atmospheric Research</i> [Centre national pour la recherche atmosphérique - USA]
PNUD	Programme des Nations Unies pour le développement
RCP	profils représentatifs d'évolution des concentrations [<i>Representative Concentration Pathways</i>]
RSSE	Rapport spécial sur les scénarios d'émission
SCN	Seconde communication nationale
SDRCSE	Stratégie de développement résilient au climat et sobre en émissions
WRF	<i>Weather Research and Forecasting Model</i> [modèle de recherche et de prévision climatiques]

Formuler des scénarios climatiques pour éclairer les stratégies de développement résilient au climat

Guide à l'intention des praticiens

Le présent guide fait partie d'une collection de manuels, guides et boîtes à outils tirés des expériences et informations générées grâce à l'appui du PNUD aux projets d'adaptation et d'atténuation des changements climatiques d'une part et aux Communications nationales transmises par 140 pays à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) au cours des dix dernières années d'autre part. Ils ont été conçus pour que les gestionnaires de projet, les bureaux de pays du PNUD et les décideurs gouvernementaux des pays en développement puissent se familiariser avec une gamme variée de méthodologies convenant particulièrement bien à leur contexte, afin de les aider à préparer des stratégies de développement résilient au climat et sobre en émissions (SDRCSE). Les ouvrages de cette collection proposent – sans rien imposer – des instructions détaillées, étape par étape, pour recenser les principales parties prenantes et établir des cadres de planification et de coordination participatives, produire des profils sur les changements climatiques et des scénarios de vulnérabilité, définir et hiérarchiser les options en matière d'atténuation et d'adaptation, évaluer les besoins financiers et établir des feuilles de route résilientes au climat et sobres en émissions pour l'élaboration de projets, d'instruments stratégiques et de flux financiers. La présente publication aborde l'élaboration de scénarios relatifs aux changements climatiques et se veut un outil de réflexion sur les stratégies de développement résilient au climat et sobre en émissions.

Auteurs principaux : Michael J. Puma, Chercheur scientifique associé, Center for Climate Systems Research, Columbia University/NASA Goddard Institute for Space Studies, et Stephen Gold, Conseiller principal technique et en matière de politiques, Groupe Environnement et Énergie, Bureau des politiques de développement, Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), New York.

Réviseurs internes : Yannick Glemarec, Directeur du financement environnemental et Coordonnateur exécutif PNUD/FEM (PNUD/BDP/EEG), Pradeep Kurukulasuriya, Conseiller technique principal (PNUD/BDP/EEG) et Yamil Bonduki, Coordonnateur, Programme d'appui aux communications nationales (PNUD/BDP/EEG).

Éditrice : Caitlin Connelly

Traduction : Françoise Brodsky

La référence bibliographique à indiquer pour la présente publication est la suivante : Puma, MJ et Gold S., 2011. *Formuler des scénarios climatiques pour éclairer des stratégies de développement résilient au climat : Guide à l'intention des praticiens*, Programme des Nations Unies pour le développement, New York, NY, USA.

Avant-propos

Le changement climatique est l'un des défis majeurs de notre époque. C'est aujourd'hui l'une des menaces les plus pressantes pesant sur le développement. Les populations les plus pauvres et les plus vulnérables du monde sont sans doute celles qui en subiront les impacts les plus violents et qui souffriront de façon disproportionnée de ses effets négatifs. Pour mieux répondre aux besoins des communautés à risque, nous devons examiner le changement climatique à travers la loupe du développement (et vice versa).

Il s'avère que la riposte aux impacts potentiels du changement climatique est parfaitement compatible avec la poursuite d'un développement durable et la réalisation des objectifs du Millénaire pour le développement (OMD). Le PNUD a acquis au cours des vingt dernières années une expérience qui prouve qu'une bonne combinaison de stratégies, de compétences et de mesures incitatives peut influencer le comportement et pousser à investir dans des activités climatiques favorables au développement. À cet effet, il améliore les capacités des pays en développement à formuler, financer et mettre en œuvre des plans nationaux ou infranationaux de développement résilient au climat et sobre en émissions ainsi que des initiatives de gestion climatique qui tiennent compte des objectifs de développement et favorisent les synergies entre développement et financement climatique.

L'une des premières tâches qui s'imposent lorsqu'on formule de tels plans, c'est d'élaborer des scénarios climatiques. Tel est l'objet de la présente publication du PNUD, *Formuler des scénarios climatiques pour éclairer les stratégies de développement résilient au climat : Guide à l'intention des praticiens*. Elle guide les gestionnaires de projet et les équipes d'experts qui s'efforcent de juger de la nécessité d'élaborer des scénarios climatiques, de repérer les obstacles existants (contraintes financières, informatiques, scientifiques ou de main-d'œuvre) et d'évaluer et sélectionner les différentes méthodes permettant de générer toute une gamme de scénarios prospectifs en matière de climat.

Le guide s'inspire du large éventail d'initiatives lancées par le PNUD pour appuyer l'adaptation au changement climatique. Il fait partie d'une collection de documents pratiques et de boîtes à outils conçus pour aider à l'élaboration de stratégies de développement résilient au climat et sobre en émissions (SDRCSE), qui vise à habiliter les décideurs à agir et à préparer leurs territoires à s'adapter et, nous l'espérons, à prospérer dans un contexte climatique changeant.



Yannick Glemarec

Directeur du financement environnemental et Coordonnateur exécutif du PNUD/FEM

Programme des Nations Unies pour le développement

Bureau des politiques de développement

Groupe Environnement et Énergie



Aperçu général

- Objectif du guide
- Public cible
- Cadre de travail du PNUD pour l'élaboration de scénarios climatiques
- Structure du rapport

Aperçu général

Le changement climatique est l'un des problèmes majeurs de notre temps. Il menace la planète toute entière. Tous les secteurs en sont affectés et il met en danger les moyens d'existence et les écosystèmes des communautés vulnérables dans le monde entier. À tous les niveaux (international, régional, national et infranational), les décideurs se voient contraints de traiter cette menace en priorité et de trouver des solutions globales créatives. Celles-ci doivent répondre aux problèmes de développement pressants auxquels ces pays sont confrontés, mais aussi constituer une riposte aux risques que pose le changement climatique. On peut, en abordant ces deux questions en même temps, développer des solutions globales efficaces par rapport au coût pour l'atténuation et l'adaptation, qui prendront en compte la rareté croissante des ressources financières ainsi que l'urgence qu'il y a à résoudre ce problème pour la prospérité humaine et économique.

Alors qu'on commence à prendre pleinement la mesure du problème, les besoins en matière de renforcement des capacités et de formation se font de plus en plus pressants. Dans de nombreux cas, les communautés sont entravées non par leur manque de volonté mais par le peu d'expertise technique et de connaissances dont elles disposent, ce qui les empêche de planifier avec efficacité et de mettre en place les initiatives et mesures nécessaires. Le désir d'arriver à des changements positifs est bien là, mais ce sont les capacités qui font défaut. C'est pourquoi les conseils et les transferts de savoir-faire sont cruciaux alors que ces pays s'apprêtent à lutter contre les impacts du changement climatique et à les surmonter. Dotés d'outils appropriés, les décideurs seront plus à même de réaliser la synthèse entre développement et changement climatique et de produire des plans de gestion des risques bien conçus.

Les scénarios climatiques peuvent donner des informations importantes sur l'évolution du climat d'une région. Munies de celles-ci, il devient possible de prévenir les impacts négatifs potentiels des changements climatiques tout en favorisant un développement résilient au climat et sobre en émissions. Mais la prévision climatologique régionale (celle du régime météorologique moyen pendant une période donnée – p. ex. 30 ans) est une science incertaine. Il existe de nombreuses méthodes qui peuvent produire des scénarios plausibles. Certaines ne fournissent que des résultats à faible résolution (ou grossiers), alors que d'autres donnent des résultats à haute résolution (p. ex. les méthodes de réduction d'échelle).

“ Les scénarios climatiques peuvent donner des informations importantes sur l'évolution du climat d'une région. Munies de celles-ci, il devient possible de prévenir les impacts négatifs potentiels des changements climatiques tout en favorisant un développement résilient au climat et sobre en émissions. ”

Le choix des méthodes d'élaboration de scénarios climatiques dépend de l'utilisation que l'on en fera et des obstacles que les décideurs peuvent rencontrer. Dans le contexte des stratégies de développement résilient au climat et sobre en émissions (SDRCSE), il faudra vraisemblablement des scénarios climatiques à résolutions spatiales et temporelles relativement fines afin d'obtenir les informations requises sur la vulnérabilité, l'adaptation et l'atténuation. Il est en effet important d'évaluer ces dernières pour déterminer comment se protéger d'un climat en pleine évolution et prospérer sous ces nouvelles conditions climatiques. Un guide récent du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), *Mapping Climate Change Vulnerability and Impact Scenarios: A Guidebook for Sub-National Planners* (PNUD, 2010) traite du niveau et de la nature de la vulnérabilité, c'est-à-dire des risques que court une région à cause des effets potentiellement négatifs des changements climatiques (y compris les changements concernant la variabilité et les extrêmes climatiques).

L'élaboration de scénarios climatiques ne va pas sans difficultés. Le choix de la bonne méthode suppose au préalable une évaluation attentive des méthodes existantes par rapport aux besoins (application) et limitations (financières, informatiques, scientifiques ou de main-d'œuvre) des gestionnaires de projet et de leurs équipes. Ces dernières devraient comprendre des personnes ayant des compétences différentes pour accomplir des tâches comme la collecte ou le traitement des données et l'analyse des entrées/résultats. Ces capacités sont souvent limitées dans les régions en développement où les besoins sont grands et les ressources financières rares.

Pour combler les lacunes actuelles en matière d'information, le PNUD publie des guides et boîtes à outils contenant des directives détaillées. Le cadre de travail que propose le présent manuel devrait aider les gestionnaires de projet et leur équipe à élaborer des scénarios climatiques pour pouvoir produire des SDRCSE et autres évaluations. Le présent rapport fait partie d'une série de publications du PNUD destinées aux décideurs qui sont disponibles en ligne à l'adresse suivante : <http://www.undp.org/climatestrategies/>

Objectif du Guide

Le présent document s'ajoute à la collection du PNUD sur les stratégies de développement résilient au climat et sobre en émissions. Son objectif est de renforcer les capacités des décideurs pour qu'ils puissent accomplir les tâches suivantes :

- Évaluer les besoins en matière de scénarios climatiques et l'utilité de ces derniers ;
- Repérer les contraintes (financières, informatiques, scientifiques ou de main-d'œuvre) qui font obstacle à l'élaboration de scénarios climatiques et définir les besoins à la lumière de ces contraintes ;
- Évaluer les méthodes qui permettent de générer un éventail prospectif de scénarios climatiques en fonction des besoins qui ont été recensés et réunir une équipe solide ;
- Élaborer des scénarios climatiques et les documenter.

Il offre aux gestionnaires de projet et à leur équipe un cadre de travail pour l'élaboration d'un éventail prospectif de scénarios climatiques.

Public cible

Le présent guide s'adresse en priorité aux gestionnaires de projet et aux décideurs qui travaillent avec une équipe d'experts scientifiques et techniques et cherchent à comprendre comment gérer l'élaboration de scénarios climatiques pour leur région. Son but est de leur fournir des outils qui leur permettront de prendre part à des discussions sur ce sujet et, notamment, d'intervenir dans des décisions scientifiques concernant la disponibilité, l'applicabilité et la robustesse des différentes solutions proposées. L'ouvrage présente les étapes successives qui guideront le lecteur tout au long du processus d'élaboration des scénarios climatiques. Le tableau 1 propose une liste de ressources supplémentaires, dont certaines à caractère scientifique.

Tableau 1 : Documents d'orientation sur l'élaboration de scénarios climatiques

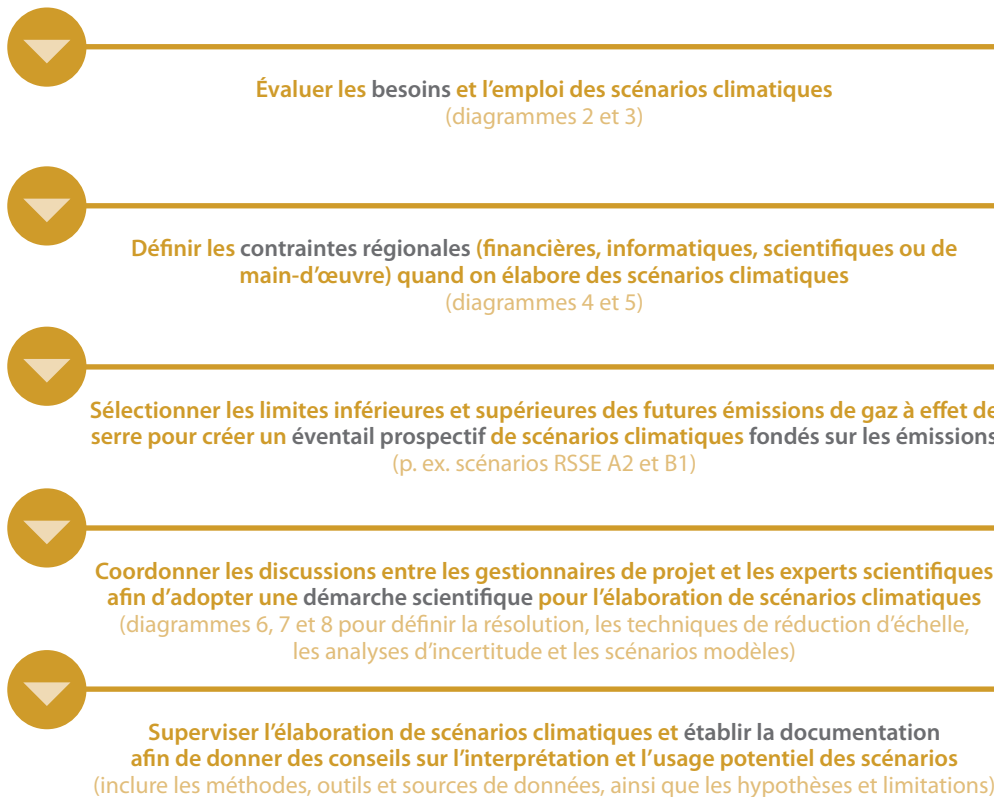
Titre	Auteur
Programme d'appui aux communications nationales PNUD-PNUE-FEM*	
<i>Guidance on the Development of Regional Climate Scenarios for Application in Climate Change Vulnerability and Adaptation Assessment</i> [Conseils pour l'élaboration de scénarios climatiques régionaux destinés à analyser la vulnérabilité et l'adaptation au changement climatique]	Lu, 2006
<i>Applying Climate Information for Adaptation Decision Making: A Guidance Resource Document</i> [Appliquer les informations sur le climat aux décisions sur l'adaptation : Document de référence]	Lu, 2007
Groupe de travail du GIEC* sur les données et scénarios en appui aux études d'impact climatique	
<i>Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Regional Climate Model Experiments</i> [Directives pour les scénarios climatiques élaborés à partir d'expériences de modélisation climatique régionale]	Mearns et al., 2003
<i>General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impacts and Adaptation Assessment, Version 2</i> [Directives générales sur l'utilisation des données des scénarios pour l'évaluation des répercussions climatiques et de l'adaptation, version 2]	Carter, 2007
Autres	
<i>Good Practice Guidance Paper on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections</i> [Guide des bonnes pratiques pour évaluer et combiner des projections climatiques multi-modèles]	Knutti et al, 2010
<i>A Framework for Assessing Uncertainties in Climate Change Impacts: Low-Flow Scenarios for the River Thames</i> [Cadre d'évaluation des incertitudes liées aux impacts du changement climatique : scénarios de bas débit pour la Tamise]	Wilby et al, 2004

* Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), Fonds pour l'environnement mondial (FEM), Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)

Cadre de travail du PNUD pour l'élaboration de scénarios climatiques

Le cadre de travail du PNUD a pour objectif de guider les gestionnaires de projet tout au long du processus d'élaboration des scénarios climatiques, de les aider à recenser les raisons d'en produire (pourquoi), et à clarifier leurs besoins en la matière (quoi, quand et où). Un des éléments fondamentaux de ce processus consiste à aider les décideurs à définir les contraintes qui entrent en jeu (financières, informatiques, scientifiques ou de main-d'œuvre) et à comprendre l'action conjuguée de ces dernières afin qu'ils soient mieux outillés pour l'élaboration de scénarios climatiques, surtout pour ce qui concerne l'allocation des ressources. Le diagramme 1 illustre ce cadre.

Diagramme 1 : Cadre du PNUD pour l'élaboration de scénarios climatiques destinés à appuyer les stratégies de développement résilient au climat et sobre en émissions



“Il insiste sur le fait qu'en théorie, les gestionnaires de projet devraient travailler avec une équipe d'experts scientifiques et techniques pour gérer ces incertitudes, sélectionner les méthodes qui conviennent et élaborer une série de scénarios prospectifs qui inspireront les stratégies d'investissement et faciliteront la transition vers un développement résilient au climat et sobre en émissions.”

Pour appuyer le renforcement des capacités, le cadre traite du rôle que jouent les incertitudes dans l'élaboration de scénarios climatiques. Il insiste sur le fait qu'en théorie, les gestionnaires de projet devraient travailler avec une équipe d'experts scientifiques et techniques pour gérer ces incertitudes, sélectionner les méthodes adéquates et élaborer une série de scénarios prospectifs qui éclaireront les stratégies d'investissement et faciliteront la transition vers un développement résilient au climat et sobre en émissions.

Le cadre proposé aborde aussi les points faibles communs à bon nombre d'initiatives. Par exemple, les gestionnaires de projet qui supervisent l'élaboration de scénarios climatiques n'ont souvent que peu d'expérience en climatologie et les experts scientifiques qui sont chargés de produire ces scénarios ne comprennent pas toujours les contraintes autres que scientifiques qui pèsent sur le projet ni les besoins des utilisateurs finaux. Il suffit d'améliorer les lignes de communication pour que ces inconvénients viennent au contraire renforcer le processus d'élaboration et ses résultats. Le cadre fournit une bonne base pour susciter un dialogue franc et ouvert qui se poursuivra à intervalles réguliers entre les membres de l'équipe, afin qu'ils échangent des connaissances et optimisent l'élaboration de scénarios climatiques.

Enfin, le cadre souligne la nécessité de documenter le processus tout entier pour aider les gestionnaires de projet et leur équipe à répondre aux questions éventuelles des planificateurs et décideurs. Ces informations pourront également contribuer à des analyses climatiques ultérieures.

Synthèse des principales étapes

1^{ÈRE} ÉTAPE

ÉVALUER ET DÉFINIR LES BESOINS EN MATIÈRE D'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

2^{ÈRE} ÉTAPE

RECENSER LES CONTRAINTES RÉGIONALES ET FORMULER UN PLAN RÉALISTE POUR L'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

3^{ÈRE} ÉTAPE

COMPRENDRE LES INCERTITUDES POUR CRÉER UN ÉVENTAIL PROSPECTIF DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

4^{ÈRE} ÉTAPE

ÉLABORER ET DOCUMENTER LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

Plan de l'ouvrage

L'aperçu général ci-dessus donne le contexte pour l'élaboration de scénarios climatiques et souligne combien il est nécessaire de définir les besoins et l'usage qui en sera fait, ainsi que les contraintes (financières, informatiques, scientifiques, de main-d'œuvre, etc.) que les gestionnaires de projet et leur équipe d'experts doivent prendre en considération au moment de choisir une ou des méthodes pour leur projet. Il présente aussi le cadre de travail proposé par le PNUD pour l'élaboration de scénarios climatiques liés aux stratégies de développement résilient au climat et sobre en émissions.

Les chapitres 1 à 4 donnent des conseils étape par étape pour l'élaboration des scénarios climatiques en suivant le cadre du PNUD. Au chapitre 1, la **première étape** consiste à réunir une équipe solide pour le projet. On y trouve aussi des indications sur la manière d'évaluer les besoins en la matière, ainsi que l'usage qui sera fait des scénarios à travers une étude exploratoire. Enfin, on y découvre une méthode qui permet de définir les contraintes et de formuler une stratégie réaliste pour l'élaboration de scénarios climatiques étant donné les limitations auxquelles l'équipe se trouve confrontée. Au chapitre 2, la **deuxième étape** consiste à utiliser les informations glanées au cours de la première pour évaluer ce qu'il est réaliste d'attendre de l'élaboration de scénarios climatiques dans le cadre des SDRCSSE et autres évaluations. Au chapitre 3, la **troisième étape** consiste à comprendre et à gérer les incertitudes associées à l'élaboration de scénarios climatiques afin d'ouvrir un éventail de scénarios prospectifs. Au chapitre 4, la **quatrième étape** donne un aperçu de la procédure à adopter pour élaborer un scénario climatique et des méthodes dont on dispose pour les initiatives régionales et locales. Elle insiste aussi sur la nécessité de documenter tout le processus afin de tenir les membres de l'équipe informés, d'en tirer des leçons et de les partager.

Le chapitre 5 résume le guide et l'annexe présente des études de cas régionales qui illustrent le processus d'élaboration de scénarios climatiques et la façon dont les contraintes pèsent sur le choix de la ou des méthodes.

Une liste de références bibliographiques à la fin du guide donne au lecteur un aperçu de la littérature consultée pendant la rédaction de la présente publication ainsi que des informations importantes qu'il convient de passer en revue lorsque l'on entreprend d'élaborer des scénarios climatiques.

Chapitre 1

Étapes préliminaires pour l'élaboration de scénarios climatiques

Évaluer et définir les besoins en matière d'élaboration de scénarios climatiques (1^e étape)

- Réunir une équipe intersectorielle pour l'élaboration de scénarios climatiques (étape 1.1)
- Définir les besoins en matière d'élaboration de scénarios climatiques (étape 1.2)
- Évaluer les connexions et analyser les besoins en matière d'élaboration de scénarios climatiques (étape 1.3)
- Formuler un plan et répertorier les ressources existantes (étape 1.4)

1

Évaluer et définir les besoins en matière d'élaboration de scénarios climatiques

Introduction

La première chose à faire, c'est d'évaluer et de définir les besoins. On aura ainsi une base de départ solide qui permettra aux gestionnaires de projet et à leur équipe d'experts de produire des scénarios climatiques efficaces par rapport au coût et sensibles aux besoins des utilisateurs finaux repérés. Cette étape compte quatre tâches importantes. La première (étape 1.1) consiste à réunir une équipe intersectorielle de spécialistes qui, avec leurs compétences diverses, aideront le gestionnaire de projet à résoudre toute la gamme de questions et problèmes qui se poseront au cours des phases préliminaires et pendant le processus tout entier. La deuxième tâche (étape 1.2) est de lancer une étude préparatoire pour définir les besoins en matière d'élaboration de scénarios climatiques : ici, les experts posent des questions clés pour définir les objectifs et les besoins. La troisième (étape 1.3) consiste à évaluer les différents besoins et la dernière (étape 1.4) à formuler un plan pour l'élaboration des scénarios climatiques.

“Il est conseillé de réunir l'équipe périodiquement pour garder ouvertes les lignes de communication, échanger des informations et favoriser un processus transparent et bien documenté.”

1.1 Réunir une équipe intersectorielle pour l'élaboration de scénarios climatiques

La première étape, si l'on veut formuler un éventail de scénarios prospectifs fructueux, c'est de réunir une équipe interdisciplinaire solide afin de planifier et d'exécuter cette tâche. Dans bien des cas, la responsabilité en incombe au gestionnaire de projet. Il devra évaluer de façon approfondie le type d'expertise et de compétences dont il aura besoin, les ressources requises (budgétaires ou autres) et celles dont il dispose et les personnes auxquelles il a accès et qui peuvent contribuer au processus. Un tel travail de réflexion permet souvent de recenser les contraintes (financières, informatiques, scientifiques ou de main-d'œuvre) que le gestionnaire de projet devra gérer tout au long de la planification et de la mise en œuvre pour garder le cap et atteindre les objectifs fixés.

Tableau 2 : Membres clés de l'équipe d'élaboration de scénarios climatiques

Qui	Quoi	Quand	Notes
Gestionnaire de projet	Chef d'équipe	Cycle de projet tout entier (étapes 1 à 4)	Conceptualise l'élaboration des scénarios climatiques, gère le budget, sert d'interface avec les membres de l'équipe
Scientifique	Expert	Cycle de projet tout entier (étapes 1 à 4)	Expert en climatologie
Spécialiste en modélisation climatique	Expert	Cycle de projet tout entier, en particulier pendant les consultations aux étapes 1 et 4	Expert en modélisation climatique ; consulté pendant les étapes 1-4 ; procède à des analyses climatiques pour les scénarios actuels et futurs
Utilisateur final (planificateur, décideur, etc.)	Utilisateur	Stades préliminaires : consulté pour déterminer quelles sont les informations fournies par le scénario qu'il utilisera et comment (étape 1) En finale : donne les résultats du travail à l'utilisateur final ainsi que toute la documentation qui l'accompagne	Incorpore les informations fournies par les scénarios climatiques dans ses analyses de la vulnérabilité, de l'adaptation ou de l'atténuation

1^{ÈRE} ÉTAPE

ÉVALUER ET DÉFINIR LES BESOINS EN MATIÈRE D'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

2^{ÈME} ÉTAPE

RECENSER LES CONTRAINTES RÉGIONALES ET FORMULER UN PLAN RÉALISTE POUR L'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

3^{ÈME} ÉTAPE

COMPRENDRE LES INCERTITUDES POUR CRÉER UN ÉVENTAIL PROSPECTIF DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

4^{ÈME} ÉTAPE

ÉLABORER ET DOCUMENTER LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

1.2 Définir les besoins en matière de scénarios climatiques

DÉFINITION

Résolutions spatiales et temporelles

On appelle résolutions spatiales et temporelles l'aire (p. ex. 25 km², 2 500 km²) et la périodicité (p. ex. horaire, quotidienne, mensuelle, saisonnière) pour lesquelles les processus physiques du système terrestre sont indiqués.

Une fois désignés, les membres de l'équipe peuvent commencer à définir leurs besoins (le quoi) et organiser leur travail (le qui et le quand) dans le contexte des SDRCSE ou d'autres évaluations. Une étude préparatoire est essentielle pour le bon déroulement du processus. Les gestionnaires de projet peuvent se servir des questions du diagramme 2 pour commencer à débattre des besoins éventuels avec les membres de l'équipe. Les utilisateurs finaux devraient y prendre part pour que leurs besoins à eux soient aussi satisfaits. À ce stade, l'équipe devrait songer à distribuer les rôles, afin de garantir une allocation judicieuse des tâches et des ressources. Selon toute vraisemblance, le gestionnaire de projet connaît le montant du budget à l'avance et il jouera un rôle important dans la distribution des fonds dont il dispose. Il est conseillé de réunir périodiquement l'équipe pour garder ouvertes les lignes de communication, échanger des informations et favoriser un processus transparent et bien documenté.

Diagramme 2 : Principales questions à poser pour définir l'objectif et les besoins en matière d'élaboration de scénarios climatiques



Note : Adapté du diagramme 5 (Lu, 2006).

“Comprendre les besoins de l'utilisateur final permet de rationaliser l'élaboration de scénarios climatiques pour la rendre plus performante et moins coûteuse.”

Pour définir les besoins en matière de scénarios climatiques, on peut aborder les principales questions reprises dans le diagramme 2. Les tableaux 3 et 4 peuvent également servir de guides. Il n'est pas nécessaire de répondre aux questions dans l'ordre.

Examen des principales questions pour définir les visées et les besoins en matière de scénarios climatiques

Objectif : Il est essentiel de préciser avant de commencer le but de l'élaboration des scénarios climatiques. Une fois cet objectif défini (visées des scénarios climatiques), le gestionnaire de projet et l'équipe d'experts ont une bonne base de départ. Par exemple, si on a besoin de scénarios climatiques pour évaluer les futures ressources en eau de la région, l'équipe doit s'efforcer d'obtenir des prévisions réalistes en matière de précipitations.

Utilisateurs finaux : Si elle sait qui sont les utilisateurs finaux (p. ex. les gestionnaires des terres agricoles et de l'eau), l'équipe pourra élaborer un éventail de scénarios répondant à leurs besoins. Pour bien faire, il devrait y avoir adéquation entre ces besoins et les raisons pour lesquelles on procède à une étude à échelle réduite. Par exemple, les agriculteurs ont souvent besoin d'informations climatiques comprenant des statistiques sur les précipitations et les températures quotidiennes pendant la période végétative (fréquence, intensité et durée des sécheresses, etc.). Comprendre les besoins de l'utilisateur final permet de simplifier l'élaboration de scénarios climatiques pour la rendre plus performante et moins coûteuse.

Horizon temporel : La sélection des périodes futures pour les scénarios climatiques (p. ex. années 2030, 2050, 2100, etc.) est liée aux objectifs et aux besoins des utilisateurs finaux.

Variables : Définir les variables qui interviendront dans l'élaboration de scénarios climatiques permet de déterminer le type de données dont l'équipe aura besoin.

Résolution spatiale et temporelle : Le type de résolution (p. ex. faible ou haute/fine) est un facteur important pour la création de scénarios climatiques et c'est l'une des questions centrales abordées dans le présent document. Le niveau de résolution peut varier selon qu'on a besoin de scénarios aux niveaux mondial, régional ou local. En règle générale, les scénarios régionaux ou locaux exigent une résolution plus fine, pour que les décideurs puissent disposer d'informations plus précises. Dans le cas des SDRCS, on utilise les scénarios climatiques pour déterminer les options en matière de vulnérabilité, d'adaptation ou d'atténuation et pour évaluer les besoins financiers pour la mise en œuvre de ces stratégies. Dans ce cas, tout comme pour d'autres évaluations, la résolution varie en fonction d'un certain nombre de facteurs : 1) taille de la région, 2) géographie physique : couverture terrestre, topographie, régimes climatiques à grande échelle, etc., 3) application cible. On abordera ces facteurs à l'étape 1.3.

Phénomènes extrêmes : Les scénarios climatiques doivent-ils inclure des variables climatiques moyennes ou les valeurs extrêmes de ces variables ? Il s'agit là d'une décision fondamentale qui influencera le choix de la méthode scientifique à adopter pour l'élaboration des scénarios climatiques. La principale raison en est que les techniques de prévision dépendent largement de la variable cible (p. ex. minimum, maximum et moyenne des températures quotidiennes ou mensuelles).

1^{ÈRE} ÉTAPE

ÉVALUER ET DÉFINIR LES BESOINS EN MATIÈRE D'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

2^{ÈRE} ÉTAPE

RECENSER LES CONTRAINTES RÉGIONALES ET FORMULER UN PLAN RÉALISTE POUR L'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

3^{ÈRE} ÉTAPE

COMPRENDRE LES INCERTITUDES POUR CRÉER UN ÉVENTAIL PROSPECTIF DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

4^{ÈRE} ÉTAPE

ÉLABORER ET DOCUMENTER LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

“... on ne saurait examiner la question des besoins en matière de scénarios climatiques, en particulier dans le contexte des SDRCE, sans prendre en compte la taille et la géographie physique de la région, ainsi que l'application cible du scénario.”

Tableau 3 : Formulaire suggéré pour déterminer les besoins et les visées des scénarios climatiques

Question	Réponse	Commentaire
Quelles sont les sources de données dont vous disposez ?		
Quels sont les problèmes majeurs pour accéder aux données existantes ?		
Quelle est la fiabilité de la modélisation climatique dans le domaine qui vous intéresse ?		
Quel est le degré de fiabilité pour chaque variable (p. ex. température, précipitations, etc.) ?		

Tableau 4 : Directives pour définir les besoins en matière d'élaboration de scénarios climatiques

Question	Point focal	Réponse
Objectif	Gestionnaire de projet (GP)	Évaluer les tendances climatiques futures, comme outil pour formuler une stratégie de développement résilient au climat, sobre en émissions et comprenant des méthodes d'adaptation et d'atténuation
Utilisateurs finaux	GP	GP, conseiller pour les politiques, planificateurs
Horizon temporel	GP/expert	Années 2050, 2100, etc.
Variables	Expert/GP	Températures, précipitations
Résolution	Expert/GP	Résolution temporelle : horaire, quotidienne, mensuelle, saisonnière Résolution spatiale : 5 km, 50 km, 200 km
Phénomènes extrêmes	Expert	Températures et précipitations quotidiennes minimum et maximum

1.3 Évaluer les connexions et les besoins en matière de scénarios climatiques

Après avoir fait l'inventaire des besoins précis pour l'élaboration des scénarios climatiques, il est important d'évaluer ce qu'ils ont en commun, pour comprendre ce que cette tâche requiert. Pour cela, il est essentiel de reconnaître et comprendre que les besoins en matière de scénarios climatiques, y compris les résolutions, sont variables et dépendent de facteurs multiples. C'est pourquoi on ne saurait examiner la question des besoins en matière de scénarios climatiques, en particulier dans le contexte des SDRCSSE, sans prendre en compte la taille et la géographie physique de la région, ainsi que l'application cible du scénario.

Caractéristiques physiques et application cible

Taille et géographie physique de la région : Les caractéristiques physiques (taille et géographie) interviennent dans la détermination des besoins. Elles sont aussi liées à la question de la résolution des scénarios climatiques. Celle-ci varie par région pour un scénario climatique donné en fonction de la taille et de la géographie physique : 1) couverture terrestre (forêts, cultures, urbaine etc.) et bassins hydrologiques ; 2) topographie et proximité de l'océan et des montagnes environnantes ; 3) phénomènes climatiques de grande ampleur (p. ex. El Niño-oscillation australe).

Application cible (ressources en eau, agriculture etc.) : Les besoins en matière de scénario climatique dépendent fortement de l'application cible (p. ex. agriculture, eau, énergie, gestion des catastrophes, santé ou biodiversité). Le choix des variables climatiques (températures, précipitations, etc.) et de leur résolution (quotidienne, mensuelle, saisonnière) pour un scénario donné dépend de l'application prévue, tout comme la nature des caractéristiques physiques d'une région dépend de l'application cible. C'est pourquoi dès que celle-ci aura été définie, le gestionnaire de projet sera plus à même de recommander l'ensemble optimum de variables d'ordre climatique à inclure dans l'élaboration de scénarios climatiques (voir diagramme 3).

Le lien entre application cible et résolution du scénario est aussi important. Il n'y a pas toujours concordance entre ce que souhaitent les utilisateurs finaux et ce que les gestionnaires de projet sont en mesure de fournir avec une application cible donnée. En général, les utilisateurs finaux aimeraient que les informations climatiques aient des résolutions spatiales et temporelles aussi hautes que possible. Les gestionnaires de projet devraient s'efforcer de leur fournir des scénarios climatiques qui répondent à leurs besoins. Mais ce n'est pas toujours possible étant donné les limitations scientifiques ou non qu'ils doivent prendre en compte.

1^{ÈRE} ÉTAPE

ÉVALUER ET DÉFINIR LES BESOINS EN MATIÈRE D'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

2^{ÈRE} ÉTAPE

RECENSER LES CONTRAINTES RÉGIONALES ET FORMULER UN PLAN RÉALISTE POUR L'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

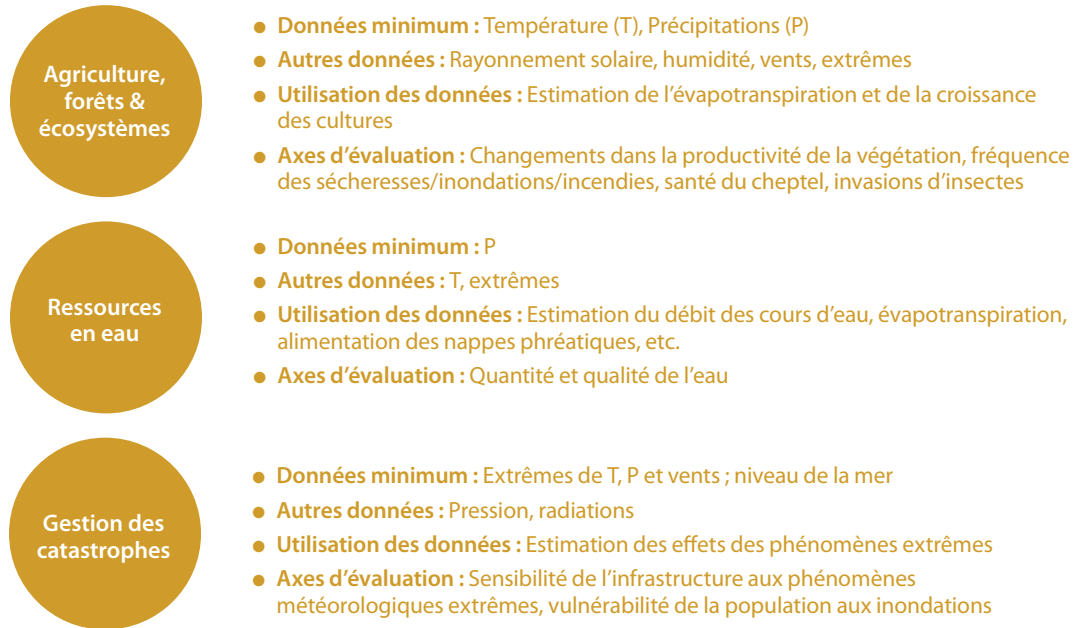
3^{ÈRE} ÉTAPE

COMPRENDRE LES INCERTITUDES POUR CRÉER UN ÉVENTAIL PROSPECTIF DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

4^{ÈRE} ÉTAPE

ÉLABORER ET DOCUMENTER LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

Diagramme 3 : Exemples d'applications cibles pour les scénarios climatiques



Note : Le diagramme illustre les besoins en matière de scénarios climatiques de différentes applications liées au développement. Celles-ci sont présentées uniquement à titre d'illustration.

1.4 | Élaborer un plan et repérer les ressources existantes

DÉFINITION

Résolution spatiale

La résolution spatiale est la taille des mailles utilisées pour représenter les processus physiques pour un modèle climatique global (MCG). Par exemple, un modèle climatique peut avoir une résolution de $2^\circ \times 2^\circ$, ce qui signifie que les mailles ont chacune quelques centaines de kilomètres de côté (selon la latitude). Les prévisions d'un MCG pour la température représenteront donc la *température moyenne sur une aire de $2^\circ \times 2^\circ$* .

Après avoir défini et évalué les besoins en matière de scénarios climatiques, les gestionnaires de projet et leur équipe d'experts peuvent commencer à élaborer un plan de développement qui comprendra l'inventaire des informations et outils climatiques qui existent et qu'ils peuvent utiliser. Cela permettra de rationaliser le processus d'élaboration des scénarios climatiques et d'optimiser la collecte de données et la modélisation. Pour répondre aux besoins de l'élaboration des scénarios climatiques, beaucoup d'équipes utilisent les modèles climatiques globaux (MCG) comme source de données sur les changements climatiques.

Les données fournies par les simulations des MCG (voir encadré 1) sont facilement accessibles et permettent de trouver des informations sur le changement climatique à un niveau de résolution relativement faible ou grossier. On s'en sert surtout pour comprendre le climat de l'ensemble du système terrestre (niveau macro) et non celui d'une région en particulier (niveau micro). La résolution spatiale d'un MCG typique est de l'ordre de centaines de kilomètres, les prévisions les plus facilement accessibles étant à l'échelle mensuelle. Mais les utilisateurs de scénarios climatiques régionaux ou locaux ont généralement besoin de résolutions spatiales de quelques dizaines de kilomètres, voire moins, et de résolutions temporelles plus fréquentes (quotidiennes ou heure par heure), en fonction de l'application et des propriétés climatiques et physiques de leur région. La différence, pour la résolution spatiale, correspond à un ordre de grandeur environ. Pour la résolution temporelle, il faut noter que même si l'on peut trouver des prévisions MCG à des résolutions plus fines (quotidiennes, p. ex.), il faut interpréter les données avec prudence, vu l'incertitude quant à la fiabilité des MCG pour les prévisions de variables quotidiennes.

Encadré 1 : Principes fondamentaux de la modélisation climatique

Les gestionnaires de projet et les décideurs doivent posséder une bonne compréhension générale des modèles climatiques globaux (MCG), car il s'agit là d'outils de base pour comprendre et prédire le climat. On se sert des MCG pour simuler les nombreux processus terrestres qui produisent le climat (McGuffie and Henderson-Sellers, 2005). Pour décrire ces processus, notamment le transport de l'humidité, la chaleur et le mouvement, on se sert de représentations mathématiques généralement dérivées de lois physiques élémentaires. On crée ensuite des programmes informatiques détaillés pour résoudre la multitude d'équations qui décrivent le système terrestre, en tenant compte des principes fondamentaux de la conservation de la masse, de l'énergie et du mouvement.

Comme toute modélisation d'un système physique, le MCG est une représentation simplifiée où n'interviennent que les processus que l'on considère comme les plus importants. Pour représenter le sol, l'atmosphère et les océans de la Terre dans les MCG, on divise ces éléments en cellules de grille ou mailles. Dans chaque maille, on simule les interactions entre le sol, l'atmosphère et les océans en calculant le mouvement de l'air, les radiations, les transferts de chaleur et autres variables. Le résultat permet aux scientifiques d'étudier, par exemple, la dynamique hydrologique mondiale, les cycles terrestres ou océaniques du carbone, les processus cryosphériques et la chimie atmosphérique pour les climats passés, présents et à venir.

Avec la nouvelle génération de MCG, on peut aujourd'hui appréhender bien des aspects du climat actuel de la planète et de sa variabilité. Ces modèles ont des limites, cependant, et doivent encore être développés et affinés. Par exemple, il est difficile de représenter les tempêtes de façon réaliste, car elles sont souvent relativement petites par rapport à la taille d'une maille de MCG. De plus, les spécialistes commencent à peine à explorer le rôle d'autres forçages climatiques, comme ceux causés par le carbone noir, la variabilité de l'activité solaire, les modifications de la couverture terrestre et les îlots de chaleur urbains.

Étant donné ces importantes incertitudes du système climatique, nous avons généralement recours aux nombreux MCG disponibles – chacun proposant des représentations différentes du système terrestre – pour produire des évaluations probabilistes modélisées du climat futur pour tout un éventail de scénarios climatiques.

Veillez vous référer à McGuffie and Henderson-Sellers (2005) pour en savoir plus sur les MCG et leurs prévisions.

Encadré 2 : Différence entre les MCG et les scénarios climatiques à haute résolution : l'avantage de la réduction d'échelle

Il faut faire une distinction entre les MCG et les scénarios climatiques à haute résolution, comme l'illustrent les prévisions de températures et de précipitations par MCG pour une période éloignée de 30 ans. Dans un tel cadre temporel, les prévisions climatiques d'un MCG donnent des valeurs moyennes pour des zones relativement étendues, ce qui veut dire que les scénarios climatiques auront une résolution assez grossière. Or, les températures et les précipitations peuvent varier considérablement à l'intérieur de ces zones, en fonction de caractéristiques comme la topographie, la couverture terrestre et la proximité de la côte. Si la distribution géographique des variables climatiques au sein de ces zones a son importance pour les stratégies de développement d'une région, une technique de réduction d'échelle solide et crédible sera peut-être nécessaire pour estimer les températures et les précipitations à une résolution plus fine.

1^{ÈRE} ÉTAPE

ÉVALUER ET DÉFINIR LES BESOINS EN MATIÈRE D'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

2^{ÈME} ÉTAPE

RECENSER LES CONTRAINTES RÉGIONALES ET FORMULER UN PLAN RÉALISTE POUR L'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

3^{ÈME} ÉTAPE

COMPRENDRE LES INCERTITUDES POUR CRÉER UN ÉVENTAIL PROSPECTIF DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

4^{ÈME} ÉTAPE

ÉLABORER ET DOCUMENTER LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

Le décalage entre les prévisions grossières des MCG et les hautes résolutions qui sont souvent nécessaires pour les évaluations locales et régionales a fait l'objet de nombreux articles dans la littérature scientifique. Ces recherches ont permis de développer de nombreuses techniques de réduction d'échelle afin de produire des résolutions plus fines que les données typiquement générées par les MCG. Celles-ci permettent de résoudre le problème de différences d'échelle (réduction d'échelle spatiale et analogique, dynamique et statistique, etc.) (Voir chapitre 4). Elles varient par leur niveau de difficulté, leur complexité algorithmique et leur fiabilité et la plupart se servent des sorties des MCG pour leurs calculs. On trouvera une illustration du décalage entre les prévisions des MCG et ce dont on a réellement besoin pour certaines études d'impact climatique dans l'encadré 2.

Résumé

Les gestionnaires de projet et leur équipe ont pour tâche de décider si des analyses des phénomènes de sous-échelle sont nécessaires. Cela dépend de l'ampleur de l'évaluation, de l'application cible, des incertitudes et des contraintes scientifiques ou autres. Si l'équipe s'accorde sur la nécessité de telles analyses, elle doit alors décider comment procéder. Le présent chapitre donne des indications sur la façon de réunir une équipe solide pour élaborer des scénarios climatiques, d'évaluer les besoins en la matière et de définir les contraintes. Le chapitre suivant expliquera comment circonscrire et évaluer les contraintes régionales.

“Pour répondre aux besoins de l'élaboration de scénarios climatiques, beaucoup d'équipes utilisent les modèles climatiques globaux (MCG) comme source de données sur les changements climatiques.”

Chapitre 2

Rôle des contraintes régionales dans l'élaboration de scénarios climatiques

Circonscrire les contraintes régionales et formuler un plan réaliste pour l'élaboration de scénarios climatiques (Étape 2)

- Évaluer les contraintes régionales (étape 2.1)
- Recenser les contraintes scientifiques (étape 2.2)
- Recenser les contraintes non scientifiques (étape 2.3)
- Évaluer l'ensemble des contraintes scientifiques ou autres (étape 2.4)

2

Circonscrire les contraintes régionales et formuler un plan réaliste pour l'élaboration de scénarios climatiques

Introduction

Dans le chapitre précédent (étape 1), les conseils aux gestionnaires de projet et à leur équipe avaient trait à la préparation d'une étude préalable pour évaluer les besoins en matière de scénarios climatiques. L'étape 1 mettait en lumière la nécessité d'analyser les connexions entre les besoins en matière de scénarios climatiques (y compris en termes de résolution) et les caractéristiques physiques d'une région d'une part et l'application cible d'autre part. Le présent chapitre (étape 2) insiste sur la nécessité de franches discussions entre gestionnaires de projet et experts scientifiques sur les contraintes définies au cours de la première étape et de recherches supplémentaires pour clarifier l'orientation et le contexte régional des scénarios climatiques. En collaborant étroitement avec ses experts, le gestionnaire de projet améliorera ses propres capacités à superviser les initiatives de développement et favorisera la prise en considération des aspects scientifiques et autres de l'élaboration de scénarios climatiques. Chaque partie fera profiter l'autre de son expertise, les deux étant complémentaires et essentielles.

Les gestionnaires de projet apportent leur compréhension des contraintes non scientifiques (financières ou autres) ainsi que leur bonne connaissance des caractéristiques d'une région et des utilisateurs finaux des scénarios climatiques.

Les experts prodiguent des conseils scientifiques sur la façon dont les caractéristiques d'une région (taille, topographie et influences climatiques) interviennent dans l'élaboration de scénarios climatiques ; ils apportent leurs connaissances sur le climat de référence et sur les modèles et techniques qu'on peut utiliser pour générer un scénario climatique.

Le diagramme 4 présente les questions fondamentales sur ce qu'il est réaliste de faire en matière de scénarios climatiques. Il complète le diagramme 2 qui présentait les questions à poser pour définir les besoins de scénarios climatiques. Ces questions fondamentales servent de révélateur à des problèmes majeurs comme la disponibilité des données, la précision du modèle et les obstacles à l'élaboration de scénarios. Les gestionnaires de projet se reporteront à l'encadré 3 qui contient des informations supplémentaires sur les besoins en matière de données pour l'élaboration de scénarios climatiques.

“En collaborant étroitement avec ses experts, le gestionnaire de projet améliorera ses propres capacités à superviser les initiatives de développement et favorisera la prise en considération des aspects scientifiques et autres de l'élaboration de scénarios climatiques.”

Encadré 3 : Données clés pour l'élaboration de scénarios climatiques

Il est essentiel pour tout projet d'élaboration de scénarios climatiques d'avoir accès à des données clés et de les comprendre. La première étape, pour que les gestionnaires de projet puissent obtenir ces informations fondamentales, c'est de savoir de quelles données climatiques historiques on dispose pour le climat de référence de la région. Pour cela, ils devraient consulter des scientifiques locaux (s'il y en a) et leur demander d'analyser les données météorologiques existantes (températures, précipitations, vent, etc.) ainsi que d'autres mesures liées au climat. Il est important de savoir que la qualité des données pose souvent problème, surtout pour les régions n'ayant pas de capacités scientifiques importantes. Il faut également prendre en considération les aspects suivants quand on examine les données climatiques historiques de la région :

- Nombre de stations
- Couverture de surface des données
- Longueur des enregistrements
- Qualité des enregistrements

Le contrôle qualité des données d'observation prend généralement beaucoup de temps. Les gestionnaires de projet doivent en être conscients et en tenir compte dans leur planification. Il est indispensable de disposer de données historiques pour comprendre les changements climatiques futurs. Si les régions sont pauvres en données, comme c'est le cas pour beaucoup de pays en développement, les gestionnaires de projet devraient envisager de compiler des séries de données provenant d'autres sources. En voici quelques exemples :

- WorldClim a procédé à des interpolations de surfaces climatiques pour des superficies mondiales à une résolution spatiale de 30 secondes d'arc (souvent appelée résolution spatiale de 1 km). Les variables climatiques disponibles sont les précipitations mensuelles et les températures moyennes, minimum et maximum : <http://www.worldclim.org/>
- Données mondiales sur les forçages météorologiques pour une période de 50 ans (1948-2000), dérivées en combinant ré-analyse et observations. Disponibles à des résolutions spatiales de 2 et 1 degrés et des résolutions temporelles quotidiennes ou de trois heures : <http://hydrology.princeton.edu/data.php>
- APHRODITE : précipitations quotidiennes (0,5 et 0,25 degrés) pour certaines parties de l'Asie : http://chikyuu.ac.jp/precip/cgi/bin/aphrodite/script/aphrodite_cgi.cgi/register
- Divers produits du Tyndall Centre for Climate Change Research (<http://tyndall.ac.uk/>), notamment la climatologie mensuelle mondiale par intervalles de 10 minutes de 1961 à 1990 et des observations climatiques mondiales par séries chronologiques à 0,5° de 1901 à 2002. On peut télécharger ces produits ainsi que d'autres à l'adresse suivante : <http://tyndall.ac.uk/cru/data/hrg/>.

Les données autres que les données historiques mondiales sont tout aussi importantes pour l'élaboration de scénarios climatiques. Les propriétés de la surface émergée comme le type de sol ou de couverture terrestre (forêt, prairies, milieu urbain, etc.) et les réseaux fluviaux, sont des informations clés pour les modèles basés sur les processus physiques. D'autres données dépendront de la nature de l'évaluation de la vulnérabilité, de l'adaptation ou de l'atténuation qui se fera dans le cadre de l'élaboration d'une stratégie de développement résilient au climat et sobre en émissions (SDRCSE). Elles pourront porter sur la population, l'énergie et les émissions.

Pour en savoir plus, le lecteur peut consulter la récente publication du PNUD, *Mapping Climate Change Vulnerability and Impact Scenarios: A Guidebook for Sub-National Planners* (PNUD, 2010).

1ÈRE ÉTAPE

ÉVALUER ET DÉFINIR LES BESOINS EN MATIÈRE D'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

2ÈME ÉTAPE

RECENSER LES CONTRAINTES RÉGIONALES ET FORMULER UN PLAN RÉALISTE POUR L'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

3ÈME ÉTAPE

COMPRENDRE LES INCERTITUDES POUR CRÉER UN ÉVENTAIL PROSPECTIF DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

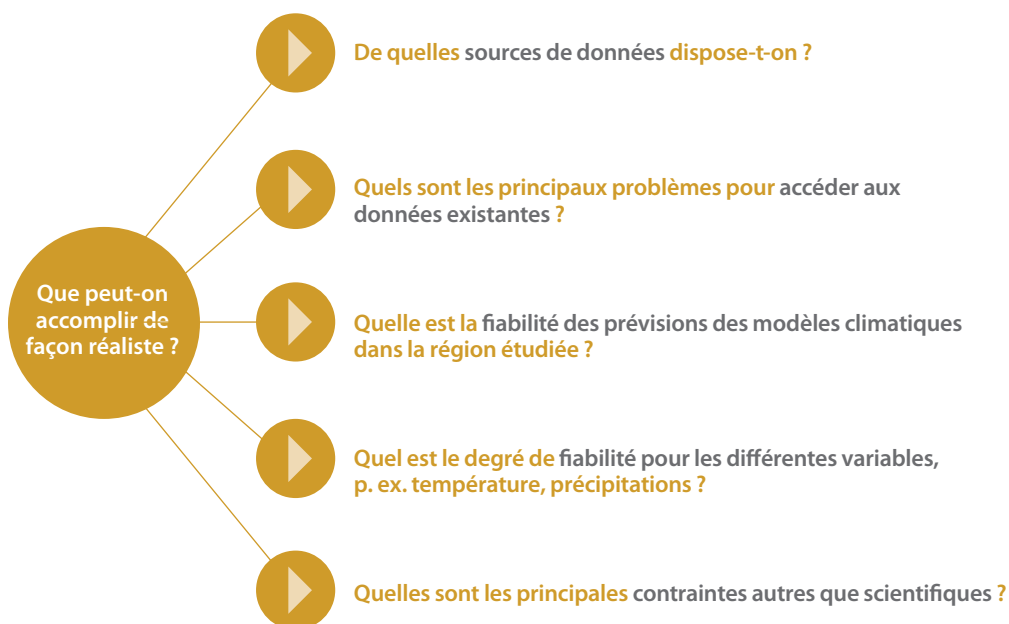
4ÈME ÉTAPE

ÉLABORER ET DOCUMENTER LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

2.1 Évaluer les contraintes régionales

Cette étape, fort semblable à l'étude préparatoire de l'étape 1, fournit aux gestionnaires de projet et à leur équipe d'experts la possibilité d'estimer le niveau d'effort et de résultat le plus réaliste en se basant sur une analyse approfondie de ces questions fondamentales que sont l'analyse de données, la fiabilité du modèle et les contraintes limitant l'élaboration de scénarios climatiques. Les questions présentées dans le diagramme 4 fournissent un format pour ce processus.

Diagramme 4 : Questions clés à poser pour décider d'un plan d'action réaliste pour l'élaboration de scénarios climatiques



Note : Ce diagramme suggère un certain nombre de questions fondamentales pour évaluer ce qu'il est *réaliste* de faire lorsque l'on élabore des scénarios climatiques dans le cadre de SDRCE ou d'autres évaluations. Adapté du diagramme 5 (Lu, 2006)

“Les propriétés de la surface émergée comme le type de sol ou de couverture terrestre (forêt, prairies, milieu urbain, etc.) et les réseaux fluviaux, sont des informations clés pour les modèles basés sur les processus physiques.”

Tableau 5 : Formulaire suggéré pour choisir la meilleure méthode pour l'élaboration des scénarios climatiques

Question	Réponse	Commentaire
De quelles sources de données disposez-vous ?		
Quelles sont les problèmes clés pour accéder aux données existantes ?		
Quelle est la fiabilité de la modélisation climatique dans le domaine qui vous intéresse ?		
Quel est le degré de fiabilité pour les différentes variables (p. ex. température, précipitations, etc.) ?		
Quelles sont les principales contraintes autres que scientifiques ?		

2.2 Recenser les contraintes scientifiques

Comme nous l'avons expliqué plus haut, certaines des principales questions scientifiques que les gestionnaires de projet et les experts devraient prendre en considération pour décider de ce qu'il faut faire sont reprises ci-dessous.

- Disponibilité et résolution des données d'observation
- Taille de la région
- Horizon temporel (futurs périodes à l'étude)
- Application cible

La géographie physique d'une région, qui comprend la géomorphologie, l'hydrologie, l'écologie et la climatologie, doit aussi être prise en considération. Elle exercera une influence importante sur l'élaboration des scénarios climatiques, surtout en ce qui concerne leur résolution.

Le diagramme 5 représente la relation qualitative entre la géographie physique et la résolution des scénarios climatiques. Il constitue une aide visuelle pour les gestionnaires de projet et leur équipe afin qu'ils puissent mieux comprendre le lien entre la géographie physique d'une zone donnée et le niveau de résolution optimum (grossière ou fine) des scénarios climatiques. En d'autres termes, il explique comment faire coïncider la résolution des scénarios climatiques avec les caractéristiques physiques d'une zone donnée.

1^{ÈRE} ÉTAPE

ÉVALUER ET DÉFINIR LES BESOINS EN MATIÈRE D'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

2^{ÈME} ÉTAPE

RECENSER LES CONTRAINTES RÉGIONALES ET FORMULER UN PLAN RÉALISTE POUR L'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

3^{ÈME} ÉTAPE

COMPRENDRE LES INCERTITUDES POUR CRÉER UN ÉVENTAIL PROSPECTIF DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

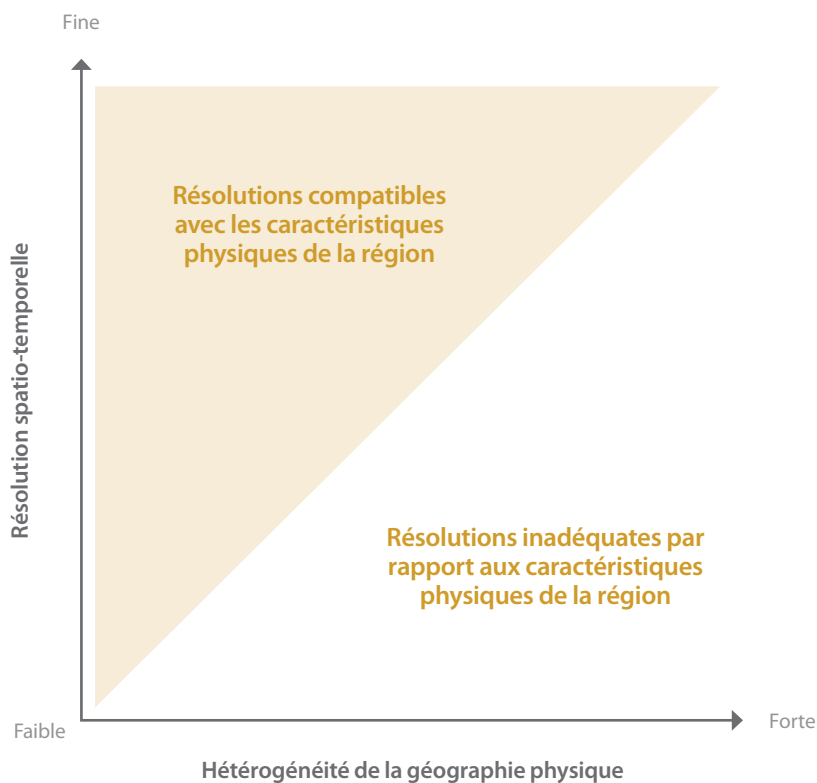
4^{ÈME} ÉTAPE

ÉLABORER ET DOCUMENTER LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

“On peut se servir du diagramme 6 pour cadrer les discussions sur les contraintes scientifiques ou autres auxquelles on est confronté pour l'élaboration de scénarios climatiques.”

Dans le diagramme 5, les résolutions spatio-temporelles compatibles avec les caractéristiques physiques d'une zone donnée sont identifiées par rapport à l'hétérogénéité de sa géographie physique. Pour simplifier les choses, la géographie physique d'une zone est caractérisée en termes d'hétérogénéité spatiale, puisque si celle-ci augmente, des scénarios à résolution plus fine deviennent nécessaires. Deux domaines sont repris dans le diagramme, l'un où les résolutions des scénarios climatiques sont compatibles avec les caractéristiques physiques de la région (zone ombrée) et l'autre où les résolutions ne conviennent pas (zone blanche). Même s'il ne donne qu'une compréhension qualitative élémentaire de la relation, ce diagramme constitue un cadre utile aux discussions que les gestionnaires de projet et experts auront sur les aspects scientifiques de l'élaboration de scénarios climatiques.

Diagramme 5 : Influence de la géographie physique (géomorphologie, hydrologie, écologie et climatologie) sur la résolution spatio-temporelle des scénarios climatiques



Note : La géographie physique d'une région est caractérisée en termes d'hétérogénéité spatiale des scénarios à résolution de plus en plus fine étant nécessaires à mesure que l'hétérogénéité augmente.

2.3 Recenser les contraintes non scientifiques

Outre l'impact des contraintes scientifiques (comme les résolutions spatio-temporelles) sur l'élaboration de scénarios climatiques, de multiples problèmes se posent qui ne sont pas de nature scientifique mais qui exercent quand même une influence. Ceux-ci ont été abordés lors de la première étape (problèmes de données, contraintes financières, main-d'œuvre, etc.). Les gestionnaires de projet devraient animer des échanges de vue avec leur équipe d'experts pour évaluer une multitude de méthodes, en tenant compte des ressources dont dispose le projet.

2.4 Évaluer l'ensemble des contraintes scientifiques et autres

Le diagramme 6 présente de façon schématique la relation entre la complexité des analyses, la résolution spatio-temporelle et les contraintes non scientifiques auxquelles on est confronté quand on élabore des scénarios climatiques. Nous entendons par « complexité des analyses » les caractéristiques de la méthode choisie pour l'élaboration de ces scénarios. Par exemple, une méthode relativement peu complexe consisterait en une analyse où les scénarios climatiques sont dérivés d'un seul MCG pour une seule réalisation (c'est-à-dire sans tenir compte des incertitudes dues aux variabilités climatiques internes – voir chapitre 3). Par contre, une analyse d'une grande complexité comprendra les sorties de nombreux MCG, avec de multiples réalisations pour chacun d'eux et l'emploi de plusieurs techniques de réduction d'échelle. En ce qui concerne la résolution spatio-temporelle, un cas à faible résolution produirait des scénarios ayant une résolution similaire aux sorties des MCG (p. ex. les sorties mensuelles pour une maille de 2° x 2°) et un cas à très haute résolution produira des scénarios climatiques avec résolution quotidienne à 1 km.

On peut se servir du diagramme 6 pour cadrer les discussions sur les contraintes scientifiques ou autres auxquelles on est confronté quand on élabore des scénarios climatiques. Ce diagramme illustre de façon qualitative le fait que la complexité potentielle des analyses et la résolution spatio-temporelle dépendent des contraintes non scientifiques du projet (relatives aux données, financières, scientifiques ou de main-d'œuvre). Plus ces contraintes sont importantes, plus la complexité potentielle et la résolution des analyses climatiques diminuent.

Le diagramme 6 illustre trois exemples hypothétiques : 1) aucune contrainte, 2) contraintes moyennes, 3) contraintes importantes. Dans l'espace résolution-complexité du diagramme, les trois exemples sont associés à une méthode d'élaboration de scénarios climatiques correspondant à chaque niveau de contrainte. Cela montre l'interaction des contraintes scientifiques et du choix des résolutions spatio-temporelles ainsi que la complexité des décisions à prendre et des processus d'analyse. En annexe au présent guide, on trouvera trois études de cas sur l'élaboration de scénarios climatiques pour illustrer combien le diagramme 6 correspond à des problèmes bien réels.

1ÈRE ÉTAPE

ÉVALUER ET DÉFINIR LES BESOINS EN MATIÈRE D'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

2ÈME ÉTAPE

RECENSER LES CONTRAINTES RÉGIONALES ET FORMULER UN PLAN RÉALISTE POUR L'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

3ÈME ÉTAPE

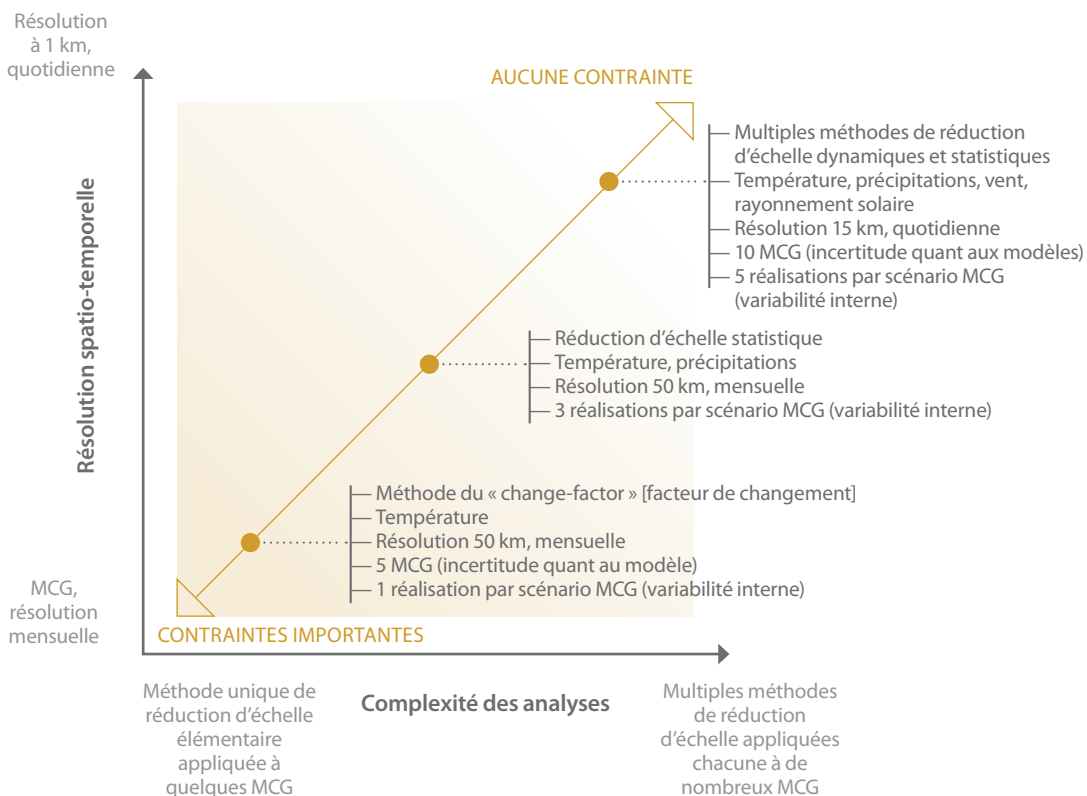
COMPRENDRE LES INCERTITUDES POUR CRÉER UN ÉVENTAIL PROSPECTIF DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

4ÈME ÉTAPE

ÉLABORER ET DOCUMENTER LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

Diagramme 6 : Influences réciproques des contraintes non scientifiques (relatives aux données, financières, scientifiques ou de main-d'œuvre), de la complexité des analyses et de la résolution spatio-temporelle lors de l'élaboration de scénarios climatiques

“On ne pourra trouver la méthode optimale pour l'élaboration de scénarios climatiques que par des examens itératifs sur les contraintes scientifiques ou autres, comme le montrent les diagrammes 5 et 6, qui auront lieu au cours d'un dialogue continu et holistique entre les gestionnaires de projet et les experts.”



Résumé

On ne pourra trouver la méthode optimale pour l'élaboration de scénarios climatiques qu'après des examens itératifs des contraintes scientifiques ou autres, comme le montrent les diagrammes 5 et 6, qui auront lieu au cours d'un dialogue continu et holistique entre les gestionnaires de projet et les experts. Ce dialogue devrait déboucher sur la production d'une série de scénarios climatiques plausibles à des résolutions spatiales et temporelles spécifiques répondant au mieux aux besoins des utilisateurs finaux tout en tenant compte des obstacles réels auxquels on est confronté lors de l'élaboration de scénarios climatiques. Une description claire des hypothèses et des incertitudes associées à l'éventail de prévisions devrait accompagner tout scénario climatique.

Les informations présentées aux chapitres 1 et 2 permettront aux équipes chargées de l'élaboration de scénarios climatiques d'utiliser pleinement les contenus des pages qui suivent. Avant de choisir une technique de réduction d'échelle, il est important que les équipes comprennent les incertitudes qui font partie intégrante de l'élaboration de scénarios climatiques et leurs liens avec différentes techniques de réduction d'échelle. Ce sera le sujet du chapitre suivant.



Chapitre 3

Incertitudes et élaboration de scénarios climatiques

Comprendre les incertitudes pour créer un éventail prospectif de scénarios climatiques (étape 3)

- Examiner les principales sources d'incertitude dans la modélisation des prévisions (étape 3.1)
- Sélectionner les scénarios d'émission pour créer un éventail prospectif de scénarios climatiques (étape 3.2)
- Envisager d'autres incertitudes quand on crée un éventail prospectif de scénarios climatiques (étape 3.3)
- Prendre des décisions informées en dépit des incertitudes des scénarios climatiques (étape 3.4)

3

Comprendre les incertitudes pour créer un éventail prospectif de scénarios climatiques

Introduction

Comprendre les incertitudes associées aux scénarios climatiques constitue un élément important du processus d'élaboration. Ce savoir s'avérera précieux pour les gestionnaires de projet et leur équipe d'experts autant que pour les utilisateurs finaux. Les premiers, qui sont chargés de l'élaboration des scénarios climatiques, en bénéficieront, car il leur permettra de faire des choix informés quant au modèle et à la technique à adopter pour créer l'éventail prospectif le plus robuste et le plus efficace possible en vue de la formulation de SDRCSE et d'autres évaluations. Ils devraient donc consulter des scientifiques pour discuter des méthodes visant à quantifier l'incertitude dans les scénarios climatiques, afin d'évaluer le choix des méthodes et informer les utilisateurs finaux. La confiance ou la fiabilité associées aux scénarios climatiques constituent des informations clés, surtout pour les utilisateurs finaux des données. On permettra à ceux-ci, en leur communiquant des informations sur les incertitudes, d'acquérir des informations climatiques plus solides pour leurs études de vulnérabilité et d'impact.

Le présent chapitre passe en revue les principales sources d'incertitude qui peuvent se présenter lors de l'élaboration de scénarios climatiques. Il aborde ensuite l'interaction entre la complexité des analyses (notamment l'évaluation des incertitudes) et la résolution des scénarios climatiques. Il explique aussi comment les décideurs peuvent utiliser les scénarios climatiques pour prendre des décisions informées en dépit des incertitudes associées aux modèles climatiques : incertitude quant aux émissions de gaz à effet de serre (GES), incertitude due à la modélisation et variabilité interne du système climatique. Il serait utile que les gestionnaires de projet et leur équipe comprennent l'éventail des incertitudes associées à l'élaboration de scénarios climatiques avant de choisir une méthode (modèle, technique de réduction d'échelle, etc.). Le contenu et les diagrammes qu'on trouvera dans les pages qui suivent montrent comment les différentes combinaisons d'incertitudes sont liées à la complexité des analyses et au choix des modèles et techniques qu'on utilisera pour l'élaboration de scénarios climatiques.

“Il serait utile que les gestionnaires de projet et leur équipe comprennent l'éventail des incertitudes associées à l'élaboration de scénarios climatiques avant de choisir une méthode (modèle, technique de réduction d'échelle, etc.)”

3.1 Passer en revue les principales sources d'incertitude dans les prévisions des modèles

En général, les incertitudes liées aux prévisions climatiques modélisées proviennent de trois sources distinctes : incertitudes quant aux futures émissions de GES, incertitudes dues à la modélisation et variabilité interne du système climatique.

Incertitudes quant aux futures émissions de GES : Cette source d'incertitude est sans doute la plus connue des gestionnaires de projet et des décideurs. Il s'agit des incertitudes relatives à certaines hypothèses clés sur les relations entre populations futures, développement socio-économique et avancées techniques pouvant influencer sur les émissions de gaz à effet de serre.

Incertitudes dues à la modélisation : Il arrive que les modèles prédisent différentes modifications climatiques pour les mêmes forçages ; ces différences entre modèles sont dues aux représentations mathématiques variables du système terrestre.

Variabilité interne du système climatique : Cette incertitude a à voir avec les fluctuations naturelles du climat, indépendamment des forçages radiatifs du système terrestre. Les fluctuations sont importantes pour les gestionnaires de projet, comme l'ont montré Hawkins et Sutton (2009), car elles pourraient inverser les tendances climatiques à long terme – et cela, pour une dizaine d'années.

Pour que les gestionnaires de projet et les décideurs comprennent bien ces sources d'incertitude, il est utile de déterminer où chaque source fait son apparition lorsqu'on élabore des scénarios climatiques. Le diagramme 7 présente les principaux éléments qui entrent dans l'élaboration de scénarios climatiques (GES, changement climatique mondial, détails régionaux, impacts) ainsi que les sources d'incertitude qui leur sont associées (voir Mearns et al., 2003, Quintana Segui et al., 2009).

1^{ÈRE} ÉTAPE

ÉVALUER ET DÉFINIR LES BESOINS EN MATIÈRE D'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

2^{ÈRE} ÉTAPE

RECENSER LES CONTRAINTES RÉGIONALES ET FORMULER UN PLAN RÉALISTE POUR L'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

3^{ÈRE} ÉTAPE

COMPRENDRE LES INCERTITUDES POUR CRÉER UN ÉVENTAIL PROSPECTIF DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

4^{ÈRE} ÉTAPE

ÉLABORER ET DOCUMENTER LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

DÉFINITION

Forçage radiatif

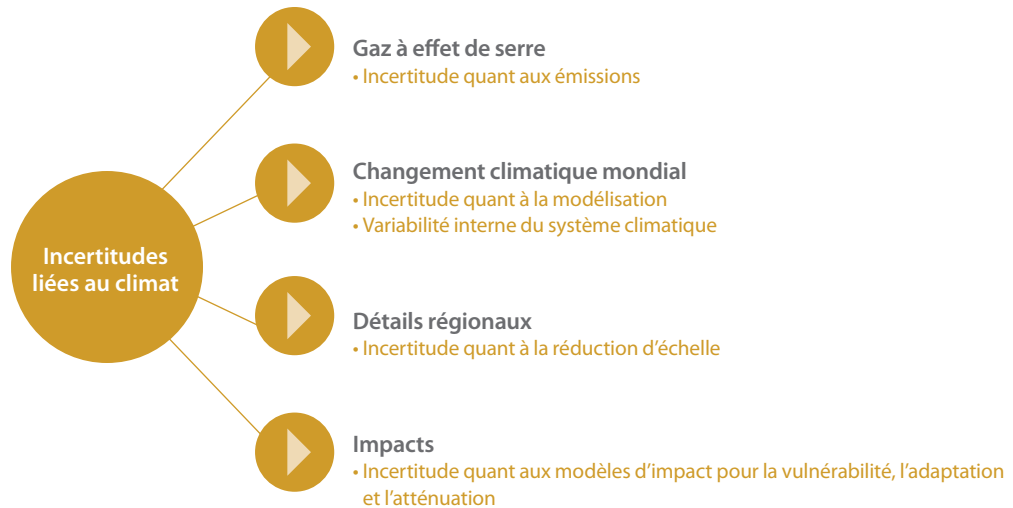
Le forçage radiatif fait référence à l'influence exercée par un facteur qui entraîne un changement d'équilibre entre l'énergie qui pénètre dans le système terrestre et celle qui en sort.

DÉFINITION

Scénario RSSE A2

Le canevas A2 décrit un monde très hétérogène. Le thème sous-jacent en est l'autosuffisance et la préservation des identités locales. Les régimes de fécondité entre régions convergent très lentement, avec pour résultat un accroissement continu de la population mondiale. Le développement économique a une orientation principalement régionale, et la croissance économique par habitant et l'évolution technologique sont plus fragmentées et plus lentes que dans les autres canevas.

Diagramme 7 : Principales sources d'incertitudes à prendre en compte lors de l'élaboration de scénarios climatiques



Note : Basé sur le concept de « cascade d'incertitudes » chez Mearns et al. (2003) et le diagramme 2 de Lu (2007). Celui-ci détaille les principales sources d'incertitude à prendre en compte quand on élabore des scénarios climatiques. Les gestionnaires de projet doivent évaluer chacune de ces sources d'incertitude et les gérer en créant un éventail prospectif de scénarios climatiques.

“La première tâche, dans l'élaboration d'un éventail prospectif de scénarios climatiques, est de prendre en considération des scénarios d'émissions tant élevées que faibles.”

Discussion sur les principales sources d'incertitudes à prendre en compte quand on élabore des scénarios climatiques

Gaz à effet de serre : La première source d'incertitude dans le diagramme 7 comprend la sélection de scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. Comme ni l'importance ni le rythme des émissions futures ne sont connus avec précision, les gestionnaires de projet doivent reconnaître que les émissions de GES constituent une source d'incertitude majeure.

Changement climatique mondial : La source d'incertitude suivante apparaît au moment de prédire le changement climatique mondial. Elle tient aux différences de modélisation ainsi qu'à la variabilité interne du système climatique.

Détails régionaux et modèle d'impact : L'étude des phénomènes de sous-échelle et les modèles d'impact constituent deux sources supplémentaires d'incertitude. L'incertitude quant à la réduction d'échelle se manifeste lorsque des techniques différentes (appliquées aux mêmes données MCG) produisent des prévisions climatiques différentes. Des études scientifiques ont démontré cette incertitude en comparant plusieurs techniques de réduction d'échelle (voir Wilby and Harris, 2006), quoiqu'elle reste encore mal comprise. L'incertitude quant au modèle d'impact est due à la rareté des connaissances sur la façon dont le changement climatique affecte les divers secteurs de la société. C'est l'incertitude quant à la réduction d'échelle qui, des deux, a davantage sa place dans le présent manuel, mais les gestionnaires de projet doivent savoir que les utilisateurs finaux des scénarios climatiques pourraient avoir à tenir compte de l'incertitude quant au modèle d'impact, surtout pour les stratégies de développement résilient au climat et sobre en émissions.

Même si ces différentes sources d'incertitudes peuvent paraître intimidantes (et elles le sont), le cadre proposé aidera les gestionnaires de projet et les experts scientifiques à gérer celles qui se manifestent lors de l'élaboration de scénarios climatiques. L'objectif est de produire un éventail prospectif de scénarios climatiques qui inclura la gamme probable des conditions climatiques futures pour une zone donnée. Nous expliquons, au cours des étapes suivantes, que les gestionnaires de projet et les experts scientifiques peuvent faire face à ces incertitudes lorsqu'ils élaborent des scénarios climatiques.

3.2 Sélectionner des scénarios d'émissions pour créer un éventail prospectif de scénarios climatiques

La première tâche, dans l'élaboration d'un éventail prospectif de scénarios climatiques, c'est de prendre en considération des scénarios d'émissions de GES tant élevées que faibles. Cette méthode permet de définir une série initiale de limites pour les scénarios climatiques et devrait simplifier les échanges de vue entre gestionnaires de projet et experts scientifiques sur les incertitudes quant aux émissions. Une autre approche consiste à envisager un scénario qui se situe entre les deux, mais il n'est pas certain qu'il soit réaliste d'espérer en trouver un. Cette approche risque aussi d'empêcher la création d'un éventail de scénarios climatiques visant à traiter des incertitudes quant aux émissions, alors que c'est l'objectif de cette étape.

Les scénarios d'émissions de GES les plus accessibles sont ceux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) qui a publié un Rapport spécial sur les scénarios d'émissions (RSSE) (Navikovic et al., 2000), lesquels ont servi pour les analyses du 4e Rapport d'évaluation du GIEC (AR4). Bien que ces scénarios d'émissions soient très largement utilisés, des études ont été entreprises pour les remplacer. Il s'agit là d'une initiative importante vu qu'ils ont plus de dix ans.

Si les gestionnaires de projet utilisent des données provenant du modèle climatique AR4, ils peuvent élargir leur éventail en prenant en compte les scénarios RSSE A2 et B1. Ceux-ci correspondent à une fourchette d'environ 540 à 970 parties par million de dioxyde de carbone dans l'atmosphère en 2100 (GIEC, 2001). On peut leur substituer d'autres scénarios RSSE en fonction des caractéristiques du projet.

Le 5e Rapport d'évaluation du GIEC (AR5) propose une nouvelle méthode pour traiter les incertitudes, celle des profils représentatifs d'évolution des concentrations (dits RCP pour *Representative Concentration Pathways*). Bien qu'il n'entre pas dans le cadre du présent manuel de la décrire, nous la citons ici car elle peut être intéressante pour les analyses fondées sur l'AR5. Pour en savoir plus sur les RCP, lire Moss et al. (2010). Notons que même s'ils ne constituent ni des projections ni des limites pour les émissions potentielles, les RCP peuvent être utilisés pour élaborer un éventail prospectif de scénarios climatiques (tout comme les scénarios RSSE), car ils représentent toute la gamme de forçages radiatifs que l'on trouve dans la littérature scientifique (ce, au moment de leur sélection). Comme l'AR5 est un) en cours, les gestionnaires de projet et les experts scientifiques devraient se tenir au courant des derniers développements lorsqu'ils sélectionnent leurs scénarios relatifs aux fourchettes d'émissions

1ÈRE ÉTAPE

ÉVALUER ET DÉFINIR LES BESOINS EN MATIÈRE D'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

2ÈME ÉTAPE

RECENSER LES CONTRAINTES RÉGIONALES ET FORMULER UN PLAN RÉALISTE POUR L'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

3ÈME ÉTAPE

COMPRENDRE LES INCERTITUDES POUR CRÉER UN ÉVENTAIL PROSPECTIF DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

4ÈME ÉTAPE

ÉLABORER ET DOCUMENTER LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

“En principe, il est important de tenir compte de toutes les sources d’incertitude (Quintana Segui et al., 2009), mais la question de savoir comment s’y prendre est inséparable d’autres décisions fondamentales (comme de définir la résolution des scénarios ou choisir les techniques de réduction d’échelle).”

3.3 Envisager d’autres incertitudes quand on crée un éventail prospectif de scénarios climatiques

Contrairement à la méthode simple présentée à l’étape précédente pour les incertitudes quant aux émissions, d’autres sources sont plus difficiles à aborder. Il est généralement important de tenir compte de toutes les sources d’incertitude (Quintana Segui et al. 2009), mais la question de savoir comment s’y prendre est inséparable d’autres décisions fondamentales (comme de définir la résolution des scénarios ou choisir les techniques de réduction d’échelle). Ces dernières dépendent des contraintes non scientifiques qui pèsent sur l’élaboration de scénarios climatiques. Deux exemples hypothétiques d’élaboration de scénarios climatiques illustrent les problèmes auxquels les gestionnaires de projet et les experts sont confrontés lorsqu’ils doivent tenir compte des sources d’incertitude (encadré 4). Les diagrammes 8a et 8b en donnent une représentation graphique.

Encadré 4 : Exemples hypothétiques d’élaboration de scénarios climatiques dans différents cas de contraintes

Nous allons examiner deux situations extrêmes en partant du diagramme 6. Dans le premier cas, l’élaboration de scénarios climatiques ne connaît aucune contrainte financière, informatique, de données ou de main-d’œuvre. Dans le deuxième, elle est au contraire sérieusement limitée par ces types de contraintes. Les diagrammes 8a et 8b montrent la gamme des possibilités du point de vue de la complexité des analyses et des résolutions spatio-temporelles relatives à l’un et l’autre cas.

Même si les gestionnaires de projet peuvent s’attendre à ce que l’élaboration de scénarios climatiques se déroule sans problème dans le cas ne connaissant aucune contrainte (diagramme 8a), des échanges de vue approfondis restent nécessaires pour trouver l’équilibre optimal entre complexité de l’analyse et résolution du scénario. Dans le diagramme 8a, la partie ombrée indique les « meilleures » options pour l’élaboration de scénarios climatiques. Il est clair qu’il n’y a pas une seule et unique approche optimale, même dans le cas ne connaissant aucune contrainte. Les gestionnaires de projet auront toujours une multitude d’options, surtout pour rendre compte des sources d’incertitude, dont ils devront débattre avec les experts scientifiques.

Lorsque les contraintes sont importantes (diagramme 8b), les gestionnaires de projet devront se contenter d’une résolution grossière pour leurs scénarios et de techniques de réduction d’échelle de base. L’une des limitations les plus sérieuses tient à la disponibilité des données d’observation. Sans ces dernières, la plupart des techniques de réduction d’échelle sont inutilisables et il faudra se satisfaire de sorties MCG sans grand raffinement pour élaborer les scénarios climatiques. Il est malgré tout possible d’analyser les sorties MCG en dépit de contraintes hypothétiquement importantes, car on trouvera facilement les données dans les archives de l’AR4 du GIEC. On pourra d’ailleurs, option qui peut s’avérer utile dans ce cas, utiliser les prévisions que le GIEC a déjà préparées pour les différentes régions (voir Christensen et al., 2007).

DÉFINITION

Scénario RSSE B1

Le canevas B1 décrit un monde convergent avec la population mondiale culminant au milieu du siècle et diminuant ensuite, comme dans le canevas A1, mais en supposant des changements rapides dans les structures économiques vers une économie de services et d’information. Cette évolution s’accompagne de réductions dans l’intensité des matériaux et de l’introduction de technologies propres et économes en ressources. L’accent est placé sur des solutions mondiales orientées vers une viabilité économique, sociale et environnementale, y compris une meilleure équité, mais sans initiatives supplémentaires pour gérer le climat.

1^{ÈRE} ÉTAPE

ÉVALUER ET DÉFINIR LES BESOINS EN MATIÈRE D'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

2^{ÈME} ÉTAPE

RECENSER LES CONTRAINTES RÉGIONALES ET FORMULER UN PLAN RÉALISTE POUR L'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

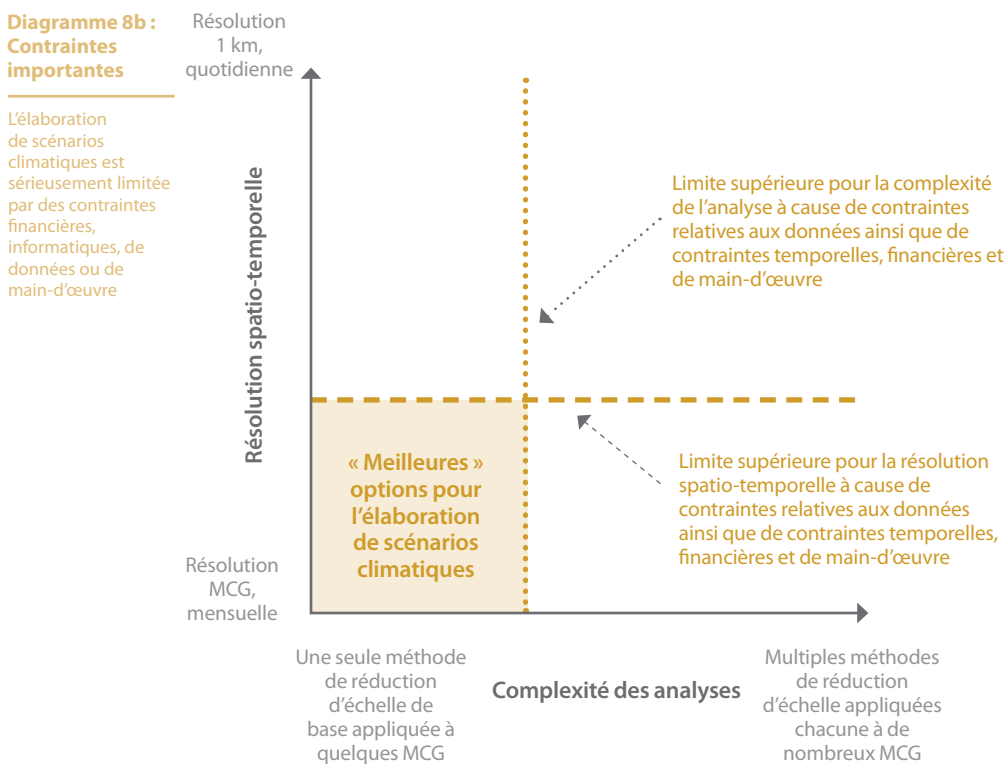
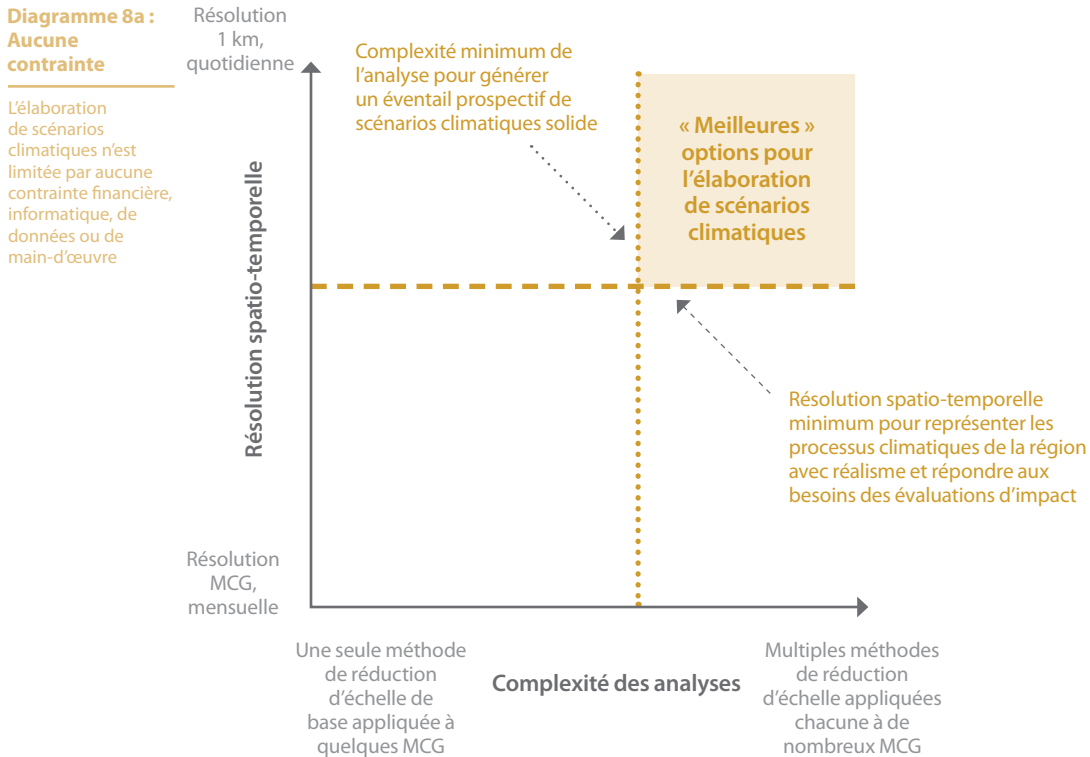
3^{ÈME} ÉTAPE

COMPRENDRE LES INCERTITUDES POUR CRÉER UN ÉVENTAIL PROSPECTIF DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

4^{ÈME} ÉTAPE

ÉLABORER ET DOCUMENTER LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

Diagramme 8: Relation entre la complexité de l'analyse et la résolution pour deux cas hypothétiques en termes de contraintes financières, informatiques, de données ou de main-d'œuvre pour l'élaboration de scénarios climatiques



3.4 Prendre des décisions informées en dépit des incertitudes dans les scénarios climatiques

Les diverses sources d'incertitude sont l'une des principales raisons pour lesquelles il n'y a pas une seule et unique option pour l'élaboration de scénarios climatiques, même dans les cas hypothétiques décrits plus haut (Encadré 4). Les gestionnaires de projet auront souvent de nombreuses options pour rendre compte des incertitudes. Malheureusement, on ne trouve pas, dans la littérature scientifique, de méthodologie établie pour décider jusqu'où aller dans l'analyse des incertitudes. D'ailleurs, dans leur majorité, les initiatives scientifiques d'élaboration de scénarios climatiques à haute résolution ne prennent pas pleinement en compte toutes les sources d'incertitude. En fin de compte, pour arriver à une décision, les gestionnaires de projet et leur équipe devront se fonder sur les facteurs que le présent manuel a mentionnés comme résultant des étapes 1 et 2 et sur un examen des incertitudes répertoriées dans le présent chapitre. Un dialogue ouvert et permanent entre les membres de l'équipe aidera toutes les parties à gérer les incertitudes avec efficacité et à guider l'élaboration des scénarios.

Résumé

Dans le contexte de la conception des politiques, les échanges de vue relatifs aux incertitudes sont cruciaux, car ils apportent aux gestionnaires de projet et aux décideurs des éclaircissements sur les meilleures informations existantes concernant les scénarios climatiques. Ils permettent de caractériser, et dans une certaine mesure de quantifier, les incertitudes scientifiques. Ces informations supplémentaires clarifieront les implications potentielles des incertitudes sur les résultats qui concernent les décideurs (voir McMichael et al. 2003).

La difficulté d'arriver à une décision alors que des incertitudes persistent n'est pas propre au changement climatique. On prend chaque jour des décisions malgré les incertitudes sur diverses questions. Les responsables politiques peuvent très bien prendre des mesures en prévision des changements climatiques en dépit des incertitudes. McMichael et al. (2003) signalent qu'il existe de nombreux critères pour décider des politiques climatiques, notamment le principe de précaution et l'analyse coûts-bénéfices. Il n'entre pas dans le cadre du présent manuel de discuter de ces méthodes et il suffit d'en retenir l'élément clé : il est essentiel de comprendre l'incertitude et ses nombreuses sources, sans quoi les scénarios climatiques qu'on aura élaborés risquent d'être trompeurs. En fin de compte, les scénarios climatiques doivent permettre aux gestionnaires de projet et aux décideurs de prendre des décisions informées sur les impacts probables du changement climatique.

Au chapitre 4, on trouvera des informations sur l'éventail des techniques de réduction d'échelle qui existent, pour que les gestionnaires de projet et leur équipe d'experts puissent sélectionner celles qui leur conviennent en connaissance de cause. Comme la modélisation climatique (aussi bien mondiale que régionale) constitue un domaine de recherche très actif, les gestionnaires de projet doivent faire preuve de prudence quand ils utilisent et analysent les résultats d'une étude des phénomènes de sous-échelle, quelle qu'elle soit.

“Un dialogue ouvert et permanent entre les membres de l'équipe aidera toutes les parties à gérer les incertitudes avec efficacité et à guider l'élaboration des scénarios.”

Chapitre 4

Méthodes d'élaboration des scénarios climatiques

Élaborer et documenter les scénarios climatiques (Étape 4)

- Passer en revue les procédures générales d'élaboration des scénarios climatiques (étape 4.1)
- Choisir un modèle de changement climatique (étape 4.2)
- Documenter le processus d'élaboration des scénarios climatiques (étape 4.3)

4

Élaborer et documenter les scénarios climatiques

Introduction

Les conseils donnés aux gestionnaires de projet et aux décideurs dans les chapitres précédents concernaient la façon de recenser les besoins et les contraintes régionales, de définir une stratégie réaliste fondée sur les contraintes existantes et de gérer les incertitudes relatives à l'élaboration de scénarios climatiques. Le présent chapitre offre un aperçu des procédures générales d'élaboration des scénarios climatiques et des principales options qui existent pour créer des scénarios climatiques à haute résolution. Il a pour objet d'aider les gestionnaires de projet lorsqu'ils entameront des discussions avec les experts pour étudier les alternatives possibles en ce domaine. On ne trouvera pas ici une description scientifique approfondie des techniques de réduction d'échelle. Les informations que nous donnons constituent une simple introduction aux principales techniques que le lecteur pourra décider d'utiliser lors de l'élaboration de scénarios climatiques. Avec ces techniques de réduction d'échelle, on obtient des détails à des résolutions spatio-temporelles plus fines que les modèles climatiques mondiaux, ce qui peut s'avérer utile pour les planificateurs aux niveaux local et régional. Le présent chapitre vise à permettre aux gestionnaires de projet de collaborer avec les spécialistes du climat pendant l'élaboration de scénarios climatiques. On trouvera davantage de détails scientifiques sur les techniques de réduction d'échelle, avec leurs références, au tableau 1.

“Avec les techniques de réduction d'échelle, on obtient des détails à des résolutions spatio-temporelles plus fines que les modèles climatiques mondiaux, ce qui peut s'avérer utile pour les planificateurs aux niveaux local et régional.”

4.1 Passer en revue les procédures générales pour l'élaboration de scénarios climatiques

La première étape, quand on crée des scénarios relatifs au changement climatique, est de prendre connaissance des procédures générales qui président à leur élaboration et de les comprendre. On trouvera ci-dessous un résumé de ces procédures qui situe dans leur contexte les techniques de réduction d'échelle en vue de produire des scénarios climatiques à haute résolution et qui donne aux gestionnaires de projet une bonne compréhension du processus d'élaboration (voir Diaz-Neto and Wilby, 2005, Lu, 2006).

Procédures pour l'élaboration de scénarios climatiques

Procédure 1 : Créer un *climat de référence* couvrant une période donnée pour une région géographique précise (nommé climat de référence observé). Il doit être établi à des résolutions spatio-temporelles donnant suffisamment d'indications pour pouvoir produire les futurs scénarios climatiques. Autrement dit, si des scénarios à haute résolution sont nécessaires, les données climatiques de référence doivent avoir des résolutions similaires.

Procédure 2 : Calculer un *changement modélisé* entre le climat actuel et le climat futur, en se servant des MCG (ou de toute autre méthode).

Procédure 3 : Construire un *scénario de climat futur* en ajoutant le changement modélisé au climat de référence.

4.2 Choisir un modèle de changement climatique

La procédure générale exposée à l'étape 4.1 précise que les modèles climatiques sont en général utilisés pour obtenir des informations sur les changements climatiques. Bien que les MCG constituent la source principale de scénarios relatifs aux changements climatiques, il existe d'autres options. Il y a des méthodes plus simples pour les prévisions climatiques (la méthode analogique temporelle ou spatiale et la méthode arbitraire) que les gestionnaires de projet et les décideurs peuvent également envisager d'adopter. On trouvera une brève description de ces méthodes dans les tableaux 6 et 7 avant l'introduction de techniques de réduction d'échelle plus complexes. Nous avons adopté ce format afin de présenter les informations de façon claire et concise, montrer les avantages et les inconvénients de chaque méthode et donner un exemple pratique pour illustrer la technique de base.

Méthode analogique et méthode arbitraire

En ce qui concerne la résolution des scénarios climatiques, la méthode analogique et celle du changement arbitraire décrites ci-dessous diffèrent des scénarios MCG. Dans leur cas, la résolution dépend des données d'observation utilisées pour construire le climat de référence. C'est pourquoi si les données d'observation et le climat de référence qui en résulte sont à une échelle grossière, les gestionnaires de projet peuvent envisager d'adopter une technique de réduction d'échelle plutôt qu'une des méthodes de base, afin de reconstituer un climat de référence à résolution fine. Les commentaires sur les techniques de réduction d'échelle qu'on trouvera dans le présent chapitre concernent uniquement leur utilisation dans le cadre de scénarios de changements climatiques fondés sur des MCG.

1^{ÈRE} ÉTAPE

ÉVALUER ET DÉFINIR LES BESOINS EN MATIÈRE D'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

2^{ÈRE} ÉTAPE

RECENSER LES CONTRAINTES RÉGIONALES ET FORMULER UN PLAN RÉALISTE POUR L'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

3^{ÈRE} ÉTAPE

COMPRENDRE LES INCERTITUDES POUR CRÉER UN ÉVENTAIL PROSPECTIF DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

4^{ÈRE} ÉTAPE

ÉLABORER ET DOCUMENTER LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

Tableau 6 : Méthode analogique temporelle ou spatiale

La méthode analogique temporelle ou spatiale implique la construction d'analogues temporels ou spatiaux à partir de données climatiques historiques. Les données utilisées pour les analogues spatiaux ou temporels proviennent soit d'une autre époque soit d'un autre lieu (Wilby et al., 2004).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ● Accès relativement aisé aux données climatiques historiques ● Analyses simples relatives aux changements climatiques 	<ul style="list-style-type: none"> ● Il est difficile de trouver des données provenant d'un autre lieu qui ressemblent suffisamment à celles du site étudié. ● Les analogues ne donnent pas toujours une représentation réaliste du climat futur. ● Les données climatiques disponibles sont généralement assez rares.
Exemple	
<p>Prévision des températures estivales dans un lieu donné : On obtient des données sur la température dans un lieu donné, pendant les mois d'été, pour une période de temps spécifique (p. ex. l'an dernier), en usant de la méthode spatiale ou temporelle. On formule alors des hypothèses sur l'avenir en se fondant sur les conditions passées. Une telle méthode postule, par exemple, que si un été écoulé a connu des températures particulièrement élevées dans un lieu donné et qu'on s'attend à ce que ce type de saison devienne plus fréquent (p. ex. en se fondant sur les tendances tirées d'observations ou d'une modélisation), on peut alors augmenter la fréquence d'un tel événement pour obtenir une approximation des conditions climatiques futures.</p>	
Commentaires	
<p>Les résultats obtenus ainsi ne seront pas toujours des plus exacts. Les gestionnaires de projet et leur équipe devraient se demander si des scénarios climatiques élaborés avec des techniques de réduction d'échelle plus détaillées ne seraient pas plus fiables. Ils devraient aussi prendre en compte le coût d'analyses plus détaillées et les avantages qu'elles présentent par rapport à cette méthode-ci.</p>	

“Il y a des méthodes plus simples pour les prévisions climatiques (la méthode analogique temporelle ou spatiale et l'approche arbitraire) que les gestionnaires de projet et les décideurs peuvent également envisager d'adopter.”

Tableau 7 : Méthode des changements arbitraires

<p>La méthode des changements arbitraires impose des changements aléatoires, à intervalles réguliers, à diverses variables du climat de référence (p. ex. température et précipitations), ce qui dispense de recourir à des techniques plus compliquées pour les scénarios climatiques (voir Lu, 2006).</p>	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ● L'élaboration de scénarios climatiques demande un minimum d'efforts (sortie MCG, techniques de réduction d'échelle et analyses d'incertitude). ● Libère du temps pour la modélisation et l'évaluation de la vulnérabilité d'une région ainsi que pour les stratégies d'adaptation et d'atténuation, qui sont importantes pour les SDRCSE. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Les changements attribués au climat de référence sont arbitraires ; il est impossible d'assigner des probabilités aux différents changements climatiques supposés.
Exemple	
<p>Élaboration de scénarios climatiques pour le secteur agricole : Si l'utilisateur final du scénario climatique s'occupe du secteur agricole, on peut introduire dans la modélisation des cultures des augmentations de température de 1 °C, 2 °C et 3 °C, ainsi que des changements dans le régime des précipitations de ± 5 % et ± 10 %. Il s'agit essentiellement d'une analyse de sensibilité pour comprendre la réponse d'un secteur donné à des changements progressifs du climat (y compris le repérage des non-linéarités et des seuils critiques).</p>	
Commentaires	
<p>Les résultats obtenus ainsi ne seront pas toujours des plus exacts. Les gestionnaires de projet et leur équipe devraient se demander si des scénarios climatiques élaborés avec des techniques de réduction d'échelle plus détaillées ne seraient pas plus fiables. Ils devraient aussi prendre en compte le coût d'analyses plus détaillées et les avantages qu'elles présentent par rapport à cette méthode-ci.</p>	

1^{ÈRE} ÉTAPE

ÉVALUER ET DÉFINIR LES BESOINS EN MATIÈRE D'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

2^{ÈRE} ÉTAPE

RECENSER LES CONTRAINTES RÉGIONALES ET FORMULER UN PLAN RÉALISTE POUR L'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

3^{ÈRE} ÉTAPE

COMPRENDRE LES INCERTITUDES POUR CRÉER UN ÉVENTAIL PROSPECTIF DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

4^{ÈRE} ÉTAPE

ÉLABORER ET DOCUMENTER LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

DÉFINITION

Méthode des changements arbitraires

La méthode des changements arbitraires est une façon simple de faire des projections en matière de changement climatique. Elle impose des changements spécifiques, à intervalles réguliers, à différentes variables du climat de référence (p. ex. températures et précipitations), ce qui dispense de recourir à des techniques plus compliquées pour les scénarios climatiques.

Techniques de réduction d'échelle pour scénarios climatiques à résolution fine

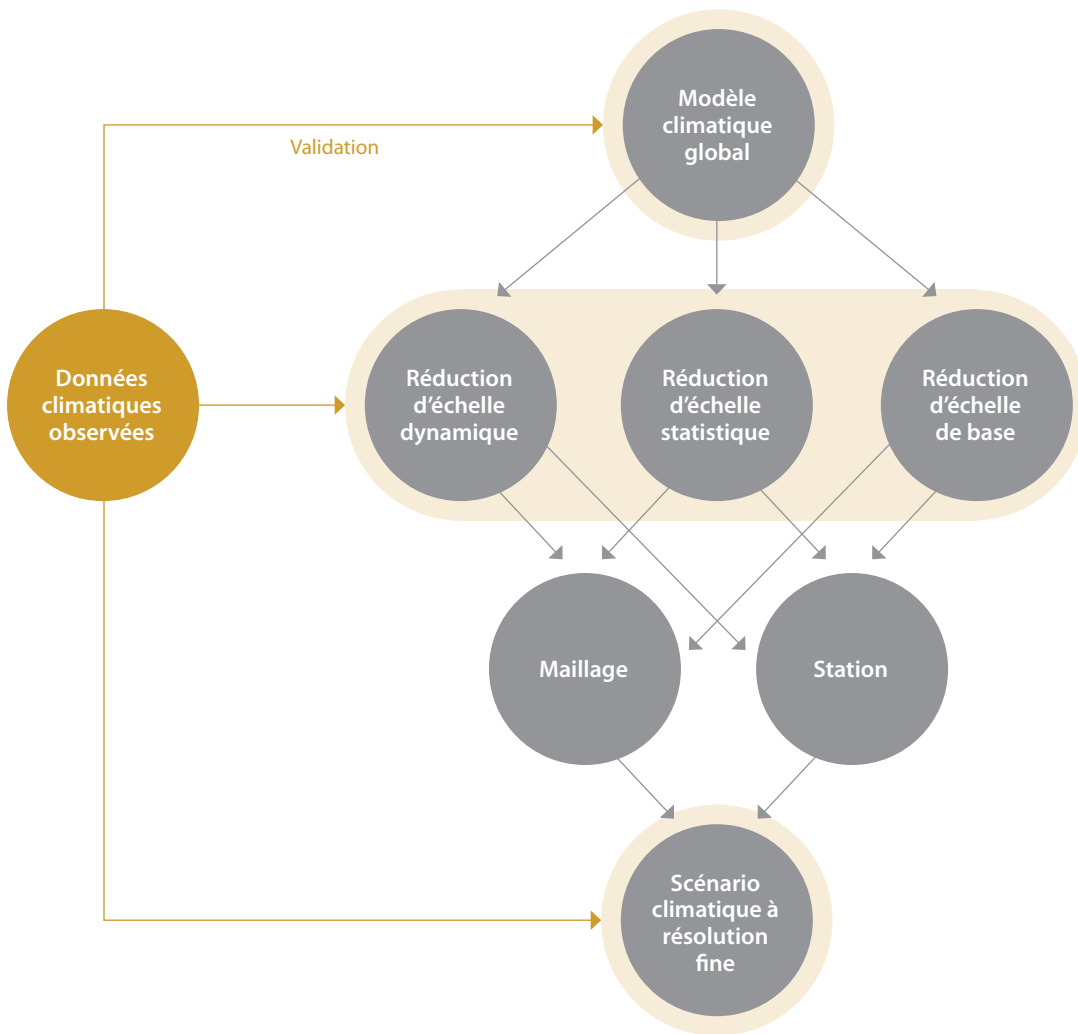
En général, on utilise les techniques de réduction d'échelle pour coupler des informations climatiques insuffisamment fines avec des données à résolution plus haute afin d'obtenir des projections des variables climatiques à une résolution plus fine. La plupart des techniques combinent des données d'observation à haute résolution (p. ex. observations climatiques historiques, topographie) avec des prévisions de modèles climatiques. On peut classer les techniques de réduction d'échelle en trois grandes catégories :

- Réductions d'échelle de base
- Réductions d'échelle dynamiques
- Réductions d'échelle statistiques

Le diagramme 9 montre la relation entre ces trois catégories d'une part et les sorties MCG et les données d'observation d'autre part, dans le cadre du processus d'élaboration de scénarios climatiques. Comme on le verra, les données fondées sur l'observation sont cruciales pour toutes les techniques de réduction d'échelle.

“En général, on utilise les techniques de réduction d'échelle pour coupler des informations climatiques insuffisamment fines avec d'autres données à résolution plus haute afin d'obtenir des prévisions des variables climatiques à une résolution plus haute.”

Diagramme 9 : Diagramme schématique des trois principales techniques de réduction d'échelle dans le cadre de l'élaboration de scénarios climatiques



Note : Basé sur le diagramme 1 de Ziervogel and Zेमoglio (2009).

DÉFINITION

Méthodes simples de réduction d'échelle

Il existe de nombreuses méthodes de réduction d'échelle. Parmi les plus répandues, citons la méthode dite des facteurs de changement et la méthode « non intelligente ». La première applique directement des changements climatiques dérivés des MCG à un climat de référence. La seconde effectue une simple extrapolation spatiale entre les points centraux des mailles MCG pour obtenir des estimations aux points intermédiaires désirés correspondant à ceux qu'on trouverait dans une climatologie de référence à résolution plus haute.

Méthodes simples de réduction d'échelle

On peut combiner les trois types de techniques pour améliorer et optimiser l'élaboration de scénarios climatiques (Quintana Segui et al., 2009). Par souci de clarté, nous les présentons séparément, cependant.

Il y a plusieurs techniques simples de réduction d'échelle à la disposition des gestionnaires de projet et de leur équipe d'experts. La méthode des facteurs de changement ou méthode delta (Wilby et al., 2004) est très répandue pour obtenir des résolutions spatiales plus fines pour les prévisions des variables climatiques.

MÉTHODE DES FACTEURS DE CHANGEMENT

La méthode des facteurs de changement applique directement des changements climatiques dérivés des MCG à des données climatiques de référence telles qu'elles sont décrites dans les procédures générales pour l'élaboration de scénarios climatiques à l'étape 4.1. Dans le contexte de l'étude des phénomènes de sous-échelle, cependant, on part de l'hypothèse que le climat de référence est à une échelle plus haute qu'un modèle climatique mondial quelconque. Par conséquent, pour créer des scénarios climatiques à haute résolution, on couple des données de référence à résolution fine et des informations à échelle plus grossière sur les changements climatiques, ces dernières provenant de modèles climatiques globaux. Les coûts en temps de calcul sont assez faibles pour cette méthode relativement simple, et elle a servi pour un grand nombre d'études (Arnell, 2003 ; Diaz-Nieto et Wilby, 2005 ; Horton et al, 2010). Elle a ses inconvénients, pourtant, qu'on trouvera résumés ci-dessous, et les gestionnaires de projet et décideurs devraient en être conscients lorsqu'ils choisissent une ou des méthodes de réduction d'échelle.

Inconvénients des méthodes simples de réduction à échelle

- Les scénarios climatiques futurs ne diffèrent du climat de référence qu'en termes de moyenne, maxima et minima. Toutes les autres statistiques relatives aux données restent les mêmes.
- Ces méthodes reposent sur l'hypothèse que les schémas climatiques spatiaux resteront inchangés à l'avenir.
- La méthode doit être ajustée pour les précipitations (voir Arnell et Reynard, 1996), car l'addition (ou la multiplication) des précipitations observées par les précipitations MCG peut modifier le nombre de journées pluvieuses et l'ampleur des phénomènes extrêmes (Wilby et al., 2004). En plus, si une étude comprend une série chronologique de données climatiques quotidiennes, le séquençage temporel des journées pluvieuses et sèches reste inchangé.
- On peut utiliser cette méthode pour explorer des intervalles de temps mais non des changements transitoires.

Source : Diaz-Nieto et Wilby, 2005.

En dépit de leurs inconvénients majeurs, les techniques de base de réduction d'échelle peuvent parfois s'avérer utiles pour les gestionnaires de projet. On peut citer comme exemples les cas où les limites de la technique sont sans importance pour les analyses ultérieures, pour lesquelles on se servira des données (voir diagramme 3), et ceux où l'élaboration de scénarios climatiques se heurte à de sérieuses contraintes (financières, informatiques ou de main-d'œuvre, p. ex.) et où les autres méthodes ne sont pas envisageables.

MÉTHODE NON INTELLIGENTE

En plus de la méthode des facteurs de changement, les gestionnaires de projet peuvent envisager d'utiliser une approche similaire, appelée technique de réduction d'échelle « non intelligente ». Celle-ci consiste en une simple interpolation spatiale entre les points centraux des mailles MCG pour obtenir des estimations aux points intermédiaires désirés correspondant à ceux qu'on trouve dans un ensemble de données climatiques de référence à résolution plus fine (Wilby et al., 2004). Les avantages et inconvénients de cette approche sont essentiellement les mêmes que pour la méthode des facteurs de changement (voir Tableau 8).

1^{ÈRE} ÉTAPE

ÉVALUER ET DÉFINIR LES BESOINS EN MATIÈRE D'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

2^{ÈRE} ÉTAPE

RECENSER LES CONTRAINTES RÉGIONALES ET FORMULER UN PLAN RÉALISTE POUR L'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

3^{ÈRE} ÉTAPE

COMPRENDRE LES INCERTITUDES POUR CRÉER UN ÉVENTAIL PROSPECTIF DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

4^{ÈRE} ÉTAPE

ÉLABORER ET DOCUMENTER LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

DÉFINITION

Intervalles de temps

Un intervalle de temps est une période pour laquelle des projections sont données. Celle-ci est généralement centrée sur une décennie donnée. Par exemple, on parlera de l'intervalle de temps des années 2050 pour la période allant de 2040 à 2069.

“En plus de la méthode des facteurs de changement, les questionnaires de projet peuvent envisager d'utiliser une approche similaire, appelée technique de réduction d'échelle non intelligente.”

Tableau 8 : Avantages et inconvénients des méthodes de réduction d'échelle des facteurs de changement et non intelligente

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ● Simplicité 	<ul style="list-style-type: none"> ● Les scénarios climatiques futurs ne diffèrent du climat de référence qu'en termes de moyenne, maxima et minima. <i>Toutes les autres statistiques relatives aux données restent les mêmes.</i> ● On pose l'hypothèse que les schémas climatiques spatiaux ne changeront pas à l'avenir.
<ul style="list-style-type: none"> ● Coûts en calculs peu élevés 	<ul style="list-style-type: none"> ● La méthode doit être ajustée pour les précipitations (voir Arnell and Reynard, 1996), car l'addition (ou la multiplication) des précipitations observées par les précipitations MCG peut modifier le nombre de journées pluvieuses et l'ampleur des phénomènes extrêmes (Wilby et al., 2004). ● Le séquençage temporel de journées pluvieuses et sèches reste inchangé lorsqu'une étude implique une série chronologique de données climatiques quotidiennes.
<ul style="list-style-type: none"> ● Utilisation dans de nombreuses études 	<ul style="list-style-type: none"> ● On peut utiliser ces méthodes pour explorer des intervalles de temps mais non des changements transitoires.

Méthodes de réduction d'échelle dynamiques

La réduction d'échelle dynamique est une des méthodes utilisées pour produire des scénarios climatiques à haute résolution. Les systèmes terrestres y sont représentés mathématiquement, un peu comme dans les MCG, mais à une résolution bien plus fine que les modèles climatiques mondiaux typiques. Contrairement à ces derniers, la réduction d'échelle dynamique s'utilise pour comprendre la dynamique d'une partie seulement de la surface terrestre. Elle est donc nettement plus complexe que les méthodes de base et, pour être utilisée correctement en un lieu donné, elle requiert une quantité considérable de données d'observation et d'analyses de sensibilité (p. ex. pour la sélection des paramètres et les configurations du modèle). Cette méthode n'est pas toujours envisageable étant donné les contraintes auxquelles se heurte l'élaboration de scénarios climatiques.

La méthode de réduction d'échelle dynamique emploie généralement trois stratégies :

- Modélisation d'une aire limitée avec des modèles climatiques régionaux (MCR)
- Modélisation à grille étirée avec des MCG
- MCG à haute résolution uniforme (appelé aussi « simulation climatique à intervalles temporels ») (Bader et al., 2008)

DÉFINITION

Réduction d'échelle dynamique

La réduction d'échelle dynamique englobe une série de techniques qui offrent une représentation mathématique des processus du système terrestre, à une résolution plus spatiale plus fine que les MCG typiques pour produire des scénarios climatiques à haute résolution.

Pour être utilisées correctement en un lieu donné, les méthodes dynamiques requièrent une quantité considérable de données d'observation et d'analyses de sensibilité (p. ex. pour la sélection des paramètres et des configurations du modèle).

On trouvera ci-dessous une description simplifiée de chacune de ces méthodes dynamiques. Vu leur complexité, les gestionnaires de projet et les décideurs doivent d'abord comprendre dans quelles conditions le choix d'une telle méthode représente une option viable pour leur région. Plusieurs facteurs importants sont à prendre en considération pour en évaluer la viabilité, notamment les capacités et l'expérience scientifiques, les ressources financières, et la qualité des données d'observation de référence auxquelles on a accès.

Facteurs à prendre en considération pour évaluer la viabilité des méthodes de réduction d'échelle dynamiques

- **Capacités et expérience scientifiques :** L'utilisation de cette technique pour une région donnée demande des capacités et une expérience scientifiques considérables. C'est pourquoi les gestionnaires de projet et décideurs doivent pouvoir contacter des scientifiques ayant une bonne connaissance des modélisations climatiques pour la zone donnée. En théorie, ce type de modélisation devrait s'appuyer sur des projets antérieurs de modélisation climatique de la région. Une initiative internationale pourra bientôt fournir ce type d'informations pour beaucoup de régions. Il s'agit de l'Expérience régionale coordonnée de réduction d'échelle des prévisions climatologiques au niveau régional (CORDEX). On trouvera plus d'information à l'adresse suivante : http://wcrp.ipsl.jussieu.fr/SF_RCD_CORDEX.html. Si l'expertise scientifique et les expériences antérieures font défaut, les méthodes de réduction dynamiques ne seront pas viables, étant donné leur complexité.
- **Ressources :** La réduction d'échelle dynamique est en général la méthode la plus gourmande en calculs et en données et elle requiert des ressources importantes pour les analyses. Sans une expertise technique, des ressources financières et un matériel suffisants, il sera difficile d'entreprendre une réduction d'échelle dynamique.
- **Données d'observation de références :** Comme pour toutes les méthodes de réduction d'échelle, des observations de bonne qualité sont indispensables pour établir la climatologie de référence. Sans une climatologie de référence de qualité bonne à très bonne, l'étude des phénomènes de sous-échelle au moyen d'une méthode dynamique complexe reste d'une utilité douteuse.

Une fois qu'ils en auront compris les limites, les gestionnaires de projet et leur équipe d'experts seront prêts à passer en revue les principales options qui s'offrent à eux pour les méthodes de réduction d'échelle dynamiques. On en trouvera ci-dessous une brève synthèse grâce à laquelle les gestionnaires de projet pourront acquérir une compréhension de base de chaque méthode. Une bonne connaissance du niveau d'analyse associé à chacune d'elles leur permettra de mieux choisir celle qui leur convient. En pratique, le choix de la méthode dépend largement de l'expérience et des capacités des experts scientifiques de la région.

MÉTHODE DE L'AIRE LIMITÉE

Cette approche demande qu'on choisisse un domaine modélisé qui ne recouvre qu'une portion de la surface terrestre (un continent ou moins) et qu'on utilise un modèle climatique régional pour en simuler la dynamique. C'est une approche qui requiert des informations complémentaires sur ce qui se passe aux frontières du domaine choisi. Il s'agit en général de sorties MCG sur les zones avoisinantes ou de données d'observation provenant d'analyses atmosphériques (Bader et al., 2008). Une stratégie fréquemment utilisée consiste à emboîter de multiples grilles dans une simulation MCR plus grossière pour obtenir des résolutions plus fines dans les sous-régions d'intérêt (voir Bader et al., 2008 ; Hay et al., 2006 ; Liang et al., 2001).

1^{ÈRE} ÉTAPE

ÉVALUER ET DÉFINIR LES BESOINS EN MATIÈRE D'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

2^{ÈRE} ÉTAPE

RECENSER LES CONTRAINTES RÉGIONALES ET FORMULER UN PLAN RÉALISTE POUR L'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

3^{ÈRE} ÉTAPE

COMPRENDRE LES INCERTITUDES POUR CRÉER UN ÉVENTAIL PROSPECTIF DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

4^{ÈRE} ÉTAPE

ÉLABORER ET DOCUMENTER LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

DÉFINITION

Domaine modélisé

Un domaine modélisé est une région pour laquelle on simule la dynamique (d'un système climatique).

MODÉLISATION À GRILLE ÉTIRÉE

Contrairement à la méthode de l'aire limitée, celle à grille étirée comprend des simulations mondiales complètes avec un MCG. On modifie ce dernier pour obtenir une grille à résolution spatiale variable, où l'on choisit les résolutions les plus fines pour une ou plusieurs régions d'intérêt (Bader et al., 2008).

MODÉLISATION À HAUTE RÉOLUTION UNIFORME

La modélisation à haute résolution uniforme (simulation climatique à intervalles temporels) comprend aussi des simulations mondiales complètes avec un MCG. Elle a un maillage haute résolution englobant la planète toute entière, même si les analyses restent centrées sur des régions particulières. La méthode est gourmande en calculs. C'est pourquoi on ne peut s'en servir que pour des périodes de simulation courtes (d'où son autre nom : simulation climatique à intervalles temporels).

Ces méthodes dynamiques sont généralement utilisées pour produire des scénarios climatiques à des résolutions de plusieurs dizaines de kilomètres, mais on réduit parfois celles-ci à quelques kilomètres quand on se sert de grilles emboîtées (Bader et al., 2008). Dans certains cas, la réduction d'échelle dynamique peut se révéler très avantageuse pour les gestionnaires de projet en ce qui concerne l'exactitude des prévisions. Ainsi, les simulations à résolution plus fine bâties d'après des modèles physiques améliorent le réalisme des scénarios climatiques. C'est le cas d'une étude dont parlent Bader et al. (2008) et qui a montré que les MCR peuvent améliorer les prévisions pour les moussons et la variabilité interannuelle (même si les schémas de circulation à grande échelle n'indiquaient pas d'amélioration statistique significative). (Mo et al., 2005). Hay et al. (2006), quant à eux, ont démontré qu'une simulation à résolution fine ne garantit pas toujours de meilleurs résultats (en particulier pour le moment et l'intensité des précipitations). C'est pourquoi il est important de souligner qu'il n'y a **aucune garantie que les simulations à haute résolution effectuées d'après des modèles physiques donnent de meilleurs résultats**. La possibilité d'améliorer les prévisions dans une région donnée grâce à une simulation à résolution fine dépendra, entre autres choses, des caractéristiques de la région. C'est d'ailleurs un domaine de recherche très actif. Les gestionnaires de projet qui disposent de ressources substantielles ne doivent pas tenir pour acquis que les méthodes les plus complexes produiront nécessairement les scénarios climatiques les plus fiables.

On trouvera ci-dessous une synthèse des trois principales techniques d'étude des phénomènes de sous-échelle (Tableau 9) ainsi qu'un formulaire pour évaluer la viabilité de ces méthodes (Tableau 10).

“La possibilité d'améliorer les prévisions dans une région donnée grâce à une simulation à résolution fine dépendra, entre autres choses, des caractéristiques de la région. C'est d'ailleurs un domaine de recherche très actif.”

Tableau 9 : Synthèse des techniques de réduction d'échelle dynamiques

Réduction d'échelle dynamique	
<p>Il y a trois grandes techniques de réduction d'échelle dynamique :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Modélisation d'une aire limitée avec des MCR 2) Modélisation à grille étirée avec des MCG 3) MCG à haute résolution uniforme (appelé aussi « simulation climatique à intervalles temporels ») 	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ● Les informations climatiques sont tirées de modèles basés sur des processus physiques. ● Les variables climatiques sont disponibles à des résolutions spatiales et temporelles fines. ● On dispose d'un grand nombre de variables climatiques. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Coût des calculs ● Les questions de paramétrisation sont compliquées et dépendent de l'échelle. ● Les résultats dépendent des spécifications du domaine.
Exemple	
<p>La Deuxième communication nationale pour l'Argentine comprenait des scénarios climatiques dynamiques régionalisés avec le modèle à méso-échelle PSU/NCAR. On trouvera plus de détails en annexe.</p>	
Commentaires	
<p>La réduction d'échelle dynamique est plus complexe que les méthodes de réduction d'échelle de base. Elle fournit des simulations à résolution fine fondées sur des processus physiques mais celles-ci ne donnent pas toujours de meilleurs résultats. L'amélioration des prévisions dans une région donnée grâce à une simulation à haute résolution dépendra, entre autres choses, des caractéristiques de la région. C'est d'ailleurs un domaine de recherche scientifique très actif.</p>	

Note : Voir Tableau 1 de Mearns et al. (2003) pour plus de détails.

Tableau 10 : Formulaire suggéré pour déterminer la viabilité des méthodes de réduction d'échelle

Limitation	Disponibilité	Commentaire
Capacités et expérience scientifiques		
Ressources		
Données d'observation de référence		

1^{ÈRE} ÉTAPE

ÉVALUER ET DÉFINIR LES BESOINS EN MATIÈRE D'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

2^{ÈRE} ÉTAPE

RECENSER LES CONTRAINTES RÉGIONALES ET FORMULER UN PLAN RÉALISTE POUR L'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

3^{ÈRE} ÉTAPE

COMPRENDRE LES INCERTITUDES POUR CRÉER UN ÉVENTAIL PROSPECTIF DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

4^{ÈRE} ÉTAPE

ÉLABORER ET DOCUMENTER LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

DÉFINITION

Réduction d'échelle statistique

La réduction d'échelle statistique est une autre méthode de réduction d'échelle qui produit des scénarios climatiques à résolution fine. Pour cette technique, on formule des relations statistiques entre les variables atmosphériques à grande échelle (p. ex. sorties MCG) et les variables locales (p. ex. observations des stations météorologiques).

“Les gestionnaires de projet qui disposent de ressources substantielles ne doivent pas tenir pour acquis que les méthodes les plus complexes produiront nécessairement les scénarios climatiques les plus fiables.”

Méthodes statistiques de réduction d'échelle

Comme démontré dans les pages précédentes, les techniques de réduction d'échelle sont d'une complexité très variable allant de la simple méthode des facteurs de changement aux méthodes dynamiques complexes avec modèles climatiques régionaux. Les gestionnaires de projet et décideurs seront peut-être intéressés par une méthode intermédiaire, à mi-chemin entre simplicité et complexité. La réduction d'échelle statistique essaie d'arriver à un tel équilibre, surtout en termes de ressources en calculs.

Pour la réduction d'échelle statistique, on formule des relations statistiques entre les variables atmosphériques à grande échelle (p. ex. sorties MCG) et les variables locales (p. ex. observations des stations météorologiques). Cette méthode se base donc sur l'influence que l'état climatique à grande échelle et les caractéristiques physiographiques régionales (p. ex. topographie, utilisation des sols) exercent sur le climat d'une région (Wilby et al., 2004). La littérature scientifique regorge de méthodes statistiques de réduction d'échelle. Celles-ci varient en termes de complexité et de priorité. Pour un gestionnaire de projet, il est utile de connaître les trois grands types de réduction d'échelle statistique. Wilby et al. (2004) les ont classés de la manière suivante : 1) modèles de régression ; 2) systèmes classificateurs de conditions météorologiques ; 3) systèmes générateurs de conditions météorologiques. Même si leurs méthodologies varient de façon considérable, ils ont tous deux grandes étapes en commun, qu'il est utile de comprendre.

Principales étapes communes à toutes les méthodes de réduction d'échelle statistiques

- On crée un modèle statistique afin d'établir des relations entre les variables à grande échelle (prédicteurs) et les variables locales (prédicands).
- La sortie MCG à grande échelle est ensuite intégrée au modèle statistique dérivé afin de produire une estimation des variables locales.

La méthode statistique plaira aux gestionnaires de projet, car elle est peu gourmande en calculs par rapport aux méthodes se servant d'une réduction d'échelle dynamique. Elle peut aussi s'appliquer aux sorties de multiples MCG afin de fournir une distribution des prévisions climatiques futures. Mais si la réduction d'échelle statistique présente des avantages, il est bon d'en comprendre aussi les limitations (voir encadré 5). La principale faiblesse théorique de cette méthode, c'est qu'on ignore si les relations statistiques dérivées du climat actuel resteront inchangées pour les conditions climatiques futures, alors que c'est l'hypothèse principale sur laquelle elle repose (Wilby et al., 2004).

En tant que méthode d'une complexité intermédiaire, la réduction d'échelle statistique est plus gourmande en calculs que les méthodes de base mais moins que les méthodes dynamiques. Les méthodes statistiques et dynamiques sont d'une fiabilité comparable en ce qui concerne l'exactitude des scénarios climatiques, les méthodes de base étant en général moins fiables. Les gestionnaires de projet devront toutefois se garder, il faut le souligner, de sélectionner une méthode de réduction d'échelle en se basant sur un seul critère (p. ex. la fiabilité de la méthode). Le tableau 11 récapitule brièvement les techniques de réduction d'échelle statistiques.

Encadré 5 : Application de la réduction d'échelle statistique en conditions réelles pour illustrer les limites potentielles de cette méthode

Nous examinerons, à titre d'exemple réel, la dynamique des moussons en Inde. Si l'on utilisait la réduction d'échelle statistique pour l'Inde, on dériverait des relations statistiques entre les précipitations des MCG et celles observées dans les stations météorologiques. On utiliserait alors cette relation statistique dérivée du climat actuel pour des projections climatiques futures. Or, les moussons futures pourraient bien être très différentes de celles d'aujourd'hui, surtout en termes de fréquence et d'intensité. Auquel cas, les prévisions dérivées de la relation statistique actuelle devraient être réévaluées.

Tableau 11 : Techniques de réduction d'échelle statistiques

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ● Faible coût des calculs par rapport aux méthodes de réduction d'échelle dynamiques ● Génère des informations à haute résolution ou sur des maillages non uniformes ● Applicables aux sorties de multiples MCG afin de fournir un éventail de prévisions climatiques futures 	<ul style="list-style-type: none"> ● On ignore si les relations statistiques dérivées du climat actuel resteront les mêmes pour les conditions climatiques futures (Wilby et al., 2004). ● Demandent souvent des observations quotidiennes.
Exemple	
<p>La réduction d'échelle statistique a servi à produire des scénarios de précipitations futures en Afrique australe afin de prendre des décisions informées quant aux investissements agricoles. On trouvera plus de détails en annexe.</p>	
Commentaires	
<p>La réduction d'échelle statistique est peu gourmande en calculs par rapport aux méthodes se servant d'une réduction d'échelle dynamique. Elle peut aussi s'appliquer aux sorties de multiples MCG afin de fournir une distribution des prévisions climatiques futures. En dépit des avantages qu'elle présente, les gestionnaires de projet et leur équipe doivent aussi en comprendre les limitations.</p>	

Note : Voir Tableau 1 de Mearns et al. (2003) et Tableau 1 de Wilby et al. (2004) pour plus de détails.

1^{ÈRE} ÉTAPE

ÉVALUER ET DÉFINIR LES BESOINS EN MATIÈRE D'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

2^{ÈRE} ÉTAPE

RECENSER LES CONTRAINTES RÉGIONALES ET FORMULER UN PLAN RÉALISTE POUR L'ÉLABORATION DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

3^{ÈRE} ÉTAPE

COMPRENDRE LES INCERTITUDES POUR CRÉER UN ÉVENTAIL PROSPECTIF DE SCÉNARIOS CLIMATIQUES

4^{ÈRE} ÉTAPE

ÉLABORER ET DOCUMENTER LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

4.3 Documenter le processus d'élaboration de scénarios climatiques

“Le choix de la méthode de modélisation se fonde sur la somme des faits rassemblés et des analyses entreprises pendant tout le processus d'élaboration des scénarios climatiques. La qualité des données d'entrée du scénario affecte l'intégrité et l'utilité du produit final et détermine le type de modèle et la méthode choisies pour une évaluation donnée.”

Documenter le processus d'élaboration de scénarios climatiques est une étape importante pour les gestionnaires de projet et leur équipe d'experts. Elle permet de conserver un historique du processus, dont on fera ensuite un outil d'apprentissage et une étude de cas réel à l'intention d'autres collègues. Dans les pays en développement, où les ressources en tout genre sont limitées, ce type de documentation écrite est extrêmement intéressant. Les gestionnaires de projet pourront trouver utile d'adopter un plan de rapport fondé sur le cadre suggéré et d'utiliser les formulaires et tableaux du présent manuel pour réunir et synthétiser les informations les plus importantes. D'autres équipes apprécieront d'avoir des informations sur des sujets aussi divers que la composition de l'équipe chargée de l'élaboration de scénarios climatiques, l'évaluation des avantages et inconvénients d'une technique de réduction d'échelle donnée dans un cas précis, ou la liste des références importantes qui ont été consultées. Le processus de documentation apporte également aux gestionnaires des informations détaillées sur les utilisateurs finaux et les donateurs.

Résumé

Le choix de la méthode de modélisation se fonde sur la somme des faits rassemblés et des analyses entreprises pendant tout le processus d'élaboration des scénarios climatiques. La qualité des données d'entrée du scénario affecte l'intégrité et l'utilité du produit final et détermine le type de modèle et la méthode choisies pour une évaluation donnée. Il y a des méthodes de base, comme la méthode analogique spatiale ou la méthode arbitraire, qui ne demandent pas de calculs coûteux et hautement techniques pour faire des prévisions. Leur degré d'exactitude est sans doute moindre (quoique pas toujours) qu'avec les techniques plus sophistiquées de réduction d'échelle passées en revue dans le présent chapitre. Les informations climatiques fournies par ces dernières sont d'une résolution suffisamment fine pour prendre des décisions informées aux niveaux local et régional. Si les prévisions sont suffisamment exactes à ce niveau, on peut prendre des mesures pour aider les régions à adopter des stratégies de développement résilient au climat et sobre en émissions qui promeuvent des objectifs de développement importants et protègent contre les impacts potentiellement négatifs du changement climatique (et tirent parti d'éventuels effets positifs).

Il est important de documenter comment on est arrivé à la composition finale de l'équipe et comment les décisions ont été prises pendant tout le processus d'élaboration des scénarios climatiques, car cela peut servir de feuille de route pour des projets ultérieurs. Cela permettra aussi aux membres de l'équipe de revenir en arrière et de comprendre pourquoi ils ont fait tel ou tel choix. En outre, les utilisateurs finaux peuvent apprendre comment on en est arrivé au produit final, et quels sont les hypothèses et paramètres d'incertitude qui sont entrés en ligne de compte.

Pour résumer, les scénarios climatiques sont incertains par nature, mais ce sont malgré tout des outils utiles pour la planification. Le cadre du PNUD présenté ici fournit une structure pour l'élaboration de scénarios climatiques dans le but de créer un éventail approprié de scénarios pour renforcer les politiques et appuyer un avenir résilient au climat et sobre en émissions.

Conclusion

Le présent guide propose un cadre pour l'élaboration de scénarios climatiques afin d'appuyer les stratégies de développement résilient au climat et sobre en émissions. Il offre des conseils étape par étape à l'intention des gestionnaires de projet et de leur équipe d'experts pour les accompagner tout au long du processus de l'élaboration des scénarios climatiques, depuis la définition des besoins jusqu'à la sélection des modèles et des techniques de réduction d'échelle. Ce processus étant par nature d'une haute technicité et, quelles que soient les circonstances, d'une grande complexité, le présent guide s'avérera particulièrement utile pour les pays en développement où les ressources techniques et financières ne sont pas toujours abondantes. En suivant le cadre proposé, on simplifiera le processus d'élaboration des scénarios, ce qui aidera les pays en développement, alors qu'ils envisagent un avenir où ils seront en mesure de s'adapter au climat tout en poursuivant un développement durable.

“Les gestionnaires de projet et décideurs des pays en développement bénéficieront de la structure et des contenus du cadre, car il fournit des conseils d'organisation, étape par étape, pour une tâche qui peut paraître écrasante.”

L'aperçu général qui figure au début du présent guide met en contexte les raisons pour lesquelles un cadre cernant l'élaboration de scénarios climatiques peut s'avérer utile pour les pays en développement. Les gestionnaires de projet et les décideurs de ces pays bénéficieront de la structure et des contenus du cadre, qui fournit des conseils d'organisation, étape par étape, pour une tâche qui peut paraître écrasante.

Le premier chapitre décrit la première étape du processus d'élaboration des scénarios climatiques : 1) réunir une équipe interdisciplinaire ; 2) définir les besoins en matière de scénarios climatiques ; 3) évaluer les besoins en matière de scénarios climatiques. Réunir une équipe interdisciplinaire solide est essentiel, quel que soit le projet. C'est particulièrement vrai ici, tant ce type de processus est complexe. Les gestionnaires de projet sont généralement bien outillés pour gérer l'élaboration de scénarios climatiques. En effet, ils sont couramment appelés à gérer des personnels, des fonds, des objectifs et des calendriers. Dans bien des cas cependant, le gestionnaire de projet ne possédant pas les connaissances spécialisées qu'exige la modélisation climatique, il devra trouver et réunir les experts techniques et les utilisateurs finaux pour l'aider. Les experts fournissent des données et des avis sur les questions scientifiques et les utilisateurs finaux peuvent expliquer à quoi serviront les scénarios. Ces deux types d'information sont essentiels pour le gestionnaire de projet, qui doit évaluer les besoins par rapport aux contraintes et les concilier.

Le chapitre 2 du guide se concentre sur les contraintes régionales spécifiques qui auront un impact sur le type de modèle et de méthode que choisiront les gestionnaires de projet pour l'élaboration de scénarios climatiques. Ce chapitre part des questions et du travail entrepris par l'équipe au chapitre 1. C'est ici que le gestionnaire de projet recense les contraintes scientifiques et autres et les évalue en fonction des besoins définis par les experts techniques et les utilisateurs finaux. Cette étape devrait déboucher sur la production d'un plan d'élaboration des scénarios climatiques réaliste, c'est-à-dire qui définit ce que les visées du scénario et son niveau de complexité tout en tenant compte des contraintes existantes.

Une fois les étapes 1 et 2 achevées, le gestionnaire de projet et son équipe d'experts peuvent passer à l'étape décrite au chapitre 3, qui consiste en l'élaboration de scénarios climatiques et en la gestion des incertitudes. Ce chapitre recense les principales incertitudes associées à l'élaboration de scénarios climatiques et donne deux exemples qui montrent comment gérer ces incertitudes et choisir le modèle de scénario climatique qui convient le mieux et s'avère le plus efficace. Il montre aussi comment choisir une technique de réduction d'échelle, si nécessaire. Les diagrammes qui figurent dans ce chapitre illustrent parfaitement bien ces relations.

Une fois qu'ils ont bien compris les besoins et contraintes existant pour un scénario donné et qu'ils ont une solide compréhension des incertitudes qu'ils rencontreront au cours de l'élaboration des scénarios climatiques, le gestionnaire de projet et son équipe sont prêts à choisir le modèle climatique qui leur convient, ainsi qu'une technique de réduction d'échelle dans les cas où une telle application semble s'imposer. Le chapitre 4 décrit les procédures générales pour l'élaboration de scénarios climatiques et donne un aperçu des principales méthodes en la matière. D'autres méthodes de base pouvant servir d'alternatives à des techniques de réduction d'échelle plus sophistiquées y sont également résumées. Une fois qu'ils auront lu ce chapitre, les gestionnaires de projet et leur équipe devraient avoir un tableau complet de ce en quoi consistera leur projet d'élaboration de scénarios climatiques, y compris le modèle qu'ils auront choisi.

“Une fois qu’ils ont bien compris les besoins et contraintes qui existent pour un scénario donné et qu’ils ont une solide compréhension des incertitudes qu’ils rencontreront au cours de l’élaboration des scénarios climatiques, le gestionnaire de projet et son équipe sont prêts à sélectionner le modèle climatique qui leur convient, ainsi qu’une technique de réduction d’échelle dans les cas où une telle application semble s’imposer.”

La dernière tâche qu’il leur reste à accomplir est de documenter les résultats à chaque étape. Il est important, d’un point de vue institutionnel, de noter comment les équipes en sont arrivées aux décisions qu’elles ont prises. Ces informations peuvent s’avérer utiles pour les utilisateurs finaux ou pour tout donateur demandant des rapports détaillés. Cette tâche, bien que chronologiquement la dernière, est l’une des plus importantes du processus d’élaboration des scénarios climatiques. On trouvera tout au long du guide des tableaux et des formulaires qui peuvent servir d’exemples pour documenter le processus de réflexion et de décision.

L’annexe au présent guide contient des études de cas de réduction d’échelle en provenance de pays en développement. Ce sont des exemples réels qui mettent en évidence la complexité de la tâche et démontrent combien il est important d’adopter un cadre de travail solide pour l’élaboration de scénarios climatiques.

Les références bibliographiques donnent au lecteur des ressources supplémentaires et citent les études et auteurs consultés au cours de l’élaboration du guide.

- **Étude de cas n° 1** — Réduction d'échelle de futurs scénarios climatiques basés sur les MCG : seconde communication nationale de l'Argentine à la CCNUCC
- **Étude de cas n° 2** — Réduction d'échelle en Uruguay : coupler une modélisation climatique régionale et une technique de réduction d'échelle statistique pour appuyer la SDRCE
- **Étude de cas n° 3** — Réduction d'échelle des scénarios de précipitations en Afrique australe : évaluer les scénarios de précipitations en élaborant des scénarios climatiques régionaux

Techniques de réduction d'échelle : études de cas

Même s'il a été très utile d'aborder ici les principes de base des techniques de réduction d'échelle dans le cadre de l'élaboration de scénarios climatiques, chaque région doit être envisagée individuellement. En effet, il y a toute une série de facteurs qui les différencient en termes d'analyse de réduction d'échelle, notamment les caractéristiques physiques et climatiques, la taille de la région, la disponibilité des données et l'usage que l'on prévoit de faire des scénarios régionalisés. Ces facteurs peuvent même, dans certains cas, interdire le recours à certaines méthodes de réduction d'échelle.

Il est important que les gestionnaires de projet comprennent l'influence de ces facteurs sur l'élaboration de scénarios climatiques. Une bonne façon d'y arriver, c'est de passer en revue plusieurs cas différents. L'on trouvera trois études dans la présente section. Elles illustrent comment ces facteurs ont été traités dans des situations bien réelles. Elles diffèrent en termes de caractéristiques régionales et par l'usage prévu pour les scénarios climatiques.

Étude de cas n°1 : Élaboration de scénarios climatiques en Argentine.

La première étude aborde l'élaboration de scénarios climatiques en Argentine, telle qu'elle est décrite dans la seconde communication nationale (SCN) à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). La SCN de l'Argentine fait partie des 102 communications nationales provenant des parties non visées à l'Annexe I que le PNUD appuie activement depuis 1996. La section de la communication relative au climat s'attache surtout à lancer un large débat sur les changements climatiques pour les régions d'Argentine.

Étude de cas n°2 : Élaboration de scénarios climatiques en Uruguay.

La deuxième étude décrit l'élaboration de scénarios climatiques à une échelle spatiale beaucoup plus petite, puisqu'il s'agit d'un territoire uruguayen. Cette étude des phénomènes de sous-échelle appuyée par le PNUD a pour objet de contribuer à des plans d'investissement liés au changement climatique dans plusieurs secteurs, dans le cadre de la stratégie de développement résilient au climat et sobre en émissions de la région.

Étude de cas n°3 : Élaboration de scénarios climatiques en Afrique australe.

La dernière étude consiste en une analyse régionale pour une partie de l'Afrique australe. Elle se limite – vu les besoins des utilisateurs finaux – à une réduction d'échelle concernant les précipitations pour les investissements agricoles.

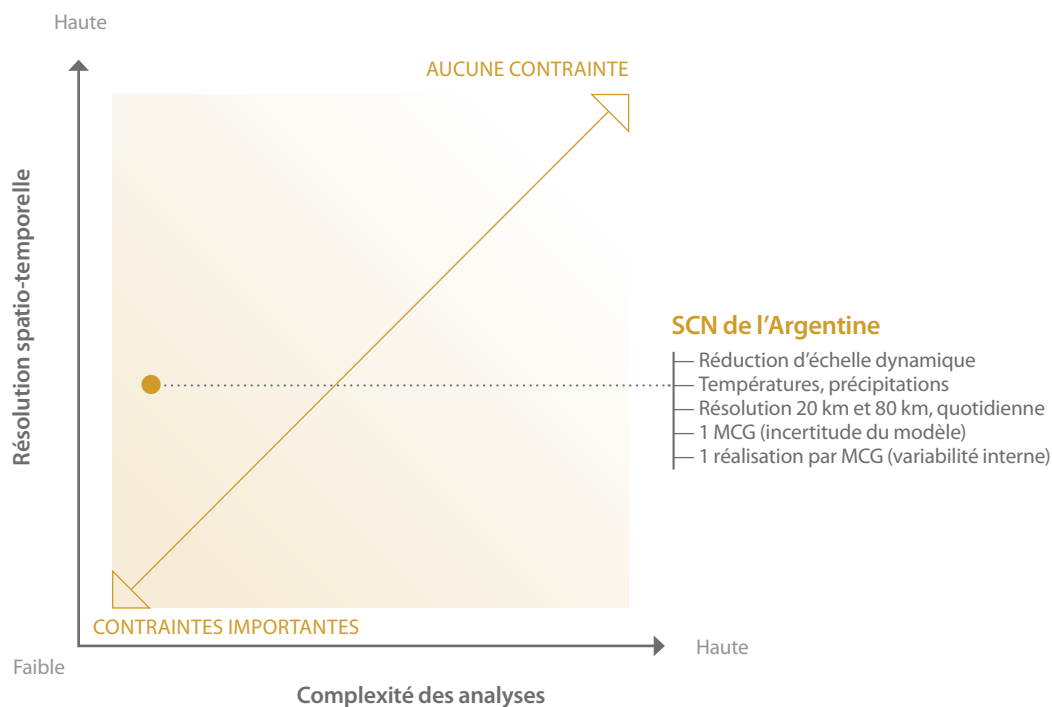
Les études de cas présentées ci-dessous illustrent la diversité des questions soulevées par l'élaboration de scénarios climatiques. Elles devraient aussi donner aux gestionnaires de projet une certaine idée de la relation qui existe entre les visées d'une étude (ce à quoi elle doit servir) et le niveau d'élaboration des scénarios climatiques. Cela devrait aider les gestionnaires à décider du niveau qui leur convient en fonction des objectifs qu'ils se sont fixés pour leur projet.

Étude de cas n° 1

Réduction d'échelle de futurs scénarios climatiques fondés sur les MCG : seconde communication nationale de l'Argentine à la CCNUCC

Une évaluation appuyée par le PNUD a été publiée (Argentine, 2007) dans le cadre de la SCN de l'Argentine. Elle comprend une analyse de la vulnérabilité aux changements climatiques à l'échelle nationale. Elle évalue tant la climatologie actuelle (ainsi que des tendances récemment observées) que les scénarios climatiques futurs pour le pays tout entier, lequel s'étend sur une superficie de plus de 2 700 000 km². Le but de cette analyse était de lancer un large dialogue sur la vulnérabilité au changement climatique et la planification pour les différentes régions du pays. À ce titre, la SCN représente une première étape essentielle visant à promouvoir une meilleure compréhension des scénarios climatiques futurs en Argentine.

Diagramme A-1 : Caractérisation de l'élaboration des scénarios climatiques dans la SCN de l'Argentine en termes de complexité de l'analyse, de résolution spatio-temporelle et des contraintes non scientifiques



L'Argentine a suivi la procédure habituelle pour l'élaboration de scénarios climatiques (voir chapitre 4). Pour commencer, et pour établir le climat de référence à partir de faits observés, on a recueilli et analysé des données sur les tendances en matière de précipitations au XXe siècle, les précipitations extrêmes et la température. Le rapport a souligné l'influence du phénomène El Niño/oscillation australe sur la variabilité climatique interannuelle du pays et montré que les précipitations moyennes annuelles avaient augmenté sur la quasi-totalité du territoire argentin à l'exception des Andes. La SCN a aussi relevé des événements de précipitation plus fréquents (définis comme plus de 100 mm de précipitations pour des événements ne durant pas plus de deux jours). Grâce à ces conclusions, l'équipe chargée de l'élaboration de scénarios climatiques a pu se faire une bonne idée de la climatologie actuelle de l'Argentine.

Les changements observés au cours du XXe siècle pour les précipitations et la température suite à l'analyse citée ci-dessus ont permis de comprendre quelles étaient les ressources régionales en eau du pays, et notamment les changements de débit des principaux réseaux hydrographiques et les implications générales pour l'agriculture pluviale. Le but de l'élaboration de scénarios climatiques était donc de comprendre les ressources régionales en eau de l'Argentine. Une fois ce but clairement défini, il a fallu sélectionner la bonne méthode pour élaborer les scénarios climatiques (deuxième étape des procédures générales d'élaboration de scénarios climatiques).

Il s'est avéré nécessaire de procéder à une réduction d'échelle des scénarios climatiques futurs fondés sur les MCG, car la faible résolution des MCG a été jugée insuffisante pour émettre des prévisions fiables en matière de précipitations, surtout dans la Cordillère des Andes. Aussi le Centre argentin de recherches sur l'océan et l'atmosphère (CIMA) a-t-il mené des analyses de réduction d'échelle dynamiques pour le pays.

Modèle : Il a été décidé de n'utiliser qu'un seul MCG (le modèle mondial HadCM3, créé par le Centre Hadley au Royaume-Uni) pour effectuer une réduction d'échelle dynamique. Ce modèle a été choisi, car des analyses antérieures avaient montré qu'il était relativement fiable lorsqu'il s'agissait de représenter le climat méridional de l'Amérique du Sud (température, pression atmosphérique au niveau de la mer et précipitations).

Méthode de réduction d'échelle : On a procédé à une réduction d'échelle dynamique en se servant d'un modèle à méso-échelle connu, le PSU/NCAR (appelé aussi MM5), à de multiples résolutions spatiales. Bien que la SCN ne soit pas claire à ce sujet, le CIMA a effectué l'étude des phénomènes de sous-échelle à des résolutions spatiales de 20 et 80 km pour la partie méridionale de l'Amérique du Sud. Les changements projetés ont été discutés pour deux périodes (2020-2030 et 2080-2090) et deux scénarios d'émission ont servi pour cette analyse (les scénarios RSSE A2 et B1 du GIEC). Les résultats de ces études ont produit des scénarios futurs des températures et précipitations moyennes (troisième étape des procédures générales d'élaboration de scénarios climatiques).

Résultats

Les scénarios climatiques résultant des processus mentionnés ci-dessus et présentés dans la SCN ont fourni des informations utiles aux décideurs sur les importantes vulnérabilités climatiques de l'Argentine. On trouvera ci-dessous une synthèse de quelques-unes des principales conclusions de l'analyse climatique de la SCN.

- Il se produira une hausse des températures moyennes sur tous les territoires argentins.
- Plusieurs régions (la Cordillère des Andes, le nord-ouest de la Patagonie et Comahue) connaîtront une baisse des précipitations moyennes, alors que le reste du pays ne verra pas de changement dans ce domaine.
- Les précipitations extrêmes continueront à se faire plus fréquentes.

Analyse de l'étude de cas argentine

Le diagramme A-1 montre aux gestionnaires de projet comment évaluer la complexité de l'analyse, la résolution spatio-temporelle et les contraintes non scientifiques pour le cas de l'Argentine. D'abord, par sa taille, la région (à savoir le pays tout entier) est relativement grande et sa géographie physique est caractérisée par une hétérogénéité importante. En ce qui concerne la complexité des analyses, on a choisi une technique de réduction d'échelle dynamique. Mais comme celle-ci est gourmande en calculs, les enquêteurs ont limité leur analyse à un seul MCG (sans doute à cause de contraintes financières et de temps). Aussi n'ont-ils pas évalué le degré d'incertitude du modèle dans le cadre du processus de réduction d'échelle. Conscients de ces limitations, les auteurs du rapport présentent aussi des scénarios (non régionalisés) sur les températures et les précipitations au départ de multiples MCG se basant sur les simulations de l'AR4 du GIEC. Quant à l'incertitude relative à la variabilité interne, on ne peut pas déterminer clairement si les auteurs se sont servis de multiples réalisations du modèle mondial HadCM3. En tout cas, le rapport ne contient aucune analyse de la variabilité interne du climat. Deux scénarios d'émissions sont envisagés pour tenir compte de l'incertitude en la matière, ce qui est conforme au cadre de travail proposé dans le diagramme 1.

Dans l'ensemble, la complexité des analyses peut paraître relativement minime si l'on se base sur tous les éléments qui entrent dans l'élaboration de scénarios climatiques. La résolution spatio-temporelle peut être considérée comme relativement modérée. Il s'agit là de désignations subjectives qui ne sont données qu'à titre d'illustration pour aider les gestionnaires de projet et les experts scientifiques à se servir de cet outil pour leurs propres analyses.

Dans la SCN de l'Argentine, les scénarios climatiques sont abordés dans un contexte où de nombreuses questions sont à envisager : stress hydrique dans le centre et le nord du pays, vagues de chaleur, modifications du débit du Rio de la Plata, précipitations extrêmes et inondations, agriculture, santé (y compris la distribution géographique de maladies tropicales à transmission vectorielle), énergie, tourisme. Les exigences en matière de scénario climatique sont différentes pour chacune de ces questions pour ce qui concerne leur fiabilité et leur résolution. Par exemple, les analyses concernant l'agriculture sont très sensibles à des prévisions exactes des précipitations et des températures quotidiennes et extrêmes (vagues de chaleur ou de froid, sécheresses et inondations).

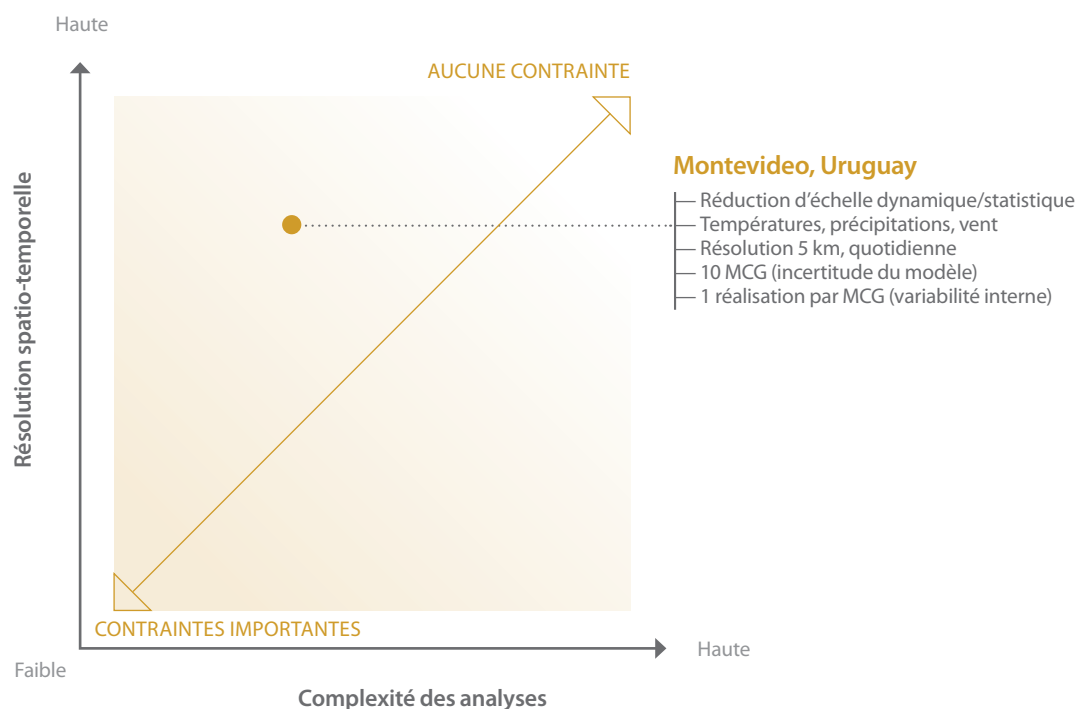
Ces conclusions sont intéressantes, car elles fournissent une base de dialogue sur la vulnérabilité, l'atténuation et l'adaptation aux changements climatiques. Des initiatives ultérieures en matière d'élaboration de scénarios climatiques pour l'Argentine pourront bénéficier des vues exprimées dans le présent guide. Le recours à des scénarios climatiques avant de prendre des décisions en matière d'investissement se faisant plus fréquent, de **solides éventails prospectifs de scénarios climatiques** sont cruciaux.

Étude de cas n° 2

Réduction d'échelle en Uruguay : coupler une modélisation climatique régionale et une technique de réduction d'échelle statistique pour appuyer la SDRCSE

La région métropolitaine de Montevideo, en Uruguay (9 900 km²) et les départements adjacents de San José et Canelones ont fait l'objet d'un récent projet pilote appuyé par le PNUD pour préparer les scénarios climatiques futurs dans le cadre des SDRCSE. ClimSAT, un centre de recherche qui aide les pays en développement à préparer leurs SDRCSE, s'est chargé des analyses de réduction d'échelle pour Montevideo, San José et Canelones, en collaboration avec MétéoStrategy, Climpack et l'Ifremer. L'objectif était de fournir des données climatiques pour le présent et l'avenir, à une résolution spatiale ou temporelle qui puisse servir pour la planification de la vulnérabilité et de l'adaptation locales dans de nombreux secteurs. Il a également été procédé à des analyses d'incertitude en vue de l'élaboration d'un éventail prospectif de scénarios climatiques.

Diagramme A-2 : Caractérisation de l'élaboration des scénarios climatiques pour la SDRCSE de la région de Montevideo en termes de complexité de l'analyse, de résolution spatio-temporelle et des contraintes non scientifiques



La méthode de réduction d'échelle couplait un modèle climatique régional (réduction d'échelle dynamique) et une réduction d'échelle statistique.

Modèle : Un modèle climatique régional (réduction d'échelle dynamique) a servi à produire une climatologie à résolution fine (5 km) pour la région.

Méthode de réduction d'échelle : Une méthode statistique a été utilisée (Michelangeli et al., 2009) pour produire des scénarios climatiques pour deux périodes futures et deux scénarios d'émission RSSE. Pour établir ces projections climatiques, on a préféré une méthode statistique, car la réduction d'échelle dynamique à une résolution de 5 km aurait été trop onéreuse et aurait pris trop de temps.

Analyse de l'étude de cas uruguayenne

Le diagramme A-2 montre aux gestionnaires de projet comment évaluer la complexité de l'analyse, la résolution spatio-temporelle et les contraintes non scientifiques pour l'étude sur Montevideo. La région est relativement petite de taille. En ce qui concerne sa géographie physique, elle présente une topographie assez plate, mais avec des vents très variables en fonction de leur éloignement de la côte. On a préféré une résolution haute (5 km) pour les analyses afin de pouvoir traiter de telles variabilités. L'exemple est intéressant dans la mesure où il couple deux méthodes de réduction d'échelle ; une réduction d'échelle dynamique pour la climatologie actuelle et une réduction d'échelle statistique pour l'élaboration de scénarios futurs.

Dans l'ensemble, on peut dire que les analyses sont d'une complexité moyenne si l'on tient compte de tous les éléments qui entrent en jeu dans l'élaboration de scénarios climatiques (décrits ci-dessous). Comme pour l'étude précédente, cette désignation n'est donnée qu'à titre d'illustration pour aider les gestionnaires de projet et les experts scientifiques à se servir de cet outil.

Pour que les gestionnaires de projet et les experts scientifiques comprennent le contexte dans lequel les analyses ont été faites, nous résumons ci-dessous le processus d'élaboration de scénarios climatiques pour Montevideo, avec une description des séries de données de ClimSAT.

Climatologie actuelle : Les observations faites dans les stations se limitent à la région, de sorte qu'une méthode dynamique a été appliquée pour régionaliser la ré-analyse NCEP/NCAR/DOE (reconstruction mondiale modélisée de variables climatiques) (Kalnay et al., 1996 ; Kanamitsu et al., 2002). Le modèle Weather Research and Forecasting (recherche et prévision météorologique – WRF) (Skamarock et al., 2008) a servi pour la réduction d'échelle, pour passer d'une résolution d'environ 250 km x 250 km à une résolution de 5 km x 5 km pour les années 1970 à 1999. La sortie WRF comprend 30 variables climatiques (températures, précipitations, vitesse du vent, etc.) à des résolutions spatiales de 5 km x 5 km et temporelles de 3 heures. Notons bien que si les gestionnaires de projet envisagent d'utiliser des modèles comme le WRF pour générer la climatologie actuelle, il est essentiel de baser cette dernière sur les observations disponibles. En l'absence d'observations à résolution fine, les gestionnaires de projet devraient accepter une résolution plus faible et des analyses moins complexes.

Climatologie future : On a sélectionné deux intervalles de temps : 2046 à 2065 et 2081 à 2100. Une méthode statistique a été adoptée pour les deux, afin de produire des données quotidiennes à 5 km x 5 km grâce à une réduction d'échelle des sorties sur les températures et les précipitations de 12 modèles du GIEC pour deux scénarios RSSE (B1 et A2).

Pour produire une climatologie actuelle à haute résolution, une résolution spatiale fine de 5 km a été adoptée, ce qui a nécessité le recours à une réduction d'échelle dynamique. Les gestionnaires de projet doivent se méfier des méthodes qui se fondent sur un modèle (au lieu d'observations) pour en déduire les climatologies actuelles. Autrement dit, l'un des problèmes que pose la réduction d'échelle dynamique (avec le WRF ou des modèles similaires), c'est qu'un travail substantiel doit être fait pour paramétrer et évaluer ce modèle pour une région et une échelle d'analyse données. Par exemple, le modèle WRF propose de nombreuses options pour représenter les processus atmosphériques. Il faut être prudent, car ce qu'on représente et comment le représenter dépendra des caractéristiques de la région et de la résolution requises pour la sortie (par ex. 5 km ou 20 km). Ces décisions peuvent entraîner des différences importantes dans les prévisions du climat actuel.

ClimSAT a choisi une résolution de 5 km, car Montevideo/San José/Canelones est une région côtière pour laquelle les gradients climatiques peuvent être importants. Des analyses concernant les prévisions du climat actuel ont été effectuées ultérieurement pour évaluer une réduction d'échelle à 5 km par rapport à une résolution plus grossière. À partir des résultats d'une réduction d'échelle intermédiaire à 25 km, elles ont montré que les prévisions des simulations à 5 et 25 km étaient statistiquement très similaires, alors qu'on constate des différences statistiques importantes entre les données très grossières de ré-analyse NCEP/NCAR/DOE et les résultats régionalisés. En outre, une comparaison avec les données provenant des stations a révélé que les prévisions à 5 et 25 km étaient toutes deux plus conformes à ces observations que les données de ré-analyse NCEP/NCAR/DOE. Ce qui prouve que la réduction d'échelle améliore les résultats des scénarios climatiques, mais aussi qu'une résolution plus fine ne garantit pas nécessairement une plus grande exactitude des scénarios climatiques. Autrement dit, dans le cas présent, la réduction d'échelle à 5 km n'est pas supérieure à celle à 25 km.

Notons que des analyses d'incertitude ont été menées dans le cadre de l'élaboration des scénarios climatiques de Montevideo. En ce qui concerne les principaux types d'incertitude, celle relative au modèle a été prise en compte en se servant de 12 modèles du GIEC, et celle liée aux émissions l'a été en se servant de deux scénarios RSSE. De plus, on n'a utilisé qu'une seule technique de réduction d'échelle pour les scénarios futurs. Théoriquement, même si cela n'a pas été fait ici à cause de contraintes de temps et d'argent, il vaut mieux utiliser de multiples méthodes de réduction d'échelle pour explorer à fond l'incertitude liée à la réduction d'échelle, car différentes méthodes donnent souvent des prévisions différentes (voir Wilby et al., 2008).

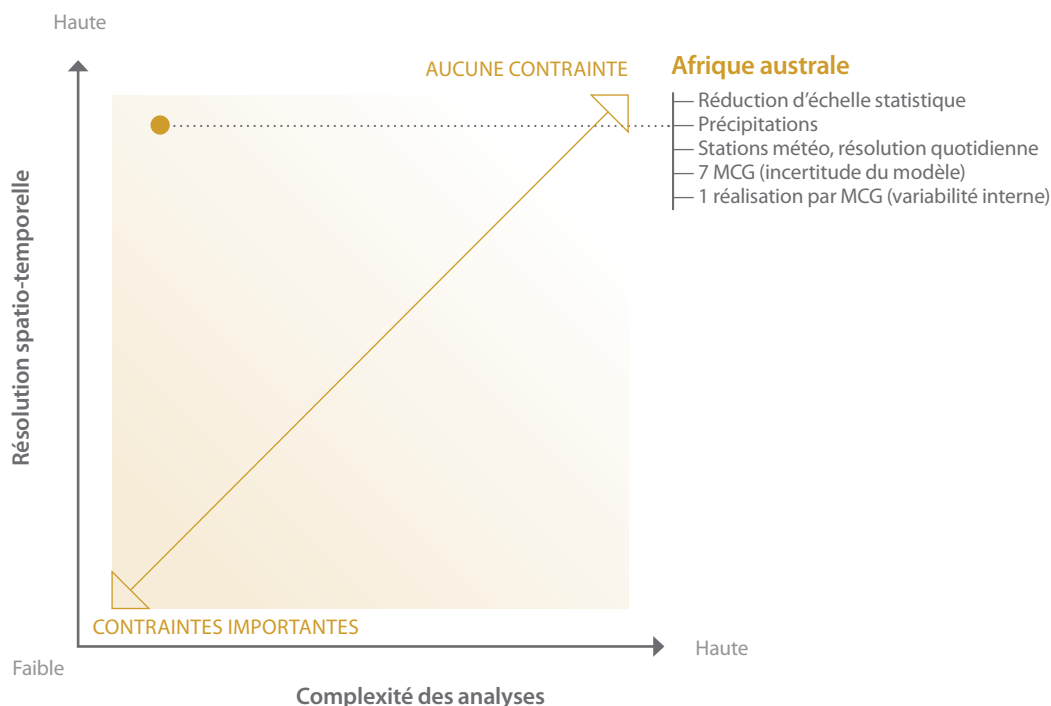
Une conclusion préliminaire importante dérivée des analyses d'incertitude effectuées par ClimSAT (Lemarié and Honnorat, en préparation ; Loukos et al., en préparation), c'est que les prévisions relatives aux précipitations sont plus incertaines que celles des températures. Ces résultats correspondent à d'autres conclusions publiées dans la littérature scientifique. L'incertitude prouve bien qu'il est nécessaire de fournir un **éventail prospectif de scénarios climatiques**, même large. Avec le cas d'étude suivant, nous parlerons de la réduction d'échelle des précipitations, étant donné son importance pour les SDRCSSE.

Étude de cas n° 3

Réduction d'échelle des scénarios de précipitations en Afrique australe : évaluer les scénarios de précipitations en élaborant des scénarios climatiques régionaux

Comme l'ont montré les études des phénomènes de sous-échelle uruguayens, il est extrêmement difficile d'élaborer des scénarios climatiques régionaux pour les précipitations. C'est un problème majeur quand on sait que les prévisions en matière de précipitations sont d'une importance capitale pour la plupart des évaluations de la vulnérabilité, de l'atténuation et de l'adaptation. Pour aider à y voir clair en la matière, l'étude de cas qui suit aborde l'élaboration des scénarios de précipitations pour une partie de l'Afrique australe. Le problème que pose la réduction d'échelle des précipitations est particulièrement ardu dans le cas présent, à cause de la faible densité des observations et du fait que cette région est fortement dépendante de l'agriculture rurale (Tadross et al., 2009). Ce cas d'étude est un très bon exemple pour les pays en développement qui sont en train de produire une SDRCSSE, car ils sont susceptibles de se heurter à des problèmes similaires.

Diagramme A-3 : Caractérisation de l'élaboration des scénarios climatiques pour l'Afrique australe en termes de complexité de l'analyse, de résolution spatio-temporelle et des contraintes non scientifiques



L'analyse régionale porte sur une partie de l'Afrique australe d'une superficie d'environ 2 millions de km² (un peu moins que l'Argentine), qui comprend le Malawi, le Mozambique, la Zambie et le Zimbabwe. Tadross et al (2009) se sont chargés des analyses pour évaluer les scénarios des précipitations futures dans

la région et l'impact des changements à venir sur la culture du maïs. Il est à noter que l'application visée pour les scénarios de précipitations futures détermine dans une grande mesure la méthode de réduction d'échelle qui sera choisie. En effet, les changements qui pourraient intervenir dans les précipitations ont de l'importance, car ils ont à voir avec le cycle phénologique des cultures. C'est pourquoi il faut procéder à une réduction d'échelle quotidienne (et non mensuelle) des précipitations, car des changements de précipitations allant de quelques jours à une quinzaine de jours peuvent avoir des effets considérables sur les cultures et sur les décisions relatives à la gestion agricole.

Le diagramme A-3 montre aux gestionnaires de projet comment évaluer la complexité de l'analyse, la résolution spatio-temporelle et les contraintes non scientifiques pour l'étude sur l'Afrique australe. Cette région du sud de l'Afrique est modérément hétérogène et elle est de taille moyenne à grande (surtout si on la compare à Montevideo).

Méthode de réduction d'échelle : On s'est servi d'une méthode statistique pour définir les scénarios des précipitations futures dans cette région d'Afrique australe (voir Hewitson et Crane [2006] pour plus de détails sur la méthode appliquée).

Modalités d'application : La méthode a été appliquée à la période actuelle et à une période ultérieure (2046-2065) pour les prévisions en matière de précipitations, à partir de 7 MCG et d'un seul scénario d'émission. Ces prévisions tiennent donc compte de l'incertitude quant au modèle mais non aux émissions, à la variabilité climatique et à la réduction d'échelle.

DÉFINITION

Tracés en boîte

Un tracé en boîte est utile pour présenter graphiquement des groupes de données à partir d'un résumé en cinq nombres : valeur minimum observée, quartile inférieur (Q1), médiane (Q2), quartile supérieur (Q3), et valeur maximum observée.

Dans l'ensemble, on peut dire que les analyses sont peu complexes, car la réduction d'échelle ne concerne que les précipitations et ne prend en compte qu'un seul scénario d'émissions. (S'il s'agissait uniquement des précipitations, les analyses seraient d'une complexité relativement poussée.) Comme pour les études de cas précédentes, cette désignation n'est donnée qu'à titre d'illustration. La résolution relative de cette analyse (à savoir une échelle temporelle quotidienne et une échelle spatiale correspondant à celle d'une station météorologique) est aussi relativement élevée, qualitativement parlant.

Pour que les gestionnaires de projet et les experts scientifiques comprennent le contexte de cette étude, nous en énonçons les principaux éléments ci-dessous. La façon dont l'éventail prospectif des scénarios relatifs aux précipitations est présenté dans cette étude (avec les limitations décrites plus haut) est d'une grande utilité. Il s'agit de tracés en boîte des précipitations mensuelles totales, du nombre de jours pluvieux par mois, de la durée maximale des périodes sèches et de l'intensité moyenne des précipitations quotidiennes pour donner des précipitations prospectives (diagrammes 11 et 12 dans Tadross et al., [2009]). Des informations aussi détaillées sont cruciales pour les projets en rapport avec des investissements, où les variables requises dépendent de l'application cible.

L'étude montre aussi qu'il est souvent bon de coordonner les initiatives de réduction d'échelle et les études de vulnérabilité. Dans cette évaluation-ci, les analyses des phénomènes actuels se doublent d'une analyse du lien entre les modifications observées des précipitations quotidiennes et l'agriculture (notamment la croissance des cultures et les décisions liées à la gestion agricole). Pour analyser ce lien, on a créé des indices représentant des variables agricoles (en se fondant sur la fréquence et l'intensité des précipitations), notamment les dates de plantation, la durée des périodes sèches, la fréquence des jours sans pluie, l'intensité des précipitations et leur quantité totale aux moments critiques du cycle de croissance des cultures. En outre, on a étudié la connexion entre ces variables et une dynamique climatique à grande échelle (El Niño-oscillation australe et oscillation antarctique) en analysant les observations sur les précipitations quotidiennes. Ces analyses du secteur agricole comprenaient une étude du climat actuel. En conséquence, si un gestionnaire de projet s'aperçoit, avant l'élaboration des scénarios climatiques, qu'il a besoin d'évaluations sectorielles, il doit le faire savoir aux experts scientifiques, afin qu'ils puissent coordonner les analyses en cours, dans la mesure du possible.



Références
bibliographiques

1. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

2. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

3. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

4. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

5. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

6. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

7. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

8. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

9. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

10. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

11. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

12. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

13. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

14. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

15. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

16. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

17. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

18. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

19. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

20. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia](#)

- Argentine. 2007. *Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Republic of Argentina. Disponible à <http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/Segunda%20Comunicacion%20Nacional.pdf>
- Arnell, N., and N. Reynard. 1996. "The Effects of Climate Change Due to Global Warming on River Flows in Great Britain." *Journal of Hydrology* 183 (3-4): 397-424. Disponible à <http://www.sciencedirect.com/science>
- Arnell, N. 2003. "Relative Effects of Multi-Decadal Climatic Variability and Changes in the Mean and Variability of Climate Due to Global Warming: Future Streamflows in Britain." *Journal of Hydrology* 270 (3-4): 195-213. Disponible à <http://www.sciencedirect.com/science>
- Bader, D., et al. 2008. *Climate Models: An Assessment of Strengths and Limitations*, rapport du U.S. Climate Change Science Program et du Subcommittee on Global Change, Research Department of Energy, Office of Biological and Environmental Research, Washington, D.C., 123. Disponible à <http://www.clivar.org/organization/wgcm/refer-ences/sap3-climate-models.pdf>
- Carter, T. 2007. *General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment, Version 2, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment (TGICA)*. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC), Genève. Disponible à http://www.ipcc-data.org/guidelines/TGICA_guidance_sdciaa_v2_final.pdf
- Christensen, J., et al. 2007. *Regional Climate Projections, Climate Change, 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*, University Press, Cambridge, Royaume-Uni. Disponible à http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html
- Diaz-Nieto, J., and R. Wilby. 2005. "A Comparison of Statistical Downscaling and Climate Change Factor Methods: Impacts on Low Flows in the River Thames, United Kingdom." *Climatic Change* 69 (2): 245-268. Disponible à <http://www.mendeley.com/research/a-compar-ison-of-statistical-downscaling-and-climate-change-factor-methods-impacts-on-low-flows-in-the-river-thames-united-kingdom/>
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC*, Cambridge, Royaume-Uni, et New York, USA: Cambridge University Press, 881. Disponible à http://www.csun.edu/~hmc60533/CSUN_630E_S2004/climate%20change/climate_change_2001_tech_summary.pdf
- Hawkins, E., and R. Sutton. 2009. "The Potential to Narrow Uncertainty in Regional Climate Predictions." *Bulletin of the American Meteorological Society* 90 (8): 1095-1107. Disponible à <http://centaur.reading.ac.uk/1766/>
- Hay, L., et al. 2006. "One-Way Coupling Of an Atmospheric and a Hydrologic Model in Colorado." *Journal of Hydrometeorology* 7 (4): 569-589. Disponible à <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JHM512.1>
- Hewitson, B., and R.G. Crane. 2006. "Consensus Between GCM Climate Change Projections with Empirical Downscaling: Precipitation Downscaling over South Africa." *International Journal of Climatology* 26 (10): 1315-1337. Disponible à http://geog.ucsb.edu/~joel/g280_s09/student_contrib/glenday/hewitson.pdf
- Horton, R., et al. 2010. "New York City Panel on Climate Change 2010 Report, Chapter 3: Climate Observations and Projections." *New York Academy of Sciences* 1196: 41-62. Disponible à <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1749-6632.2009.05314.x/full>
- Kalnay, E., et al. 1996. "The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project." *Bulletin of the American Meteorological Society* 77 (3): 437-471. Disponible à <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0477%281996%29077%3C0437%3ATNYRP%3E2.0.CO%3B2>
- Kanamitsu, M., et al. 2002. "NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2)." *Bulletin of the American Meteorological Society* 83 (11): 1631-1643. Disponible à <http://www.mendeley.com/research/ncepdoe-amipii-reanalysis-r2/>
- Khalil, A., et al. 2010. "Predictive Downscaling Based on Non-Homogeneous Hidden Markov Models." *Hydrological Sciences Journal* 55 (3): 333-350. Disponible à <http://www.informaworld.com/smpp/content~db=all~content=a921561994~frm=titlelink?words=khalil&hash=2771316581>
- Knutti, R., et al. 2010. *Good Practice Guidance Paper on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections*. Rédigé pour le rapport de la Réunion d'experts du GIEC sur l'évaluation et la combinaison des projections de modèles climatiques multiples de l'Unité d'appui technique du Groupe de travail I du GIEC, Université de Berne, Suisse. Disponible à <http://www.ipcc.ch/pdf/supporting-material/expert-meeting-assessing-multi-model-projections-2010-01.pdf>
- Lemarié, F., and M. Honnorat. "The Coupled Multi-Scale Downscaling Climate System: a Decision-Making Tool for Developing Countries." Disponible à <http://www.climsat.org/>
- Liang, X., et al. 2001. "Development of a Regional Climate Model for US Midwest Applications. Part I: Sensitivity to Buffer Zone Treatment." *Journal of Climate* 14: 4363-4378. Disponible à <http://journals.ametsoc.org/toc/clim/14/23>
- Loukos, H., et al. "Uncertainty Evaluation in the UNDP/ClimSAT Territorial Climate Profiles." Disponible à <http://www.climsat.org/>
- Lu, X. 2006. *Guidance on the Development of Regional Climate Scenarios for Application in Climate Change Vulnerability and Adaptation assessments* within the Framework of National Communications from parties not included in Annex I to the United Nations Framework Convention on Climate Change. New York : Programme d'appui aux communications nationales, PNUD-PNUE-FEM, 42. Disponible à http://ncsp.undp.org/sites/default/files/NCSP_climate_scenarios_guidance_0.pdf

- Lu, X. 2007. *Applying Climate Information for Adaptation Decision-Making: A Guidance Resource Document*. New York : Programme d'appui aux communications nationales, PNUD-PNUE-FEM. Disponible à http://unfccc.int/files/adaptation/sbsta_agenda_item_adaptation/application/pdf/ncsp_guidance_adaptationdecisionmaking.pdf
- McGuffie, K., and A. Henderson-Sellers. 2005. *A Climate Modelling Primer*. Wiley. Disponible à <http://www.amazon.com/Climate-Modelling-Primer-Kendal-McGuffie/dp/047085751X>
- McMichael, A.J., et al., eds. 2003. *Climate Change and Human Health: Risks and Responses*, Organisation mondiale de la santé, Genève. Disponible à <http://www.who.int/globalchange/publications/climchange.pdf>
- Mearns, L., et al. 2003. *Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Regional Climate Model Experiments*, Publié par le Centre de diffusion des données du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Disponible à http://www.ipcc-data.org/guidelines/dgm_no1_v1_10-2003.pdf
- Michelangeli, P., et al. 2009. "Probabilistic Downscaling Approaches: Application to Wind Cumulative Distribution Functions." *Geophysical Research Letters* 36 (11): L11708. Disponible à <http://www.agu.org/pubs/crossref/2009/2009GL038401.shtml>
- Mo, K., et al. 2005. "Impact of Model Resolution on the Prediction of Summer Precipitation over the United States and Mexico." *Journal of Climate* 18: 3910-3927. Disponible à <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JCLI3513.1>
- Moss, R., et al. 2010. "The Next Generation of Scenarios for Climate Change Research and Assessment." *Nature* 463 (7282): 747-756. Disponible à <http://www.nature.com/nature/journal/v463/n7282/full/nature08823.html>
- Nakicenovic, N., et al. 2000. *Special Report on Emissions Scenarios*, a special report of Working Group III of the IPCC, Cambridge University Press, 599. Disponible à http://www.grida.no/publications/other/ipcc_sr/?src=/climate/ipcc/emission/index.htm
- Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD). 2010. *Mapping Climate Change Vulnerability and Impact Scenarios: A Guidebook for Sub-National Planners*. New York: UNDP. Disponible à <http://www.undp.org>
- Prudhomme, C., and H. Davies. 2009. "Assessing Uncertainties in Climate Change Impact Analyses on the River Flow Regimes in the UK. Part 2: Future Climate." *Climatic Change* 93 (1): 197-222. Disponible à <http://www.springerlink.com/content/k6687g65v363700n/>
- Quintana Segui, P., et al. 2009. "Comparison of Three Downscaling Methods in Simulating the Impact of Climate Change on the Hydrology of Mediterranean Basins." *Journal of Hydrology* 83 (1-2): 111-124. Disponible à http://pere.quintanasegui.com/coses/quintana-et-al_journal-of-hydrology_2009.pdf
- Robertson, A., et al. 2004. "Downscaling of Daily Rainfall Occurrence over Northeast Brazil Using a Hidden Markov Model." *Journal of Climate* 17 (22): 4407-4424. Disponible à <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JCLI-3216.1>
- Skamarock, W., et al. 2008. "A Description of the Advanced Research WRF Version 3 (NCR technical note). Disponible à http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v3_bw.pdf
- Tadross, M., et al. 2009. "Growing-Season Rainfall and Scenarios of Future Change in Southeast Africa: Implications for Cultivating Maize." *Climate Research* 40:147-161. Disponible à <http://www.int-res.com/abstracts/cr/v40/n2-3/p147-161/>
- Wilby, R., et al. 2004. *Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Downscaling Methods*, prepared for consideration by the IPCC at the request of its Task Group on Data and Scenario Support for Impacts and Climate Analysis (TGICA). Disponible à http://www.ipcc-data.org/guidelines/dgm_no2_v1_09_2004.pdf
- Wilby, R., and I. Harris. 2006. "A Framework for Assessing Uncertainties in Climate Change Impacts: Low-Flow Scenarios for the River Thames, UK." *Water Resources Research* 42 (2): W02419.
- Wilby, R. 2008. "Dealing with Uncertainties of Future Climate: The Special Challenge of Semi-Arid Regions." Document soumis à la Tribune de l'eau : Changement climatique et extrêmes de l'eau, Expo Zaragoza, Espagne. Disponible à <http://www.expozara-goza2008.es/ContenidosAgenda/tda-st6-es-doc2.pdf>
- Ziervogel, G., and F. Zermoglio. 2009. "Climate Change Scenarios and the Development of Adaptation Strategies in Africa: Challenges and Opportunities." *Climate Research* 40 (2-3): 133-146. Disponible à <http://www.int-res.com/abstracts/cr/v40/n2-3/p133-146/>



Programme des Nations Unies pour le développement
Bureau des politiques de développement
Groupe de l'environnement et de l'énergie
304 East 45th Street, 9th Floor
New York, NY 10017 USA

www.undp.org

