

P N U E A N N U A I R E

AVANCEES SCIENTIFIQUES ET DEVELOPPEMENTS
DANS NOTRE ENVIRONNEMENT EN MUTATION

2010



UNEP

Programme des Nations Unies pour l'environnement

Copyright © 2010, Programme des Nations Unies pour l'environnement

ISBN : 978-92-807-3045-6

UNEP/GCSS.XI/INF/2

DEW/1196/NA

Avis de non-responsabilité

Le contenu et les opinions exprimés dans le présent ouvrage appartiennent à leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les opinions ou les politiques des organisations contributrices ou du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), et ils n'impliquent pas non plus leur approbation.

Les désignations employées et la présentation du matériel dans le présent ouvrage n'impliquent pas l'expression de quelque opinion que ce soit de la part du PNUE concernant le statut légal d'un pays, d'un territoire ou d'une ville ou ses autorités, ou concernant la délimitation de ses frontières et limites.

La référence à une société ou un produit commercial dans cette publication n'implique pas l'appui du PNUE.

© Cartes, photos et illustrations : comme indiqué.

Photo de couverture : © www.himalayantours.com

Reproduction

Le présent ouvrage peut être reproduit en totalité ou en partie sous une forme quelconque à des fins éducatives ou non lucratives sans autorisation préalable du détenteur des droits d'auteur, sous réserve d'indication de la source. En tel cas, le PNUE souhaite recevoir un exemplaire de toute publication utilisant le présent ouvrage comme source.

Le présent ouvrage ne peut être utilisé à des fins de revente ou toute autre fin commerciale quelle qu'elle soit sans autorisation écrite préalable du PNUE. Pour obtenir une telle autorisation, s'adresser, en indiquant l'objet de la reproduction, au Directeur, DCPI, PNUE, P.O. Box 30552, Nairobi 00100 (Kenya).

Les données contenues dans le présent ouvrage concernant un produit couvert par un brevet ne peuvent être utilisées à des fins publicitaires.

Cette publication a été imprimée dans des infrastructures certifiées ISO 9001 et ISO 14001 (environnement) en utilisant un revêtement à base aqueuse, des encres végétales et du papier sans chlore et sans acide provenant de fibres recyclées certifiées par le Conseil de bonne gestion forestière.

Produit par

la Division de l'alerte précoce et de l'évaluation (DEWA)

le Programme des Nations Unies pour l'environnement

P.O. Box 30552

Nairobi 00100 (Kenya)

Tél : (+254) 20 7621234

Fax : (+254) 20 7623927

E-mail : unepub@unep.org

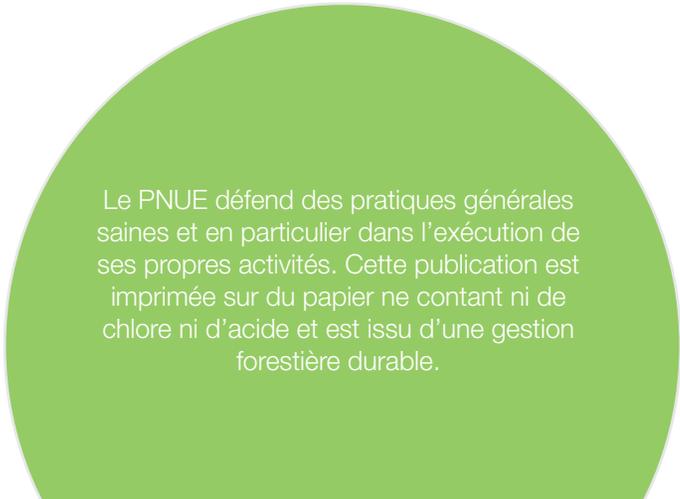
Site Web : www.unep.org

Site Web du PNUE Annuaire : <http://www.unep.org/yearbook/2010>

Art graphique, photocomposition et impression : Phoenix Design Aid (Danemark)

Distribution : SMI (Distribution Services) Ltd., (R.-U.)

Le présent ouvrage est disponible à l'adresse suivante : [Earthprint.com](http://www.earthprint.com) <http://www.earthprint.com>



Le PNUE défend des pratiques générales saines et en particulier dans l'exécution de ses propres activités. Cette publication est imprimée sur du papier ne contenant ni de chlore ni d'acide et est issu d'une gestion forestière durable.

PNUE ANNU AIRE

AVANCEES SCIENTIFIQUES ET DEVELOPPEMENTS
DANS NOTRE ENVIRONNEMENT EN MUTATION

2010



Programme des Nations Unies pour l'environnement

Table des matières

Préface	v	Substances nocives et déchets dangereux	
Introduction	vii	Introduction	23
		Préoccupations persistantes	23
		<i>Questions sans réponse concernant les nanomatériaux</i>	23
Gouvernance environnementale		<i>Suppression progressive des agents ignifuges bromés</i>	25
Introduction	1	<i>Une attention croissante portée aux perturbateurs endocriniens</i>	25
Réforme de la structure de la gouvernance environnementale internationale	1	Flux de déchets et cycle de l'azote	26
<i>Gouvernance environnementale internationale dans le système des Nations Unies</i>	3	<i>Trafic international de déchets toxiques</i>	26
<i>Intégration de la politique environnementale</i>	5	<i>Scandales des déchets toxiques</i>	27
Gouvernance environnementale régionale	6	<i>Le cycle de l'azote en hyperaction</i>	28
<i>Gouvernance écorégionale et gestion des eaux transfrontières</i>	6	<i>Une autre approche des eaux usées urbaines dans l'agriculture</i>	28
Gouvernance au-delà du gouvernement	7	Pollution par les métaux lourds	29
Perspectives	9	Perspectives	30
Calendrier des événements pour 2009	10	Références	32
Calendrier des événements pour 2010	11		
Références	12		
		Changement climatique	
Gestion des écosystèmes		Introduction	33
Introduction	13	Fonte des glaces	33
Destruction de la biodiversité	14	<i>Transformations de l'Arctique</i>	35
Dégradation des écosystèmes	14	Acidification des océans	36
<i>Pêches maritimes menacées</i>	14	Expansion des tropiques et variabilité régionale	37
<i>Régions côtières</i>	15	<i>Sud-ouest de l'Amérique du Nord</i>	38
Modèles de gestion des écosystèmes	15	<i>Région méditerranéenne</i>	38
<i>Systèmes agricoles</i>	16	<i>Amazonie</i>	39
<i>Le besoin africain d'échanger des semences</i>	17	<i>Zones humides, tourbières et fonte du permafrost</i>	40
Interactions écosystème-climat	18	<i>Régions montagneuses</i>	40
<i>Progrès en matière de REDD</i>	19	<i>Motifs d'inquiétude</i>	41
<i>Colonisation assistée</i>	20	Perspectives	41
Perspectives	20	Références	42
Références	21		

Catastrophes et conflits		Rendement des ressources	
Introduction	43	Introduction	55
Causes environnementales des risques de catastrophe	44	Utilisation des matières	55
<i>Changement climatique : transformation des risques de catastrophe</i>	44	Questions relatives à l'énergie	56
<i>Adaptation au changement climatique par la réduction des risques de catastrophe</i>	45	<i>Energie solaire</i>	57
<i>Risques aggravés par les facteurs sociétaux et l'exposition géographique</i>	45	<i>Energie hydraulique</i>	57
Causes environnementales des conflits armés	48	<i>Energie éolienne</i>	57
<i>Pénurie de ressources et ressources de grande valeur</i>	48	Bioénergie	58
<i>Conservation, conflit et consolidation de la paix</i>	49	Recensement de l'eau douce	59
<i>Les conflits armés, une menace pour l'environnement</i>	49	Modification des systèmes naturels	61
<i>Environnement et consolidation de la paix</i>	50	<i>Élimination du dioxyde de carbone</i>	61
Nouveaux outils de gestion des catastrophes et conflits	50	<i>Gestion du rayonnement solaire</i>	62
<i>Nouveaux paradigmes de gouvernance pour une gestion durable des ressources naturelles</i>	51	Perspectives	63
<i>Protection des moyens de subsistance vulnérables par la gestion du risque financier</i>	51	Références	64
<i>Nouvelles technologies pour des alertes précoces</i>	52		
<i>Utilisation du savoir local</i>	52	Acronymes et abréviations	65
Perspectives	53	Remerciements	66
Références	54		

Préface

Il est fort probable que la gouvernance environnementale internationale constitue un thème clé de l'agenda politique en 2010. En effet, un nombre croissant de gouvernements se montrent intéressés par l'engagement de réformes, tandis que d'autres les exigent.

Cette année, la gouvernance sera au centre des préoccupations du Conseil d'administration/ Forum ministériel mondial sur l'environnement du PNUE à Bali, qui sera l'occasion de discuter mais aussi d'effectuer une mise au point en vue de Rio+20 en 2012.

Le Rapport annuel du PNUE 2010 met en évidence le fait que la structure et les mécanismes environnementaux internationaux continuent à se développer, mais d'une manière qui, pour relever les défis environnementaux, fait peut-être double emploi et qui conduit à une plus grande fragmentation plutôt que l'inverse.

Le rapport souligne qu'entre 1998 et 2009, 218 nouveaux accords, protocoles et amendements multilatéraux sur l'environnement ont vu le jour.

Les trois conventions sur les déchets et produits chimiques (conventions de Bâle, de Rotterdam et de Stockholm) dégagent cependant une piste quant à une nouvelle approche possible visant à rationaliser les efforts et à se concentrer sur une économie verte. A Bali, les membres des conférences des parties aux trois conventions participeront à une réunion extraordinaire simultanée, car ils ont décidé au début de l'année 2009 de consolider les fonctions communes des conférences et de renforcer la coopération et la coordination aux niveaux administratif et programmatique.

Les événements et l'issue de la Conférence des Nations Unies sur le changement climatique à Copenhague ont généré des milliers de gros titres et nourri la polémique dans les médias et au-delà.

La difficulté de parvenir à un accord à Copenhague alimente également le débat de la gouvernance, certains responsables réclamant des mesures immédiates et ambitieuses concernant les institutions des Nations Unies compétentes.

Le programme REDD (Réduction des émissions causées par le déboisement et la dégradation des forêts) constitue quant à lui un exemple d'efficacité. Bénéficiant d'un large soutien et rapidement mis en œuvre, il contribuera non seulement à lutter contre le changement climatique, mais aussi à vaincre la pauvreté et à assurer le succès de l'Année internationale de la biodiversité des Nations Unies.

Le rapport estime qu'un investissement de 22 à 29 milliards de dollars pour le programme REDD pourrait entraîner une diminution de 25 % de la déforestation mondiale d'ici 2015. Il met également en avant un nouveau projet REDD prometteur au Brésil, à la réserve de développement durable de Juma, dans l'Amazonie.

Chaque famille y reçoit 28 dollars par mois si la forêt reste intacte : un moyen de faire pencher la balance économique en faveur de la conservation et non de la poursuite de la déforestation.

Seul le temps nous dira si l'ensemble des mesures de l'accord de Copenhague (y compris les engagements et les objectifs concernant les émissions et les subventions pour les pays en développement) met véritablement le monde sur la voie de la réduction de carbone, du rendement des ressources et de l'économie verte.

Il est clair qu'un nombre croissant de pays font pression sur ce front, pour des raisons qui dépassent la problématique du changement climatique. 2010 sera une année décisive pour savoir si ce mouvement peut être accéléré tant sur le plan national qu'international. La conférence des Nations Unies sur le changement climatique au Mexique représente un moment clé à cet égard.



Achim Steiner
Achim Steiner

Sous-secrétaire général des Nations Unies et
Directeur exécutif du
Programme des Nations Unies pour l'environnement

PNUE Annuaire en ligne



Une source croissante d'informations environnementales !

Visitez notre site Web :

www.unep.org/yearbook/2010

- Lisez le **communiqué de presse**
- Téléchargez gratuitement le **rapport complet**, disponible dans les six langues de l'ONU
- Consultez la **base de données** des ressources pour consulter les documents de référence
- Remplissez le **questionnaire** en ligne pour faire connaître votre opinion
- Affichez la carte des **événements environnementaux extrêmes** liés à l'eau
- Téléchargez les **annuaires** précédents



Introduction

Le PNUÉ Annuaire 2010 fait état de nouvelles sciences de l'environnement et des récents développements de notre environnement en mutation. Il met en évidence les progrès réalisés en matière de gouvernance environnementale, les effets de la constante dégradation et de la destruction de nos écosystèmes, les impacts du changement climatique, l'effet des substances nocives et des déchets dangereux sur notre santé et l'environnement, les catastrophes et les conflits liés à l'environnement ainsi que la surexploitation des ressources. Les chapitres correspondent aux six priorités thématiques du PNUÉ.

L'objectif de ce rapport est de consolider l'interface science-politique. Il présente donc de récentes évolutions et de nouvelles conclusions scientifiques d'un intérêt particulier pour les décideurs. Conformément au format et au style de ce rapport, des problèmes importants sont examinés, référencés et souvent illustrés. Les principales sources d'information sont des articles évalués par des pairs dans des revues scientifiques, des résultats publiés par des instituts de recherche, des nouveaux articles et d'autres rapports. Si le rapport amène au premier plan les points de vue exprimés et les progrès effectués ces derniers mois, il n'approuve aucune opinion ni découverte scientifique particulière.

Son contenu est le résultat d'un processus de sélection et d'évaluation par des pairs qui a mobilisé plus de 70 experts. Sur plus de 100 thèmes émergents suggérés par des experts, moins d'un tiers ont été traités dans ce rapport 2010.

Certains des sujets abordés sont déjà familiers, tandis que d'autres sont nouveaux

ou représentent des années de recherches et de discussions au sein de la communauté scientifique. L'incertitude ou les désaccords concernant les résultats sont inhérents à la recherche scientifique. Le rapport reconnaît dès lors qu'il existe différentes positions.

Le premier chapitre, consacré à la *gouvernance environnementale*, fait état de l'intensification des efforts intergouvernementaux pour réformer le système des Nations Unies pour la gouvernance environnementale internationale. Ce chapitre souligne également les dimensions régionales ainsi que le rôle majeur des organisations non gouvernementales et du secteur privé.

Le chapitre relatif à la *gestion des écosystèmes* présente des avancées scientifiques concernant les limites des écosystèmes et les limites planétaires. Des inquiétudes touchant le maintien d'écosystèmes sains en dépit de la pression démographique et du changement climatique sont soulignées. La production alimentaire dépend de la capacité des écosystèmes à fournir de l'eau et des sols, à assurer la régulation du climat et à rendre d'autres services. La perte de ces bienfaits, combinée à l'augmentation de la production de biocarburants dans différentes parties du monde, risque de réduire la quantité des terres disponibles pour les cultures vivrières.

Le chapitre concernant les *substances nocives et les déchets dangereux* se concentre sur les risques et dangers potentiels associés aux nanomatériaux, aux perturbateurs endocriniens, aux agents ignifuges bromés et à certains pesticides fréquemment utilisés. L'impact du transport international de déchets dangereux et

électroniques sur notre santé et sur l'environnement est également examiné.

Le chapitre traitant du *changement climatique* étudie les effets de la hausse des concentrations des gaz à effet de serre sur les systèmes mondiaux. La fonte de la glace marine de l'Arctique, l'acidification des océans et l'élargissement de la ceinture tropicale comptent parmi les perturbations associées au changement climatique. Ce chapitre évoque les progrès réalisés en ce qui concerne « l'attribution du changement climatique », qui décrit les mécanismes tenus responsables des modifications du climat.

Le chapitre dédié aux *catastrophes et conflits* insiste sur l'importance d'une gestion durable des ressources naturelles dans un contexte de prévention des conflits et de consolidation de la paix. Il aborde les outils utilisés, notamment : l'analyse des risques et le relevé comprenant les indicateurs environnementaux et le savoir local. Ce chapitre étudie également les causes environnementales des risques de catastrophe ainsi que l'effet du changement climatique sur ces risques.

Le dernier chapitre, consacré à l'analyse du *rendement des ressources*, s'attache au problème fondamental de la production et de la consommation non durables, qui provoquent l'épuisement des ressources naturelles, le changement climatique et l'accumulation des déchets, ainsi qu'aux solutions technologiques proposées par la géo-ingénierie. Bien que les émissions de CO₂ liées à l'énergie continuent à augmenter, des avancées sont observées dans un certain nombre de domaines quant à l'investissement dans les sources d'énergie renouvelable.

L'eau constitue un thème récurrent de ce rapport. Chaque chapitre envisage les changements environnementaux liés à l'eau, ainsi que certains défis et opportunités :

- Des avancées prometteuses ont été réalisées en matière de coopération régionale pour gérer les bassins fluviaux transfrontaliers, qui couvrent plus de 45 % de la surface terrestre et affectent directement environ 40 % de la population mondiale.
- L'affaissement des deltas densément peuplés et faisant l'objet d'une agriculture intensive bénéficie d'une attention croissante. Les activités humaines directes ont fortement augmenté leur vulnérabilité.
- L'élargissement de la ceinture tropicale est une évolution associée au changement climatique. Cette transformation aura un effet en cascade sur les systèmes de circulation à grande échelle. Les régimes de précipitations, dont dépendent les écosystèmes naturels, la productivité agricole et les ressources en eau, en subiront les conséquences. Plusieurs régions devraient être davantage touchées par des sécheresses persistantes et des pénuries d'eau.

- Alors que les pénuries d'eau, qui toucheront probablement près de la moitié de la population mondiale d'ici 2030, provoquent une inquiétude croissante, les technologies traditionnelles trouvent de nouvelles applications. Les qanats ou karez, systèmes d'irrigation traditionnels dans certaines régions arides ou semi-arides, récoltent les eaux souterraines dans des tunnels souterrains, qu'ils distribuent ensuite à des fins d'irrigation et d'usage domestique.
- L'agriculture a longtemps réutilisé les eaux usées pour s'alimenter en eau et en nutriments. Dans les zones urbaines et périurbaines du monde, on estime que les eaux usées irriguent près de la moitié des jardins, des accotements routiers et des petits champs servant à l'agriculture vivrière. L'utilisation sûre de cette ressource naturelle est examinée.
- Le rapport comprend également une carte des événements environnementaux extrêmes liés à l'eau survenus en 2009.

PNUE Annuaire 2010 est fourni à titre informatif pour la onzième session spéciale du Conseil d'administration/Forum ministériel mondial sur l'environnement du PNUE. Il constitue également une source fiable d'informations sur l'environnement pour les non-spécialistes, les instituts de recherche, les universités et les écoles. Vos réactions sur le PNUE Annuaire 2010 sont les bienvenues, ainsi que vos suggestions relatives aux thèmes émergents à traiter dans la prochaine édition. Nous invitons les lecteurs à utiliser le questionnaire en dernière page ou à visiter le site : www.unep.org/yearbook/2010/

Gouvernance environnementale

En 2009, les efforts visant à faire progresser la gouvernance environnementale internationale se sont concentrés sur la définition des fonctions et objectifs clés d'une architecture des Nations Unies améliorée afin d'aborder le changement écologique mondial.



Rassemblement de plusieurs acteurs à la recherche de solutions face aux problèmes écologiques. Environ 15 000 représentants des gouvernements, des organisations non gouvernementales et des médias ont participé à la conférence des Nations Unies sur le changement climatique à Copenhague.

Photo : Bob Strong

INTRODUCTION

L'année 2009 a été marquée par l'occurrence de plusieurs crises mondiales. Dans le monde entier, des sociétés ont subi les conséquences désastreuses de la tourmente économique et financière, des fluctuations des prix des denrées alimentaires et des pénuries, ainsi que de l'instabilité du marché de l'énergie. Les décideurs ont mis sur pied de vastes programmes de relance économique. Les crises financières, alimentaires et énergétiques n'ont pas été sans effet sur les autres défis environnementaux et sociaux. Celles-ci sont d'ailleurs étroitement liées aux phénomènes incessants de destruction de la biodiversité, de dégradation des écosystèmes et de changement climatique. Par conséquent, ces crises ont renforcé les difficultés existantes pour atteindre les Objectifs du

millénaire pour le développement (ONU, 2009).

2009 a connu une intensification des efforts intergouvernementaux afin de réformer le système des Nations Unies pour la gouvernance environnementale internationale (GEI). Le Conseil d'administration du PNUE a créé un groupe consultatif de ministres ou de représentants de haut niveau sur la gouvernance environnementale internationale, qui a examiné les objectifs principaux et les fonctions correspondantes de la GEI dans le cadre du système des Nations Unies.

Cette année restera également marquante du point de vue des moyens internationaux mis en œuvre afin de parvenir à un nouvel accord pour faire face au changement climatique, devenu une préoccupation majeure de gouvernance et de politique à long terme (Giddens, 2009 ;

Hovi et alii, 2009 ; Walker et alii, 2009 ; Beck, 2008).

Les différentes évolutions survenues en 2009 ont démontré que la gouvernance environnementale régionale a un rôle à jouer pour contribuer à atteindre les objectifs environnementaux mondiaux. Les délégués de plusieurs réunions relatives aux accords multilatéraux sur l'environnement (AME) ont négocié des moyens de décentraliser la gouvernance environnementale, notamment en ce qui concerne la gestion des substances chimiques et des déchets (POP, PNUE, 2009). Les initiatives régionales ont également été mises en évidence dans le contexte de la gouvernance de l'eau et de la gestion forestière durable (McAlpine, 2009).

L'implication du secteur privé dans divers aspects de la gouvernance tenait également une bonne place dans l'agenda politique international de 2009, particulièrement à la suite de la crise financière, qui a imposé une vive pression sur les finances publiques. Les partenariats public-privé ont connu un engouement croissant, ont rencontré un succès considérable, et certaines leçons importantes ont été tirées.

REFORME DE LA STRUCTURE DE LA LA GOUVERNANCE ENVIRONNEMENTALE INTERNATIONALE

Le terme « gouvernance » a été défini de plusieurs manières différentes en fonction des domaines de compétence et de la situation de l'autorité décisionnaire (ECOSOC, 2006). Ces derniers temps, de nombreuses fonctions de gouvernance influençant les comportements individuels et collectifs ont été exécutées au-delà des limites des compétences exclusives des gouvernements. La définition suivante a dès lors vu le jour : « la gouvernance, quel que soit le niveau d'organisation sociale auquel elle a lieu, désigne la gestion des affaires publiques, la constellation de pratiques, d'institutions et de règles officielles grâce à laquelle une collectivité dirige ses activités » (Ruggie, 2004). Parmi les intervenants les plus importants du processus de la GEI, on compte

les gouvernements nationaux, les organisations intergouvernementales telles que les Nations Unies et ses organismes spécialisés, les groupes de la société civile, les associations du secteur privé ainsi qu'une série de partenariats entre les acteurs de la société civile, privée et publique. Les mécanismes et institutions clés qui organisent la GEI impliquent une multitude d'initiatives et de processus intergouvernementaux, non gouvernementaux et public-privé qui diffèrent par leur taille, leur structure et leurs membres.

En 2009, d'importantes délibérations se sont concentrées sur la réforme de l'ensemble du système des Nations Unies pour la gouvernance environnementale internationale. Ce processus, qui a débuté il y a dix ans, a pris de plus en plus d'ampleur et s'est accéléré avec la conférence des Nations Unies sur le changement climatique (COP15) à Copenhague, les négociations pour la cinquième reconstitution des ressources du Fonds pour l'environnement mondial (FEM) en 2010, et le lancement du processus préparatoire pour la Conférence des Nations Unies sur le développement durable, qui se tiendra au Brésil en 2012.

Les impacts divers et complexes du changement climatique soulignent l'importance des domaines sociaux et environnementaux connexes, notamment la gestion des eaux, la préservation de la biodiversité, ainsi que la gestion forestière et du territoire. En 2009, le changement climatique était au centre des préoccupations de différentes réunions relatives aux AME et d'autres rassemblements (**Encadré 1**). Les liens entre les différents problèmes environnementaux accentuent l'importance de l'élaboration d'approches intégrées pour faire face au changement climatique dans le cadre du développement durable, conformément au principe des responsabilités communes mais différenciées et des capacités respectives (CDD, 2009a).

L'année dernière, les négociations relatives au changement climatique et à la réforme de la GEI ont été rapprochées lorsque le président français, Nicolas Sarkozy, et la chancelière allemande, Angela Merkel, ont fait part de leur position avant le sommet sur le changement climatique à New York. Afin de parvenir à un accord « efficace et juste » à Copenhague, ils ont déclaré qu'il était nécessaire de « mettre sur pied une nouvelle structure institutionnelle pour renforcer le développement d'une législation environnementale internationale. La gouvernance environnementale doit être modernisée. Nous devons tirer profit de l'élan hérité de Copenhague pour continuer à tendre vers la création d'une organisation

mondiale de l'environnement » (Merkel et Sarkozy, 2009). Les dirigeants de nombreux pays en développement acquiescent. Le président kényan, Mwai Kibaki, par exemple, a prié les dirigeants africains de soutenir la transformation du PNUE en une organisation mondiale de l'environnement basée à Nairobi. Appel entendu et transformé en une résolution adoptée au cours de la 18e session de l'Assemblée parlementaire paritaire Afrique - Caraïbes - Pacifique - Union européenne, ainsi qu'au forum de Glion sur la gouvernance environnementale mondiale, qui a rassemblé des universitaires, des experts et les cinq directeurs exécutifs successifs du PNUE (APP ACP-UE, 2009, GEGP, 2009).

Les incitations à créer et à financer de manière adaptée une telle organisation ne datent pas d'hier (Biermann et alii, 2009a, Walker et alii, 2009, Runge, 2001, Biermann, 2000, Esty, 1994). Un élément important de la réforme de la GEI concerne la définition des objectifs et des fonctions des activités des Nations Unies concernant la GEI et le statut à donner à l'environnement dans le cadre du développement durable. Le renforcement de la cohérence en matière de gouvernance environnementale internationale est un autre aspect mentionné. Les experts et les professionnels du monde entier considèrent pratiquement tous l'étendue actuelle du chevauchement, du double emploi et de la fragmentation comme une faiblesse. Cet avis a été repris dans le rapport 2008 du corps commun d'inspection (CCI) des Nations Unies sur la gouvernance environnementale internationale (Biermann et alii, 2009a, Oberthür, 2009, UMOC, 2008). Dans son discours au Conseil d'administration/Forum ministériel mondial de l'environnement (CA/FMME) du PNUE en 2009, Marthinus van Schalkwyk, le ministre sud-africain des affaires environnementales et du tourisme, a qualifié « le phénomène croissant de fragmentation et de double emploi dans un système surchargé » d'obstacle majeur pour l'intégration des préoccupations environnementales dans les prises de décisions macro-économiques, et de problème d'une « importance cruciale » pour les pays en développement (Van Schalkwyk, 2009). Parallèlement, d'autres soutiennent que le système diversifié existant peut contribuer à la stabilité, enrichir l'expérience, encourager l'apprentissage et faciliter la formation de coalitions entre parties volontaires en proposant d'autres lieux de dialogue et d'action (Ansell et Balsiger, 2009, Ostrom, 2009, Galaz et alii, 2008, Dietz et alii, 2003).

Encadré 1 : Corrélations entre le changement climatique et d'autres problèmes écologiques en 2009

Eau

Au 5ème Forum mondial de l'eau, le Sous-secrétaire général aux affaires économiques et sociales de l'ONU a proposé deux actions stratégiques relatives au thème de cette conférence « Surmontons les divisions pour l'eau » : s'impliquer avec d'autres communautés politiques sur le lien entre les défis de l'eau et le changement climatique et accélérer les progrès en matière d'adaptation au changement climatique (Zukang, 2009).

Biodiversité

Dans son discours à l'Assemblée générale de l'ONU, le Secrétaire exécutif de la Convention sur la diversité biologique (CDB) a déclaré que « si le changement climatique constitue un problème, la biodiversité en est l'une des solutions » et a ajouté que « les forêts, les zones humides, les tourbières et les océans font partie de la solution aux changements climatiques » (CDB, 2009b).

Forêts

Dans son discours de bienvenue à la huitième session du Forum des Nations Unies sur les forêts, le Président a souligné qu'une importance sans précédent a été accordée aux activités du Forum en raison de la « reconnaissance grandissante du rôle des forêts dans les négociations relatives au changement climatique » (Purnama, 2009).

Désertification

Lors de la neuvième session de la Conférence des Parties à la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (UNCCD), le Secrétaire général de l'ONU a souligné que la désertification, la dévastation des terres et la sécheresse peuvent aggraver la pauvreté et la vulnérabilité par rapport au changement climatique (IIDD, 2009a).

Ozone

Les délibérations de la vingt et unième réunion des Parties au Protocole de Montréal sont axées sur la réduction progressive proposée, mais rejetée, des hydrofluorocarbones (HFC), dont certains ont des effets potentiels sur le réchauffement planétaire même s'il ne s'agit pas de substances qui appauvrissent la couche d'ozone (IIDD, 2009b).

Produits chimiques et déchets

En octobre 2009, les Parties à la Convention de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (UNECE) sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement (la Convention d'Aarhus) ont adopté le Protocole de Kiev sur les registres des rejets et transferts de polluants. Ce Protocole exige que les entreprises du secteur privé déclarent leurs rejets dans l'environnement et leurs transferts hors site de 86 polluants, dont les gaz à effet de serre. Il requiert également que ces informations soient accessibles au public (UNECE, 2009).

Gouvernance environnementale internationale (International environmental governance)

Dans un bref résumé des consultations ministérielles de la vingt-cinquième session du Conseil d'administration/Forum ministériel mondial de l'environnement du PNUE, le Président a déclaré que « pour la première fois depuis de nombreuses années, nous sommes en bonne voie pour faire progresser la gouvernance environnementale internationale dans les négociations relatives au changement climatique » (PNUE, 2009a).

Gouvernance environnementale internationale (International environmental governance) dans le système des Nations Unies

Le rapport 2008 du corps commun d'inspection constitue l'une des analyses récentes les plus complètes mettant en évidence les faiblesses de la gouvernance environnementale internationale. Celles-ci sont dues à la fragmentation institutionnelle et au manque d'approches holistiques en ce qui concerne les questions environnementales et le développement durable (UMOC, 2008). Ce rapport, actuellement analysé par l'Assemblée générale de l'ONU et le CA/FMME du PNUE, met également en cause le cadre de gestion qui ne parvient pas à faire en sorte que les considérations environnementales et le respect des AME soient intégrées dans des stratégies de développement. Bien que formulée dans des termes forts, cette étude fait partie d'une série de rapports préparés au fil des années sur l'établissement de la GEI dans le document d'options des coprésidents des consultations informelles de l'Assemblée générale (AGNU, 2007), qui sert de suivi au compte-rendu du Sommet mondial de 2005 (AGNU, 2005).

En 2009, la communauté internationale a poursuivi ses efforts pour aboutir à une réforme de la GEI. Le Conseil d'administration du PNUE a mis sur pied le Groupe consultatif de ministres ou représentants de haut niveau

sur la gouvernance environnementale internationale afin qu'il émette des recommandations pour améliorer la GEI (PNUE, 2009b ; PNUE, 2009c). Au cours de réunions à Belgrade en juin et à Rome en octobre, le Groupe consultatif a identifié plusieurs options pour le portefeuille environnemental des Nations Unies. Le Groupe présentera ses conclusions lors de la onzième session spéciale du CA/FMME en février 2010 à Bali, en Indonésie. L'issue de cette session spéciale sur la GEI devrait alimenter le processus de l'Assemblée générale visant à faciliter la réforme de la gouvernance environnementale internationale.

En juin 2009, lors de la première réunion dudit groupe à Belgrade, les coprésidents ont tiré les conclusions suivantes : « toute réforme de la GEI doit reposer sur le principe du fonctionnalisme ; les consultations relatives aux fonctions doivent donner naissance à une discussion sur les formes, qui peuvent aller de changements progressifs à d'autres réformes institutionnelles plus vastes ; le débat concernant la GEI doit être envisagé dans un contexte plus large de viabilité environnementale et de développement durable ; les différentes possibilités d'amélioration de la GEI doivent découler d'un examen nouveau des différents défis et des opportunités émergentes ; les changements progressifs concernant la GEI peuvent être considérés parallèlement à d'autres réformes plus essentielles ; le

travail du groupe consultatif doit se poursuivre et être de nature politique » (PNUE, 2009d).

Les propositions de réforme de la GEI ont envisagé aussi bien une réforme progressive qu'une réforme en profondeur. La création d'un organisme de coordination mondial constitue un exemple de suggestion de réforme en profondeur. Faute de parvenir à mettre sur pied une organisation environnementale mondiale (ou des Nations Unies) capable de traiter tous les AME dans un cadre institutionnel commun, certains spécialistes en matière de gouvernance se sont prononcés en faveur d'approches moins ambitieuses mais politiquement plus envisageables (Oberthür, 2009, Von Moltke, 2001). Le développement d'accords légalement contraignants a constitué la pierre angulaire de la gouvernance environnementale internationale, mais leur nombre croissant et le manque de coordination observé ont engendré de nombreuses critiques (Biermann et alii, 2009b). En août, le président Sarkozy a épinglé la prolifération des accords multilatéraux sur l'environnement lors de la 17e Conférence des ambassadeurs à Paris (Sarkozy, 2009). Cette problématique a également été évoquée en juin 2008, lors de la réunion des chefs de gouvernement du Commonwealth sur la réforme des institutions internationales (Secrétariat du Commonwealth, 2009).



Ministres et autres représentants de haut niveau participant à la première réunion du Groupe consultatif de ministres ou représentants de haut niveau sur la gouvernance environnementale internationale, qui s'est tenue les 27 et 28 juin 2009 à Belgrade (Serbie). Une deuxième réunion du Groupe consultatif s'est déroulée du 26 au 29 octobre à Rome (Italie).

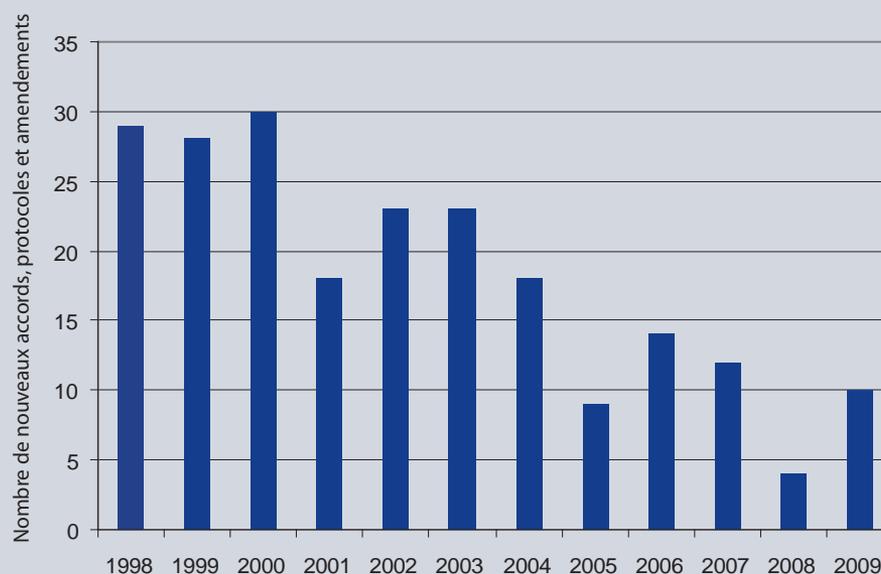
Photo : le Ministère serbe de la planification environnementale et spatiale

Bien que l'augmentation annuelle du nombre de nouveaux accords, protocoles et amendements ait ralenti ces dix dernières années (**Figure 1**), il existe une pluralité croissante et une fragmentation possible. En 2009, un exemple frappant du regroupement des AME a été observé dans le domaine de la gestion internationale des substances chimiques et des déchets. Au début de l'année 2009, les parties signataires de trois conventions internationales relatives aux substances chimiques et aux déchets ont accepté de consolider leurs fonctions communes et de renforcer la coopération et la coordination aux niveaux administratif et programmatique. Le processus de synergie de la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et de leur élimination, la Convention de Rotterdam sur la procédure de consentement préalable en connaissance de cause applicable à certains produits chimiques et pesticides dangereux qui font l'objet d'un commerce international ainsi que la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants ont été salués comme étant des exemples éminents de la réforme de la GEI (POP, PNUE, 2009).

Un rapport sur les résultats obtenus par cette approche est attendu pour la onzième session spéciale du Conseil d'administration/Forum ministériel mondial de l'environnement du PNUE à Bali en 2010. Des progrès ont déjà été effectués dans de nombreux domaines, y compris la fourniture d'assistance technique, la représentation conjointe aux réunions, la production de matériel de sensibilisation collective et l'établissement d'un mécanisme commun de chambre de compensation (PNUE, 2009g). En guise de signe de soutien politique au processus de synergie, la première réunion extraordinaire des Conférences des Parties aux trois Conventions suivra de près la session spéciale du Conseil d'administration/Forum ministériel mondial de l'environnement de Bali.

Alors que nous avançons dans l'Année internationale de la biodiversité, les informations obtenues grâce au processus de synergies seront précieuses aux CdP des six conventions relatives à la biodiversité (Convention sur la diversité biologique, Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction, Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage, Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture, Convention sur les zones humides [communément appelée Convention de Ramsar] et la Convention sur le patrimoine mondial) et, entre autres, au Groupe de liaison sur la biodiversité, qui travaille depuis

Figure 1 : Nombre de nouveaux accords, protocoles et amendements multilatéraux sur l'environnement de 1998 à 2009



Entre 1998 et 2009, 218 nouveaux accords, protocoles et amendements multilatéraux sur l'environnement ont vu le jour.

Source : Mitchell (2009)

2004 à l'amélioration de la cohérence et de la coopération en termes de mise en œuvre des conventions relatives à la biodiversité (CDB, 2009a).

Les théoriciens comme les praticiens citent la fragmentation, le chevauchement et le double emploi parmi les principales raisons de réformer le système des Nations Unies pour la gouvernance environnementale internationale (PNUE, 2009c, Ivanova et Roy, 2007, AGNU, 2007, Biermann et Bauer, 2005, Esty, 2003, Charnovitz, 2002, Runge, 2001). Lors de la première réunion du groupe consultatif de ministres ou de représentants de haut niveau sur la gouvernance environnementale internationale, les délégués ont souligné que « lorsqu'ils s'attèlent aux menaces pesant sur l'alimentation, l'énergie et la sécurité de l'eau, et luttent contre le changement climatique, les Etats ont affaire à une série d'agences des Nations Unies, d'institutions et de mécanismes financiers, d'intérêts du secteur privé et d'organisations de la société civile » (PNUE, 2009d). Selon des informations sur 18 AME compilées par l'Institut international de développement durable, 540 réunions ont eu lieu entre 1992 et 2007, qui ont donné lieu à plus de 5 000 résolutions ou décisions (PNUE, 2009f).

Le chevauchement et la fragmentation institutionnels, comme indiqué ci-dessus, sont souvent considérés

comme défavorables à une gouvernance efficace. Dans son résumé de la vingt-cinquième session du CA/FMME, le Président a relevé que « l'incohérence et la complexité du système de gouvernance environnementale internationale peut entraîner des coûts de transaction élevés, ce qui décourage les pays en voie de développement et ceux dont l'économie est en période de transition de participer au système » (PNUE, 2009a).

Intégration de la politique environnementale

L'intégration des dimensions environnementales, économiques et sociales de la durabilité est un thème clé de la réaction internationale aux crises financière, alimentaire et énergétique. Des déclarations de haut niveau issues du processus de réformes de la GEI en cours n'ont eu de cesse de répéter qu'une réforme devait avoir lieu dans le contexte plus large de développement durable. Les propositions d'intégration de problèmes environnementaux à la récupération économique et au développement socio-économique ont plus généralement convergé vers le Green New Deal élaboré par Edward Barbier et d'autres économistes ainsi que la Green Economy Initiative (Initiative d'économie verte) du PNUE. Le Global Green New Deal

recommande notamment qu'une partie significative des 3,1 trillions \$ estimés des programmes de relance économique soit utilisée pour l'efficacité énergétique des bâtiments, des technologies d'énergie renouvelable et de transports durables, les écosystèmes, et une agriculture durable (Barbier, 2010, PNUE, 2009e).

L'intégration de la politique environnementale n'est pas un concept nouveau, mais les crises financière et climatique ont incité les scientifiques (et d'autres) à examiner les résultats atteints (Mickwitz et alii, 2009). Au niveau national, l'intégration de la politique environnementale peut s'effectuer à l'aide d'outils politiques :

- *Des outils de communication*, tels que des stratégies environnementales et de développement durable, des besoins de stratégies sectorielles, des rapports de performances, des études de performances externes et indépendantes et l'inclusion d'objectifs environnementaux dans la constitution nationale ;
- *Des outils organisationnels*, tels que la combinaison de départements, de « cabinets verts », d'unités environnementales au sein des départements sectoriels et de groupes de travail indépendants ; et
- *Des outils procéduraux*, tels que des droits de veto ou de consultation obligatoire pour les départements environnementaux, la création d'un budget et l'évaluation de l'impact environnemental.

Une analyse des 30 pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) a révélé que la plupart d'entre eux avaient introduit des *outils de communication* et que beaucoup avaient créé de nouvelles organisations. Toutefois, peu avaient élaboré de nouveaux *outils procéduraux* (Jacob et alii, 2008).

L'intégration de politiques environnementales concerne autant les pays développés que ceux en voie de développement. Une étude récente du statut de l'intégration des politiques environnementales en Asie centrale a montré que les groupes de travail interministériels sont courants, que les ministères sectoriels ont mis sur pied des unités environnementales spécialisées et que certaines politiques relatives à l'énergie et aux transports ont fait l'objet d'une analyse environnementale. Néanmoins, une culture de coopération interministérielle limitée persiste (OCDE, 2009a).

Quel est l'état d'intégration des politiques

environnementales au niveau mondial ? L'utilisation de la même classification d'outils de politique révèle une diversité considérable des instruments utilisés (Biermann et alii, 2009a). *Les outils de communication* comprennent les AME qui nécessitent que les signataires introduisent des dispositions pertinentes dans les cadres légaux nationaux. En outre, plusieurs assemblées internationales au cours de l'année concluent par une déclaration politique semblable. Il existe aussi de nombreux *outils organisationnels* au niveau international, y compris le Groupe de gestion de l'environnement des Nations Unies (EMG) au niveau interagences et les réunions des ministres de l'Environnement du G8 au niveau intergouvernemental. Un exemple d'*outil procédural* au niveau mondial : la déclaration appuyée par le Conseil des chefs de secrétariat des organismes des Nations Unies pour la coordination (CCS) lors de sa session d'octobre 2007 sur le fait de cheminer vers la neutralité carbone de l'ONU et le travail lié à l'EMG soutenu par le fonds du PNUE pour une ONU durable (SUN) pour mettre en œuvre la déclaration du Conseil et promouvoir les pratiques de gestion durable (ONU, 2007).

Un *outil procédural* relatif à l'intégration de l'adaptation au changement climatique dans l'aide publique au développement (APD) a fait l'objet d'une attention croissante (Persson, 2009). Le rôle essentiel de l'adaptation au changement climatique en tant qu'élément de l'APD a été mis en lumière dans plusieurs directives politiques majeures publiées en 2008 et 2009 par l'OCDE, la Banque mondiale et le Partenariat pour la recherche environnementale européenne (PEER) (Mani et alii, 2009, Mickwitz et alii, 2009, OCDE, 2009b). De nombreuses initiatives de recherche, comme le projet ADAM (Adaptation and Mitigation Strategies : Supporting European Climate Policy) financé

par l'Union européenne, ont estimé la mesure dans laquelle l'adaptation au changement climatique a été intégrée à l'aide au développement. Le projet ADAM a rendu ses conclusions en juillet 2009. Ses résultats suggèrent que l'adaptation est un domaine fortement intersectoriel destiné à une approche d'intégration, même si son étendue et son caractère multidimensionnel appellent à des définitions plus spécifiques à chaque secteur. Le projet ADAM a aussi découvert que l'attention accordée à l'adaptation au changement climatique dans les projets d'APD et les stratégies des pays s'est révélée limitée jusqu'ici (ADAM, 2009).

Un rapport récent du PEER a analysé le degré d'intégration de la politique climatique en Allemagne, au Danemark, en Espagne, en Finlande et au Royaume-Uni (Mickwitz et alii, 2009). Ce rapport définit l'intégration de la politique climatique comme « l'incorporation des objectifs de la limitation du changement climatique et l'adaptation à toutes les étapes de l'établissement de politiques dans d'autres secteurs environnementaux ou non, complétées par un effort de rassemblement des conséquences attendues pour l'atténuation et l'adaptation au changement climatique dans une évaluation générale de la politique, et un engagement à minimiser les contradictions entre les politiques climatiques et les autres » (Mickwitz et alii, 2009). Les critères utilisés par les auteurs pour évaluer le degré d'intégration de la politique climatique sont résumés dans l'**Encadré 2**. Le premier critère, l'« inclusion », fait partie des prérequis. Un niveau minimum d'intégration est nécessaire pour procéder à l'analyse. Les autres critères aident à évaluer la mesure dans laquelle les préoccupations liées au changement climatique sont intégrées dans d'autres secteurs politiques, tels que les transports ou l'agriculture (intégration horizontale) et au niveau du gouvernement (intégration verticale). Le rapport du PEER

Encadré 2 : Critères pour évaluer l'étendue de l'intégration de la politique climatique

CRITERE	QUESTION CLE
Inclusion	Dans quelle mesure les impacts directs et indirects de l'atténuation et de l'adaptation au changement climatique sont-ils couverts ?
Cohérence	Les contradictions entre les objectifs concernant l'atténuation et l'adaptation au changement climatique et les autres objectifs politiques ont-elles été évaluées, et des efforts ont-ils été fournis pour minimiser les contradictions révélées ?
Pondération	Les priorités relatives des impacts de l'atténuation et de l'adaptation au changement climatique par rapport aux objectifs politiques ont-elles été établies, et si ce n'est pas le cas, existe-t-il des procédures pour déterminer les priorités relatives ?
Remise de rapports	Existe-t-il des critères d'évaluation et de remise de rapports clairement formulés pour les impacts de l'atténuation et l'adaptation au changement climatique, avec des échéances ex ante et de telles évaluations et remises de rapports ont-elles été réalisées ex post ? Des indicateurs ont-ils été définis, suivis et utilisés ?
Ressources	Du savoir-faire interne ainsi qu'externe concernant les impacts de l'atténuation et de l'adaptation au changement climatique est-il disponible et utilisé, et des ressources sont-elles fournies ?

Source : Mickwitz et alii (2009)

a constaté que tandis que le changement climatique est à présent largement reconnu dans les stratégies et les programmes, il est urgent d'intensifier l'intégration de la politique climatique à des outils politiques spécifiques, comme la planification spatiale et la définition d'un budget gouvernemental (Mickwitz et alii, 2009).

LA GOUVERNANCE ENVIRONNEMENTALE REGIONALE

Le terme « région » peut se référer à une zone géographique de la taille d'une zone humide transfrontalière ou d'un continent entier. Les organisations d'intégration économique régionales comme l'UE fournissent de nombreux exemples de gouvernance environnementale régionale. Dans ce cas, les régions se définissent par groupes d'états. De même, les positions régionales dans les négociations intergouvernementales sont généralement associées à des groupes d'états.

Certains problèmes environnementaux, comme le changement climatique ou la régression de la couche d'ozone, ont été définis comme problèmes mondiaux

Encadré 3 : Dimensions régionales de la gouvernance environnementale

Changement climatique

La signification des prévisions du changement climatique à l'échelle régionale pour la prise de décision a été reconnue dans la décision du GIEC d'inclure une mise au point régionale dans son cinquième rapport d'évaluation à venir. Le cinquième rapport d'évaluation étudiera également les sous-régions et zones névralgiques interrégionales comme la Méditerranée et les immenses deltas (IIDD, 2009c).

Désertification

A la neuvième Conférence des Parties à la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification, les délégués ont progressé vers l'établissement de mécanismes de coordination régionale. Même si la décision correspondante n'a pas fait référence aux « bureaux régionaux », en partie parce que les pays développés sont inquiets qu'une telle décentralisation établisse un précédent pour d'autres conventions, il s'agit d'un progrès (UNCCD, 2009).

Produits chimiques et déchets

Lors de sa quatrième réunion, la Conférence des Parties à la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants a approuvé huit institutions qui serviront en tant que centres régionaux et sous-régionaux pour le renforcement des capacités et le transfert de technologies (POP, PNUJ, 2009).

Foresterie

Dans les événements précédant le 13e Congrès Forestier Mondial, un atelier de pré-Congrès a souligné que la coopération au niveau régional met les stratégies en pratique et permet la progression de la gestion forestière durable (McAlpine, 2009).

nécessitant des approches globales. D'autres, comme la gestion de l'eau transfrontalière, ont longtemps été abordés par le biais d'une coopération régionale. Des accords environnementaux régionaux, comme les commissions de bassin hydrographique pour le Rhin ou le Danube, ont une longue histoire. Des accords régionaux comme les conventions régionales de protection des zones montagneuses des Alpes et des Carpates ont accompli des progrès notables en plaçant les préoccupations environnementales dans le contexte plus large du développement durable.

Les experts et les professionnels de la gouvernance ont noté les avantages et les inconvénients des approches régionales. Les initiatives régionales, qui bénéficient d'une plus grande familiarité auprès des participants, pourraient compléter les accords mondiaux pour répondre aux besoins spécifiques des régions. Cependant, elles pourraient aussi nuire à l'efficacité de la politique environnementale mondiale en augmentant la complexité administrative et en diminuant l'efficacité des outils économiques. A ce jour, peu de travaux empiriques se sont intéressés aux compromis entre les architectures régionales et mondiales, mais on a remarqué que les initiatives régionales telles que le Programme régional des Mers ont apporté des contributions importantes aux objectifs marins des écosystèmes côtiers du Sommet mondial sur le développement durable de 2002 (SMDD) (Sherman et Hempel, 2009).

En 2009, les évolutions dans les négociations environnementales multilatérales sur le changement climatique, les forêts, la désertification, les produits chimiques et la gestion des déchets ont mis en évidence l'importance d'activités de coopération au niveau régional (**Encadré 3**). Même dans le domaine de gouvernance éminemment mondial du changement climatique, certains éléments sont discutés d'un point de vue régional. Par exemple, en 2009, une note d'information du Département des affaires économiques et sociales des Nations unies (DESA) a mis l'accent sur les avantages potentiels de mécanismes régionaux par rapport au transfert efficace et équitable des technologies d'atténuation et d'adaptation (Vera, 2009). Selon les arguments avancés, les mécanismes régionaux qui facilitent la mise en commun des ressources et le développement d'économies d'échelle peuvent contribuer à parvenir à un équilibre politiquement réalisable entre ce que les accords mondiaux peuvent offrir et ce dont les pays en voie de développement ont besoin.

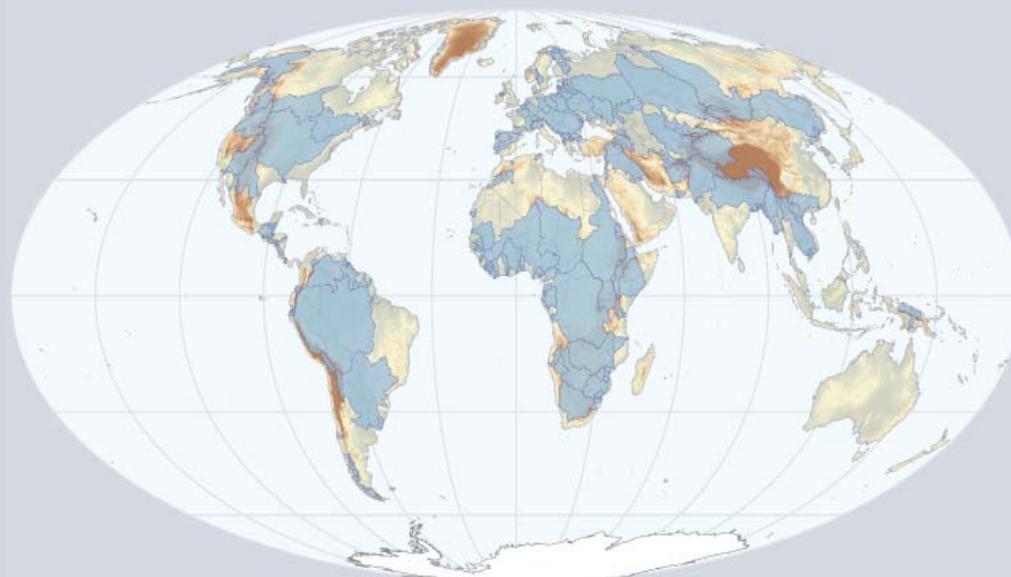
La gouvernance écorégionale et la gestion des eaux transfrontalières

La compréhension des régions se base sur leurs caractéristiques écologiques et biophysiques communes. Les écorégions largement reconnues comprennent des bassins hydrographiques et des chaînes montagneuses. La pratique de gouvernance basée sur les écorégions en est encore à ses balbutiements, bien qu'il en existe des exemples à travers le monde (Balsiger et VanDeveer, à paraître). La coopération régionale en matière de bassins hydrographiques transfrontaliers est un exemple remarquable. Dans ce contexte, en mars 2009, les chefs d'Etat ont affirmé, lors du 5e Forum mondial de l'eau à Istanbul, leur volonté politique d'agir rapidement, en gardant à l'esprit que le dialogue et la coopération pour les eaux transfrontalières entre voisins sont des éléments clés du succès (Zukang, 2009). Quelque 279 bassins hydrographiques enjambent les frontières internationales (Bakker, 2009). Les bassins hydrographiques transfrontaliers couvrent 45,3 % de la surface continentale de la planète, concernent 40 % de la population mondiale et représentent environ 60 % des eaux fluviales (Wolf et alii, 1999) (**Figure 2**).

Le changement climatique a renforcé l'importance croissante de la gestion des eaux transfrontalières dans la gouvernance. Les variations spatiales dans les impacts du changement climatique attirent l'attention sur les écorégions, en particulier les zones côtières (Dinar, 2009, AEE, 2009, WWAP, 2009). Dans ses nouvelles directives sur la gestion intégrée de l'eau, l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) déclare que les approches des bassins hydrographiques deviennent de plus en plus cruciales à mesure que l'on prend conscience du changement climatique par le biais des réactions qualitatives et quantitatives du cycle hydrologique, qui à leur tour affectent directement les bassins hydrographiques (UNESCO, 2009).

Le large soutien politique pour la gestion des eaux transfrontalières est quelque peu contrebalancé par des résultats scientifiques concernant les difficultés d'élaboration d'approches au niveau des bassins et les bienfaits environnementaux qu'elles peuvent générer. Une étude récente de 506 traités internationaux sur l'eau et 86 organisations associées a montré que la majorité des institutions de bassins hydrographiques internationaux sont limitées en membres et en étendue (Dombrowsky, 2008). Des niveaux importants de pénurie d'eau ont été identifiés comme l'un des facteurs

Figure 2 : Bassins fluviaux transfrontaliers



Carte actualisée des bassins fluviaux internationaux dans le monde, basée sur Wolf et alii (1999).

Source : *Transboundary Freshwater Dispute Database (Base de données des conflits transfrontaliers sur l'eau douce) (2010)*

déterminants. Une analyse empirique de 74 cas où les cours d'eau sont partagés entre deux états a révélé que la probabilité de coopération, mesurée en termes d'accord internationaux sur l'eau, est plus élevée lorsque la pénurie est modérée que lorsqu'elle est très réduite ou très importante (Dinar, 2009). Cela implique que lorsque la pénurie dépasse un certain seuil, la coopération doit peut-être être encouragée par des acteurs extérieurs (voir le chapitre sur les Catastrophes et conflits).

Pour l'évaluation de l'efficacité de la gouvernance régionale de l'eau, les spécialistes en la matière se concentrent de plus en plus sur la performance plutôt que sur la conformité. La conformité est la mesure dans laquelle les parties à un accord respectent les termes de la convention, tandis que la performance est le degré auquel les objectifs de l'accord sont atteints en réalité. Les parties peuvent se conformer aux conditions pour établir de nouvelles institutions et formuler des plans d'action, mais accomplir de piètres performances dans la diminution de la pollution de l'eau ou des risques d'inondation. Une étude de cas du bassin du Naryn/Syr Darya en Asie centrale, par exemple, montre que tandis que la conformité à un accord négocié précédemment

sur les apports d'eau du réservoir de Toktogul a été élevée, les performances au fil du temps en termes de ruissellement ont été très basses et extrêmement variables du point de vue de la gestion des ressources durable (Bernauer et Siegfried, 2008).

LA GOUVERNANCE AU-DELA DU GOUVERNEMENT

La gouvernance est principalement associée au travail des gouvernements. Cependant, au cours des deux dernières décennies, le mode gouvernemental de gouvernance a été complété par des modes de gouvernance pour lesquels des organisations non gouvernementales et le secteur privé constituent des partenaires clés. Cette tendance est illustrée par l'augmentation continue des normes du secteur privé, comme la certification, et des partenariats public-privé, du niveau local au niveau mondial (Adger et Jordan, 2009 ; Andonova et alii, 2009 ; Treib et alii, 2007).

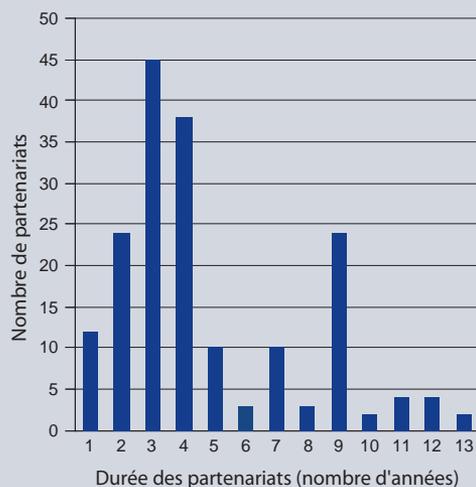
Bien que les gouvernements restent la source d'activité gouvernementale la plus commune et officielle aujourd'hui, les organisations non gouvernementales et le secteur privé ont développé une pléthore d'initiatives qui contribuent à atteindre les objectifs publics tels que

la protection de l'environnement et le développement durable dans la formulation et la mise en œuvre de stratégies (O'Neill, 2009). On peut trouver certains exemples de vastes partenariats public-privé, comme la labellisation et la certification tierces ainsi que le partage du pouvoir entre les acteurs, dans la foresterie (Chan et Pattberg, 2008).

Les centaines de partenariats public-privé créés suite au Sommet mondial sur le développement durable en 2002 reflètent la croissance de la participation du secteur privé dans les activités de gouvernance (**Encadré 4**). Le dernier rapport du Secrétaire général des Nations Unies sur les partenariats pour le développement durable indique que « par la mise en commun des connaissances, des compétences et des ressources, [...] les initiatives collaboratives mettent tout en œuvre pour trouver des solutions innovantes face aux défis du développement durable et pour développer les réseaux de connaissances afin de contribuer à un environnement de prise de décision informée » (ONU, 2008). Les partenariats récemment créés comprennent le Global Partnership on Nutrient Management (Partenariat mondial pour la gestion des nutriments), le Partenariat mondial pour l'agriculture, la sécurité alimentaire et la nutrition, et le Partenariat pour une action sur les équipements informatiques, qui est un partenariat multi-acteurs pour la gestion écologiquement rationnelle des équipements informatiques usagés et en fin de vie. Bien qu'il existe de nombreuses études de cas spécialisées sur des partenariats spécifiques et leurs activités, les informations systématiques sur leur efficacité et l'impact collectif sur l'environnement doivent encore émerger. Un nouvel aperçu démontre que la connaissance de l'efficacité des partenariats public-privé dans la formulation de stratégies est limitée et que l'efficacité de tels partenariats dans la mise en œuvre de stratégies est mitigée (Schäferhoff et alii, 2009).

L'utilisation d'instruments fondés sur le marché en tant qu'outil pour influencer le comportement au moyen des prix et d'autres signaux économiques, combinée aux partenariats public-privé, a permis d'obtenir de nombreux soutiens et alliances commerciales dont les intérêts s'étendent au-delà des frontières nationales. La complexité de la coordination politique verticale (local-national-régional-international) et la coordination à travers les secteurs et les juridictions ont également créé plus de points d'accès aux procédures politiques. De plus, les mécanismes de flexibilité de Kyoto, qui mettent les instruments fondés sur le marché en valeur, ont offert des opportunités significatives pour la participation d'acteurs

Encadré 4 : Partenariats pour le développement durable



Des partenariats internationaux pour le développement durable rassemblent des acteurs publics, privés et non gouvernementaux et sont souvent issus de processus intergouvernementaux. Le Partenariat pour une action sur les équipements informatiques (PACE), une des dernières initiatives, en est un exemple concret. La décision de lancer le PACE a été prise par les représentants lors de la neuvième réunion de la Conférence des Parties à la Convention de Bâle en juin 2008.

Ce partenariat a été lancé suite au besoin urgent d'une gestion écologiquement rationnelle, d'une remise à neuf, d'un recyclage et d'une mise au rebut des équipements informatiques usagés et en fin de vie. En mars 2009, un groupe de travail multi-acteurs composé de 58 représentants (fabricants informatiques, entreprises de recyclage, organisations internationales, milieux universitaires, groupes écologiques et gouvernements) s'est mis d'accord sur l'étendue des activités du partenariat, son mandat, ses accords financiers et sa structure.

Le PACE est à l'origine du développement de directives, de matériel de sensibilisation et de projets pilotes qui permettra d'améliorer la gestion écologiquement rationnelle des équipements informatiques. Trente-quatre partenaires de projets (pays en voie de développement et pays en transition sur le plan économique) sont déjà intéressés pour travailler sur des schémas pilotes afin de détourner les équipements informatiques en fin de vie des décharges insalubres d'un point de vue écologique et de transformer les opérations de combustion à ciel ouvert et de recyclage dangereux en opérations de recyclage écologiquement rationnel et efficace, et ce d'une manière durable et soucieuse de la santé et du bien-être du personnel travaillant dans le secteur non structuré.

Source : CDD (2009b)

non gouvernementaux, y compris les ONG et le secteur privé (Andonova et alii, 2009 ; Pattberg et Stripple, 2008).

Les instruments fondés sur le marché peuvent également permettre d'augmenter la transparence, de renforcer la légitimité, et de favoriser un intérêt public plus général (Bartle, 2009 ; Bled, 2009 ; Guesnerie et Tulkens, 2009 ; Lövbrand et alii, 2009). Par exemple, la décision VIII/17 sur l'engagement du secteur privé, adoptée par la Conférence des Parties à la Convention sur la diversité biologique en 2006, essaie d'accroître la conscientisation du secteur privé sur les bonnes pratiques, la remise de rapports et le système de certification, d'impliquer le secteur privé dans les réunions de la Convention sur la diversité biologique et des réunions connexes au niveau national, ainsi que d'assurer la conformité avec les objectifs de la Convention et la mise en œuvre de ces derniers. Une analyse récente de l'impact de la décision a conclu que la participation du secteur privé peut en effet aider à renforcer la légitimité de la Convention sur la diversité biologique et apporter des compétences commerciales essentielles (Bled, 2009). Pour assurer la poursuite du développement positif, elle suggère d'impliquer le secteur financier, et d'intégrer et d'équilibrer avec prudence l'expertise commerciale avec l'expérience sociale et pratique d'autres acteurs.

L'un des domaines les plus importants de l'implication du secteur privé dans la gouvernance environnementale est l'échange de quotas d'émission de carbone (Stern, 2007). Rien qu'en 2007, les marchés internationaux du carbone ont enregistré un chiffre d'affaires estimé à 64 milliards de dollars américains, alors qu'il s'élevait à 30 milliards de dollars l'année précédente. Actuellement, le système communautaire d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre (SCEQE) lancé en 2005 constitue le plus grand partenariat. En 2008, le SCEQE valait 94 milliards de dollars américains en termes de recettes (Frost et Sullivan, 2009 ; Capoor et Ambrosi, 2008 ; Hepburn, 2007).

L'échange de quotas d'émission de carbone et les autres instruments de gouvernance environnementale fondés sur le marché ont essuyé des critiques (Newell, 2008). Bien qu'il serve de modèle pour des systèmes similaires dans d'autres pays (Skjærseth et Wettstad, 2009), le système communautaire d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre a très tôt rencontré des problèmes avec la sur-allocation de permis et des rapports mentionnent une fraude à la taxe sur la valeur ajoutée très répandue. Certains scientifiques, ainsi que des parties prenantes du Protocole de Kyoto, ont exprimé

leur inquiétude concernant le manque d'additionalité dans de nombreux projets de mécanisme de développement propre (MDP) et les réductions des émissions à moindre coût au détriment des bénéfices du développement durable pour les pays hôtes qui, selon eux, constituent le centre de l'attention (Flåm, 2009 ; Paulsson, 2009 ; Schneider, 2009 ; Skjærseth et Wettstad, 2009). Les détracteurs ont également affirmé que l'obligation de rendement dans le système d'échange de quotas d'émission peut mettre l'équité sur la touche, ce qui gonfle les inégalités en favorisant ceux qui ont un meilleur accès aux informations et aux ressources (Baldwin, 2008 ; Vormedal, 2008).

On a cherché à attribuer dans d'autres domaines, tels que le financement et la planification stratégique, un rôle plus vaste au secteur privé en matière d'activités de gouvernance environnementale internationale. Par exemple, le comité FEM Fonds pour la terre, groupe consultatif du secteur privé lancé en 2008, s'est rassemblé en avril 2009 pour proposer une ligne directrice stratégique au FEM. Outre la fourniture de données au FEM pour la prise de décision, il devrait aider à mobiliser jusqu'à 150 millions de dollars américains pendant son premier tour de financement (IIDD, 2009d). En ce qui concerne le changement climatique, on s'attend à ce que les mécanismes de financement public augmentent proportionnellement les investissements du secteur privé et collectent 530 milliards de dollars américains par an sous la forme d'investissement supplémentaire, ce qui semble être nécessaire pour éviter les impacts négatifs du changement climatique (PNUE, 2009h).

PERSPECTIVES

L'occurrence de plusieurs crises environnementales, financières et sociales ainsi que les efforts internationaux pour réformer le système de la GEI de l'ONU ont contribué à faire de 2009 une année significative pour la gouvernance environnementale internationale. Les consultations ministérielles du PNUE en 2009 et les discussions du groupe consultatif de ministres ou de représentants de haut niveau sur la GEI créés par le Conseil d'administration du PNUE ont souligné l'urgence d'une réforme de la GEI. Les tendances au niveau régional et l'implication du secteur privé ont démontré que la gouvernance environnementale internationale porte sur plusieurs niveaux d'action et plusieurs types d'acteurs. Les parties prenantes de plusieurs AME ont entrepris la création ou le renforcement des infrastructures de gouvernance régionale, la gestion transfrontière

est montée dans l'ordre des priorités de l'agenda politique, et les nouveaux partenariats public-privé et les instruments fondés sur le marché, particulièrement dans les politiques climatiques, ont permis une implication et des investissements non gouvernementaux.

L'issue de la conférence de Copenhague a révélé l'ampleur du défi que représente l'établissement d'un accord mondial sur le changement climatique. Même si aucun objectif légalement contraignant n'a été fixé, de nombreux pays se sont engagés pour la première fois à dissocier les émissions de la croissance économique. La Conférence des Parties « a pris note » de l'accord de Copenhague, confirmant ainsi la volonté des pays de limiter l'augmentation de la température mondiale à moins de 2 °C au-dessus des niveaux pré-industriels, soulignant le soutien pour le transfert des technologies et le renforcement des capacités pour les économies en développement, et fournissant une assistance financière pour la limitation et l'adaptation au changement climatique. Des ressources supplémentaires de 30 milliards de dollars américains, couvrant la période de 2010 à 2012, seront immédiatement disponibles, et les pays développés s'engagent à « mobiliser conjointement un objectif de 100 milliards de dollars par an d'ici 2020 pour répondre aux besoins des pays en développement ». L'Accord précise également le besoin de reconnaître la réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts (REDD+) par l'établissement immédiat d'un mécanisme qui permet la mobilisation de ressources financières provenant de pays développés. Alors que l'Accord ne prévoit pas la création d'une nouvelle convention par les pays concernés, les négociations continueront certainement en 2010.

Au cours de l'année 2010, Année internationale de la biodiversité, l'attention mondiale sera fixée sur l'objectif de biodiversité 2010, qui a pour but de réduire de manière significative le taux de destruction actuel de la biodiversité aux niveaux mondial, régional et national, afin de contribuer à l'atténuation de la pauvreté et à la préservation de toute forme de vie sur Terre. Il est improbable que cet objectif soit atteint (Gilbert, 2009). La 10e Conférence des Parties de la Convention sur la diversité biologique se concentrera sur le développement d'un cadre « après 2010 ». Cette réunion se déroulera à Nagoya, au Japon, suivie immédiatement par la 5ème Conférence des Parties à la Convention de Carthagène sur la biosécurité, durant laquelle les délégués poursuivront les négociations sur un traité légalement contraignant concernant la responsabilité et la réparation.



Plusieurs générations de leaders de l'environnement, notamment les 5 directeurs exécutifs successifs du PNUE, ont participé au Forum sur la gouvernance environnementale mondiale : réfléchir sur le passé pour avancer dans l'avenir, qui s'est tenu du 28 juin au 2 juillet 2009 à Gland (Suisse). De gauche à droite : le directeur exécutif du PNUE Achim Steiner et les anciens directeurs exécutifs du PNUE Maurice Strong, Mostafa Tolba, Elizabeth Dowdeswell et Klaus Töpfer.

Photo : Projet de gouvernance environnementale mondiale (www.environmentalgovernance.org)

Plusieurs développements, estimations et événements importants en 2010 s'intéresseront à la gouvernance environnementale régionale. Les parties prenantes aux Conventions relatives aux substances chimiques et aux déchets, ainsi que sur la lutte contre la désertification, prendront des mesures supplémentaires pour mettre sur pied des mécanismes régionaux, sondant les limites de la décentralisation des AME. Les décideurs régionaux compteront également sur le GIEC, dont le cinquième rapport d'évaluation comprendra une mise au point régionale. Enfin, des événements clés comme la sixième Conférence ministérielle sur l'environnement et le développement en Asie et dans le Pacifique généreront des perspectives régionales quant aux problèmes urgents à l'agenda environnemental mondial, y compris la gouvernance du changement climatique et la croissance écologique.

La procédure de réforme de la GEI constituera un sujet clé pendant les assises de la onzième session spéciale du Conseil d'administration/Forum ministériel mondial de l'environnement du PNUE. Le groupe consultatif présentera un ensemble d'options concernant les fonctions et objectifs principaux identifiés pour le fonctionnement de la GEI de l'ONU, des options concrètes pour les réformes progressives ainsi que des options pour avancer à l'aide d'une réforme institutionnelle plus générale. Le travail du Conseil d'administration du PNUE et du groupe consultatif concernant la gouvernance environnementale internationale pourrait contribuer à la réalisation de préparations bien documentées pour la Conférence des Nations Unies pour le développement durable au Brésil en 2012, qui marquera le 20^e anniversaire de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement à Rio de Janeiro (AGNU, 2008).

Calendrier des événements 2009



PHOTO : WWW/CI.ORG

FEVRIER

16 - 20 février Lors de la vingt-cinquième session du Conseil d'administration/Forum ministériel mondial de l'environnement du PNUE, les gouvernements ont approuvé le lancement de négociations intergouvernementales pour le traité légalement contraignant sur le mercure et la création d'un Groupe consultatif de ministres ou représentants de haut niveau sur la gouvernance environnementale internationale.

23 - 27 février Le Groupe des Amis des coprésidents sur la responsabilité et la réparation dans le contexte du Protocole de Carthagène sur la biosécurité à Mexico a rédigé un premier avant-projet d'un protocole supplémentaire. Il comprend une provision légalement contraignante sur la responsabilité civile des dommages causés par des mouvements transfrontières d'organismes vivants modifiés.

MARS

16 - 22 mars Le Sous-secrétaire général aux affaires économiques et sociales de l'ONU, Sha Zukang, a encouragé les participants au 5ème Forum mondiale de l'eau à poursuivre le dialogue avec d'autres communautés politiques sur les liens entre l'eau et le changement climatique, à accélérer les progrès en matière d'adaptation au changement climatique, et à favoriser les capacités humaines et institutionnelles au moyen d'un financement adéquat.



PHOTO : IAGNUS FRANKLIN

AVRIL

6 avril Le Conseil européen a adopté une législation sur l'énergie et le climat afin d'atteindre l'objectif mondial de l'UE, à savoir 20 % de réduction des émissions de gaz à effet de serre, 20 % d'augmentation de la consommation des énergies renouvelables et 20 % d'économies d'énergie d'ici 2020.

20 avril - 1er mai Lors de la huitième session du Forum des Nations Unies sur les forêts, les délégués ont adopté une résolution sur les forêts dans un environnement en constante évolution, notamment sur les forêts et le changement climatique, sur la coopération améliorée et la coordination intersectorielle, ainsi que sur les ressources régionales et sous-régionales. Une décision sur le financement de la gestion forestière durable a été reportée.

21 avril La Bosnie-Herzégovine est devenue le 175ème membre de la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES).

MAI

4 - 8 mai Plus de 800 participants représentant plus de 149 gouvernements, organisations intergouvernementales et non gouvernementales, ainsi que les agences des Nations Unies ont assisté à la quatrième Conférence des Parties de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants au cours de laquelle il a été décidé d'ajouter neuf nouvelles substances chimiques aux annexes de la Convention.

4 - 15 mai A l'occasion de la dix-septième session de la Commission des Nations Unies sur le développement durable (CDD), le Secrétaire général Ban Ki-moon a déclaré aux participants que l'agriculture durable pouvait contribuer à l'atténuation du changement climatique. Les délégués ont adopté des recommandations stratégiques et ont discuté de la manière dont la CDD pouvait améliorer son soutien à la gouvernance sectorielle internationale.

JUIN

1 - 5 juin Lors de la troisième session de l'Organe directeur du Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture, le premier système multilatéral d'accès et de partage des avantages opérationnel dans le monde, les délégués ont insisté sur l'amélioration de la situation financière du Traité.

16 - 19 juin Lors de la deuxième session de la Plate-forme mondiale pour la réduction des risques de catastrophe (RRC), le Président a souligné que la RRC était de plus en plus menacée par le leadership local dans les pays en voie de développement et qu'elle devrait faire partie des sujets à aborder dans les négociations relatives au changement climatique à Copenhague en décembre.

24 - 26 juin Lors de la Conférence des Nations Unies sur la crise économique et financière mondiale et son incidence sur le développement, les dirigeants politiques ont insisté sur le fait que les initiatives écologiques mondiales devaient relever les opportunités et défis de développement durable et d'environnement, notamment en ce qui concerne l'atténuation et l'adaptation au changement climatique, le financement et le transfert des technologies vers les pays en voie de développement.

28 juin - 2 juillet Les cinq directeurs exécutifs successifs du PNUE ont participé au Forum de la gouvernance environnementale mondiale à Gilon (Suisse), où 80 participants de 26 pays ont abordé les fonctions clés passées, présentes et futures du PNUE dans la gouvernance environnementale internationale, ainsi que les possibilités de réforme.



PHOTO : PROJET DE GOUVERNANCE ENVIRONNEMENTALE MONDIALE

JUILLET

8 - 10 juillet A L'Aquila, en Italie, selon la Déclaration commune sur la sécurité alimentaire mondiale du sommet du G8, les actions efficaces liées à la sécurité alimentaire doivent être combinées à des mesures d'adaptation et d'atténuation en matière de changement climatique et de gestion durable de l'eau, des terres, des sols et autres ressources naturelles, notamment la protection de la biodiversité.

AOÛT

31 août - 4 septembre Lors de la troisième Conférence sur le climat à Genève, les décideurs de haut niveau de plus de 150 pays ont instauré un Cadre mondial pour les services climatiques afin de consolider la production, l'accessibilité, la fourniture et l'application de services et de prévisions climatologiques à base scientifique.

SEPTEMBRE

24 - 25 septembre Les leaders politiques des 20 économies les plus puissantes au monde, rassemblés au Sommet du G-20 à Pittsburgh, se sont engagés à supprimer progressivement les subventions pour les combustibles fossiles à moyen terme tout en apportant un soutien ciblé aux pays les plus pauvres.

PHOTO : SAMANTHA APPELTON



21 septembre - 2 octobre Lors de la neuvième Conférence des Parties à la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (UNCCD), les délégués ont appelé à un renforcement de l'efficacité des mécanismes de coordination régionale afin de faciliter la mise en application de la Convention.

OCTOBRE

5 - 9 octobre Lors de la deuxième réunion multi-acteurs et intergouvernementale ad hoc sur l'IPBES (Plate-forme intergouvernementale science-politique sur la biodiversité et les systèmes écosystémiques), la plupart des participants ont exprimé leur soutien pour un nouveau mécanisme qui permettrait d'effectuer des évaluations, de générer et de diffuser des conseils pertinents en matière de politique.

7 - 9 octobre Plus de 2 000 participants de 73 pays se sont rendus à Léon (Mexique) à l'occasion du Forum mondial sur les énergies renouvelables organisé dans le but de renforcer la coopération interrégionale et encourager les partenariats multi-acteurs innovants, visant à accroître les investissements dans les énergies renouvelables en Amérique latine et autres pays.

26 - 29 octobre Le Groupe consultatif de ministres ou représentants de haut niveau sur la gouvernance environnementale internationale (GEI) a examiné les objectifs et les fonctions de la GEI dans le cadre du système des Nations Unies. Les participants ministériels ont envisagé une réforme institutionnelle à la fois progressive et plus générale : la réforme de la GEI doit être effectuée dans un contexte plus général de la durabilité et du développement durable.

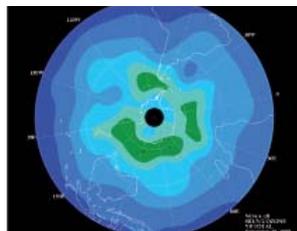
26 - 29 octobre Lors de la trente et unième session du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), les délégués ont accepté de finaliser pour 2013 ou 2014 l'élaboration du cinquième rapport d'évaluation (RE5) (portée, calendrier et chapitres). Ils ont décidé que les évaluations régionales constitueraient l'essentiel du RE5 et que le GIEC s'engagerait à garantir la pertinence stratégique du rapport.

30 octobre Deux initiatives sur le financement de la gestion forestière durable ont été lancées à l'occasion de la session spéciale du Forum des Nations Unies sur les forêts : un processus intergouvernemental qui permet d'analyser tous les aspects du financement des forêts, et un processus facilitateur distinct qui permet d'aider les pays à mobiliser le financement de toutes les sources.

NOVEMBRE

4 - 8 novembre La vingt et unième réunion des Parties au Protocole de Montréal s'est achevée par l'adoption de 30 décisions. Une proposition de modification du Protocole d'inclure les hydrofluorocarbones (HFC), dont certains ont un potentiel élevé de réchauffement mondial, n'a pas abouti.

PHOTO : NOAA



2 - 6 novembre Les négociations sur le changement climatique à Barcelone se sont clôturées juste 30 jours avant le début de la COP15 de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques à Copenhague. Les yeux du monde entier sont rivés sur les négociateurs du changement climatique, mais les attentes sont de plus en plus difficiles à satisfaire.

DECEMBRE

7 - 18 décembre Les pays participant à la conférence des Nations Unies sur le changement climatique à Copenhague ont accepté de « prendre note » de l'accord de Copenhague. Pour la première fois dans l'histoire de la coopération en matière de changement climatique, les pays en voie de développement, notamment le Brésil, la Chine, l'Indonésie, le Mexique et l'Afrique du Sud, ont fait part de leurs intentions de dissocier les émissions de la croissance économique.

PHOTO : ROSSEY



Sources : reportez-vous à la base de données de connaissances à l'adresse www.unep.org/yearbook/2010

Calendrier des événements 2010

JANVIER

6 - 7 janvier Deuxième réunion à Curitiba sur les villes et la biodiversité en vue d'élaborer un plan d'action sur la biodiversité urbaine dans le cadre de la Convention sur la diversité biologique (CDB) et de préparer le Sommet sur la biodiversité urbaine 2010. Des manifestations pour l'inauguration de l'Année internationale de la biodiversité ont précédé la réunion.

20 - 23 janvier 8e Assemblée générale mondiale du Réseau international des organismes de bassin à Dakar (Sénégal). Son thème : « S'adapter aux conséquences du changement climatique dans les bassins : des outils pour agir. »

FÉVRIER

8 - 12 février Les participants à la deuxième réunion du Groupe des Amis des coprésidents sur la responsabilité et la réparation dans le contexte du Protocole de Carthagène sur la biosécurité poursuivront leurs négociations sur l'élaboration de règles en matière de responsabilité et de réparation pour des dommages causés par des mouvements transfrontières d'organismes vivants modifiés.

PHOTO : SIMONE D. MCCOURTIE/
BANQUE MONDIALE



22 - 24 février Première réunion extraordinaire des Conférences des Parties aux Conventions de Bâle, Rotterdam et Stockholm organisée suite à la session spéciale du Conseil d'administration/Forum ministériel mondial de l'environnement du PNUE. L'amélioration de la coopération et de la coordination parmi les trois conventions relatives aux produits chimiques et déchets est renforcée par un soutien politique de haut niveau.

24 - 26 février Réunion à Bali, onzième session spéciale du Conseil d'administration/Forum ministériel mondial de l'environnement du PNUE visant à examiner les recommandations du Groupe consultatif de ministres ou représentants de haut niveau sur la gouvernance environnementale internationale. L'économie verte, la biodiversité et les écosystèmes feront également partie des sujets abordés.

MARS

13-25 mars Décisions à la quinzième Conférence des Parties de la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES) de se pencher sur les espèces de grande taille telles que l'éléphant d'Afrique, le tigre et l'ours polaire. D'autres propositions s'intéresseront aux contrôles commerciaux des espèces de corail et de requin.

22 mars La Journée mondiale de l'eau du 22 mars aura pour thème « Communiquer sur l'importance de la qualité de l'eau au même titre que la quantité d'eau disponible ». Cet événement cherche à relever le profil de la qualité de l'eau au niveau politique, de façon à lui accorder autant d'importance que la quantité d'eau.

PHOTO : DOMINICANSONVENIEN/MONDIALE



AVRIL

21 - 23 avril Les chefs d'entreprise, les gouvernements, les ONG et les médias vont se réunir au Sommet mondial des entreprises pour l'environnement (B4E) à Séoul (République de Corée). Cet événement annuel co-organisé par le PNUE, le Pacte mondial de l'ONU et WWF vise à promouvoir le dialogue et l'action des entreprises vers une économie verte mondiale.

MAI

3 - 14 mai Dix-huitième session de la Commission des Nations Unies sur le développement durable organisée afin d'examiner des modèles de consommation et de production durables (CPD), en se concentrant sur le processus de Marrakech, une activité mondiale qui soutient l'élaboration d'un cadre décennal de programmes sur la CPD.

10 - 21 mai Année internationale de la biodiversité célébrée lors de la quatorzième réunion de l'Organe subsidiaire chargé de fournir des avis scientifiques, techniques et technologiques (SBSTTA) de la CDB. Les questions scientifiques et techniques en rapport avec l'objectif de biodiversité 2010 seront abordées.

PHOTO : WWW.CBD.INT



PHOTO : BILLBUCHUNG



24 - 28 mai Quatrième Assemblée du Fonds pour l'environnement mondial (FEM) à Punta del Este (Uruguay), peu de temps avant le début de la période de reconstitution des ressources du FEM-5 le 1er juillet.

31 mai - 11 juin Première période de session de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC).

SOURCE : ERIC VALENTIN



JUIN

5 juin Journée mondiale de l'environnement. L'objectif de cet événement annuel est de susciter, à l'échelle mondiale, une prise de conscience des problèmes écologiques et de promouvoir l'intérêt et l'action politique.

7 - 11 juin La première session du Comité de négociation intergouvernemental visant à préparer un instrument mondial légalement contraignant sur le mercure aura lieu à Stockholm. Il devrait s'agir de la première des cinq réunions du Comité de négociation intergouvernemental organisées pour élaborer un tel instrument sur le mercure.

26 - 27 juin Sommet du G20 au Canada pour marquer la période de transition des sommets du G8. Le Brésil, la Chine, l'Inde, la République de Corée et d'autres pays occuperont des sièges permanents aux côtés des pays du G8.

AOUT

30 août - 3 septembre Atelier sur la gouvernance forestière, la décentralisation et la REDD (Réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts) en Amérique latine.

PHOTO : ERIC VALENTIN



OCTOBRE

11 - 15 octobre Les délégués participant à la 5ème réunion de la Conférence des Parties siégeant en tant que réunion des Parties au Protocole de Carthagène sur la biosécurité (COP-MOP 5) à Nagoya (Japon) vont examiner les résultats des négociations du Groupe de travail ad hoc à composition non limitée des experts juridiques et techniques sur la responsabilité et la réparation.

18 - 29 octobre Dixième Conférence repère des Parties à la Convention des Nations Unies sur la diversité biologique visant à examiner les progrès réalisés vers l'objectif de biodiversité 2010 en matière de réduction significative du taux de destruction de la biodiversité et à réfléchir au régime international d'accès et de partage des avantages.

PHOTO : MARTON BALINTPWE



25 - 29 octobre Vingt-deuxième réunion des Parties au Protocole de Montréal à Nairobi (Kenya) (dates à confirmer).

NOVEMBRE

29 novembre - 10 décembre Le Mexique accueillera la seizième Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (COP16) au même titre que la sixième réunion des Parties au Protocole de Kyoto (CMP 6) (dates à confirmer).

PHOTO : BARBARA KESSLER



DECEMBRE

11 - 12 décembre Le début de l'Année internationale des forêts doit être célébré à Kanazawa (Japon). Le Forum des Nations Unies sur les forêts sert de centre de liaison pour la mise en œuvre de l'Année internationale des Nations Unies pour les forêts 2011, en collaboration avec les gouvernements et autres partenaires.

PHOTO : YUKO YONEDA



REFERENCES

- ACP-EU JPA (2009). Resolution on global governance and the reform of international institutions, adopted at the 18th Session of the African Caribbean and Pacific-European Union Joint Parliamentary Assembly (JPA), Luanda, Angola, 25 November-3 December 2009
- ADAM (Adaptation and Mitigation Strategies) (2009). *Mainstreaming Climate Change Adaptation in Official Development Assistance: Issues and Early Experiences. Final Report*. Stockholm Environment Institute, Stockholm
- Adger, W.N. et Jordan, A. (eds.) (2009). *Governing Sustainability*. Cambridge University Press, UK
- Andonova, L.B., Betsill, M.M. et Bulkeley, H. (2009). Transnational Climate Governance. *Global Environmental Politics*, 9(2), 52-73
- Ansell, C.K. et Balsiger, J. (2009). The Circuits of Regulation: Transatlantic Perspectives on Persistent Organic Pollutants and Endocrine Disrupting Chemicals. In: J. Swinnen, D. Vogel, A. Marx, H. Riss and J. Wouters (eds.), *Handling Global Challenges: Managing Biosafety and Biodiversity in a Global World – EU, US, California and Comparative Perspectives*. Leuven Centre for Global Governance Studies, Leuven, Belgium
- Bakker, M.H.N. (2009). Transboundary river floods: examining countries, international river basins and continents. *Water Policy*, 11, 269-288
- Baldwin, R. (2008). Regulation lite: the rise of emissions trading. *Regulation and Governance*, 2, 193-215
- Balsiger, J. et VanDeveer, S.D. (in press). Regional Governance and Environmental Problems. In: R.A. Denemark (ed.), *The International Studies Compendium*. Wiley-Blackwell, Oxford, UK
- Barbier, E.B. (2010, in press). *A Global Green New Deal. Rethinking the Economic Recovery*.
- Bartle, I. (2009). A strategy for better climate change regulation: towards a public interest orientated regulatory regime. *Environmental Politics*, 18(5), 689-706
- Beck, U. (2008). *World At Risk*. Polity Press, Cambridge, UK
- Bernauer, T. et Siegfried, T. (2008). Compliance and Performance in International Water Agreements: The Case of the Naryn/Syr Darya Basin. *Global Governance*, 14, 479-501
- Biermann, F. (2000). The Case for a World Environment Organization. *Environment*, 42, 22-31
- Biermann, F. et Bauer, S. (eds.) (2005). *A World Environmental Organization: Solution or Threat for Effective International Environmental Governance?* Ashgate Publishing, Aldershot, UK
- Biermann, F., Davies, O. et Grijp, N.M. van der (2009a). Environmental policy integration and the architecture of global environmental governance. *International Environmental Agreements*, 9, 351-369
- Biermann, F., Pattberg, P., van Asselt, H. et Zelli, F. (2009b). The fragmentation of global governance architectures: A framework for analysis. *Global Environmental Politics*, 9(4), 14-40
- Bled, A.J. (2009). Business to the rescue: private sector actors and global environmental regimes' legitimacy. *International Environmental Agreements*, 9, 153-171
- Capoor, K. et Ambrosi, P. (2008). *State and Trends of the Carbon Market 2008*. The World Bank, Washington, D.C.
- Chan, S. et Pattberg, P. (2008). Private Rule-Making and the Politics of Accountability: Analyzing Global Forest Governance. *Global Environmental Politics*, 8(3), 109-121
- Charnovitz, S. (2002). A World Environment Organization. *Columbia Journal of Environmental Law*, 27(2), 323-362
- Commonwealth Secretariat (2008). *Reform of International Environmental Governance: An Agenda for the Commonwealth*. Commonwealth Heads of Government Meeting on Reform of International Institutions, London, 9-10 June 2008. HGM-RI(08)2. Commonwealth Secretariat, London
- CBD (Convention on Biological Diversity) (2009a). *Liaison Group of Biodiversity-related Conventions*. <http://www.cbd.int/cooperation/related-conventions/bls.shtml>
- CBD (2009b). "Statement on Biological Diversity to UN General Assembly Second Committee" by the Executive Secretary Ahmed Djogfai. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal
- CSD (Commission on Sustainable Development) (2009a). Report on the seventeenth session. E/2009/29 E/CN.17/2009/19 (16 May 2009 and 4-15 May 2009). <http://daccessds.un.org/doc/UNDOC/GEN/N09/355/72/PDF/N0935572.pdf?OpenElement>
- CSD (2009b). Partnerships for Sustainable Development – CSD Partnerships Database. <http://webapps01.un.org/dsd/partnerships/public/welcome.do>
- Dietz, T., Ostrom, E. et Stern, P.C. (2003). The Struggle to Govern the Commons. *Science*, 302(5652), 1907-1912
- Dinar, S. (2009). Scarcity and Cooperation Along International Rivers. *Global Environmental Politics*, 9(1), 109-135
- Dombrowsky, I. (2008). Integration in the Management of International Waters: Economic Perspectives on a Global Policy Discourse. *Global Governance*, 14, 455-477
- ECOSOC (UN Economic and Social Council) (2006). Definition of basic concepts and terminologies in governance and public administration. Note by the Secretariat. Committee of Experts on Public Administration, Fifth Session, New York, 27-31 March 2006. E/C.16/2006/4. United Nations, New York
- EEA (European Environment Agency) (2009). *Regional climate change and adaptation. The Alps facing the challenge of changing water resources. EEA Technical Report No. 9/2009*. EEA, Copenhagen
- Esty, D.C. (1994). The case for a global environmental organization. In: P.B. Kenen (ed.), *Managing the world economy: Fifty years after Bretton Woods*. Institute for International Economics, Washington, D.C.
- Esty, D.C. (2003). Toward a Global Environmental Mechanism. In: J.G. Speth (ed.), *Worlds Apart: Globalization and the Environment*. Island Press, Washington, D.C.
- Flåm, K.H. (2009). Restricting the import of 'emission credits' in the EU: a power struggle between states and institutions. *International Environmental Agreements*, 9, 23-38
- Frost & Sullivan (2009). *Asset Management – European Emissions Trading Market*. Frost & Sullivan, London
- Galaz, V., Olsson, P., Hahn, R., Folke, C. et Svedin, U. (2008). The Problem of Fit among Biophysical Systems, Environmental and Resource Regimes, and Broader Governance Systems: Insights and Emerging Challenges. In: O.R. Young, L.A. King, and H. Schroeder (eds.), *Institutions and Environmental Change*. MIT Press, Cambridge, USA
- GEOP (Global Environmental Governance Project) (2009). *Global Environmental Governance in the 21st Century: Way Ahead Wide Open*. Report from the Global Environmental Governance Forum: Reflecting on the Past, Moving into the Future, Gilon, Switzerland 28 June-2 July 2009
- Giddens, A. (2009). *The Politics of Climate Change*. Polity Press, Cambridge, UK
- Gilbert, N. (2009). Efforts to sustain biodiversity fall short. *Nature*, 462, 263
- Guesnerie, R. et Tulken, H. (eds.), *The Design of Climate Policy*. MIT Press, Cambridge, USA
- Hepburn, C. (2007). Carbon Trading: A Review of the Kyoto Mechanisms. *Annual Review of Environment and Resources*, 32, 375-93
- Hovi, J., Sprinz, D.F. et Underdal, A. (2009). Implementing Long-Term Climate Policy: Time Inconsistency, Domestic Politics, International Anarchy. *Global Environmental Politics*, 9(1), 20-39
- ISD (International Institute for Sustainable Development) (2009a). Summary of Ninth Conference of the Parties to the UN Convention to Combat Desertification: 21 September-2 October 2009. *Earth Negotiations Bulletin*, 4(221), 5 October 2009
- ISD (2009b). Summary of the 21st Meeting of the Parties to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone layer: 4-8 November 2009. *Earth Negotiations Bulletin*, 19(73), 11 November 2009
- ISD (2009c). Summary of the 31st Session of the Intergovernmental Panel on Climate Change: 26-29 October 2009. *Earth Negotiations Bulletin*, 12(441), 1 November 2009
- ISD (2009d). Recent MEA Activities. *MEA Bulletin* 68, 23 April 2009
- Ivanova, M. et Roy, J. (2007). The Architecture of Global Environmental Governance: Pros and Cons of Multiplicity. <http://www.centerforreform.org/node/251>
- Jacob, K., Volker, A. et Lenschow, A. (2008). Instruments for environmental policy integration in 30 OECD countries. In: A. Jordan and A. Lenschow (eds.), *Innovation in Environmental Policy? – Integrating the Environment for Sustainability*. Edward Elgar, Cheltenham, UK
- JUJ (Joint Inspection Unit) (2008). *Management Review of Environmental Governance Within the United Nations System*. Prepared by Tadanori Inomata. United Nations, Geneva
- Lövbrand, E., Rindeljäli, T. et Nordqvist, J. (2009). Closing the Legitimacy Gap in Global Environmental Governance? Lessons from the Emerging CDM Market. *Global Environmental Politics*, 9(2), 74-100
- McAlpine, J. (2009). Statement to the Workshop on Regional Forest Cooperation, Buenos Aires, 17 October 2009
- McGea, J. et Taplin, R. (2009). The role of the Asia Pacific Partnership in discursive contestation of the international climate regime. *International Environmental Agreements*, 9, 213-238
- Merkel et Sarkozy (2009). Letter by Angela Merkel, Bundeskanzlerin der Bundesrepublik Deutschland, and Nicolas Sarkozy, Président de la République Française, to H.E. Ban Ki-Moon, Secretary-General of the United Nations, dated 21 September 2009
- Mickwitz, P., Aix, F., Beck, S., Carss, D., Ferrand, N., Görg, C., Jensen, A., Kvimaa, P., Kuhlke, C., Kuindersma, W., Mañiez, M., Melanen, M., Monni, S., Pedersen, A.B., Reinert, H. et van Bommel, S. (2009). *Climate Policy Integration, Coherence and Governance*. PEER Report No 2. Partnership for European Environmental Research, Helsinki
- Mitchell, R.B. (2009). *International Environmental Agreements Database Project (Version 2009.1)*. <http://iea.uoregon.edu/>
- Newell, P. (2008). Civil Society, Corporate Accountability and the Politics of Climate Change. *Global Environmental Politics*, 8(3), 122-153
- Oberthür, S. (2009). Interplay management: enhancing environmental policy integration among international institutions. *International Environmental Agreements*, 9(4), 371-391
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2009a). *Shared Responsibility for the Environment: Brief Overview of Progress in Environmental Policy Integration in Central Asia*. Briefing Note. OECD, Paris
- OECD (2009b). *Integrating Climate Change Adaptation into Development Co-operation: Policy Guidance*. OECD, Paris
- O'Neill, K. (2009). *The Environment and International Relations*. Cambridge University Press, UK
- Ostrom, E. (2009). *A Polycentric Approach for Coping with Climate Change*. Policy Research Working Paper 5095. World Bank, Washington, D.C.
- Pattberg, P. et Stripple, J. (2008). Beyond the public and private divide: remapping transnational climate governance in the 21st century. *International Environmental Agreements*, 8, 367-388
- Paulsson, E. (2009). A review of the CDM literature: from fine-tuning to critical scrutiny? *International Environmental Agreements*, 9, 63-80
- Persson, A. (2009). Environmental policy integration and bilateral development assistance: challenges and opportunities with an evolving governance framework. *Ecopapers*, 9(4), 409-429
- Purnama, B.M. (2009). Opening remarks. United Nations Forum on Forests, 8th Session, New York, 20 April-1 May 2009. United Nations, New York
- Ruggie, J.G. (2004). Reconstituting the Global Public Domain: Issues, Actors and Practices. *European Journal of International Relations*, 10(4), 499-531
- Runge, C.F. (2001). A Global Environmental Organization (GEO) and the World Trading System. *Journal of World Trade*, 35(4), 399-426
- Sarkozy, N. (2009). Seventeenth Ambassadors Conference: Speech by Nicolas Sarkozy, President of the Republic, Paris
- Schäferhoff, M., Campe, S. et Kaan, C. (2009). Transnational Public-Private Partnerships in International Relations: Making Sense of Concepts, Research Frameworks, and Results. *International Studies Review*, 11(3), 451-474
- Schneider, L. (2009). A Clean Development Mechanism with global atmospheric benefits for a post-2012 climate regime. *International Environmental Agreements*, 9, 95-111
- Sherman, K. et Hempel, G. (eds.) (2009). *The UNEP Large Marine Ecosystem Report: A perspective on changing conditions in LMEs of the world's Regional Seas. UNEP Regional Seas. Report and Studies No. 182*. UNEP, Nairobi
- Skjærseth, J.B. et Wettestad, J. (2009). The Origin, Evolution and Consequences of the EU Emissions Trading System. *Global Environmental Politics*, 9(2), 101-122
- Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change. The Stern Review*. Cambridge University Press, UK
- Treib, O., Bahr, H. et Falkner, G. (2007). Modes of governance: towards a conceptual clarification. *Journal of European Public Policy*, 14(1), 1-20
- UN (2007). *Chief Executives Board for Coordination. Report of the Second Regular Session of 2007, New York, 26 October 2007. CEB/2007/2*. United Nations, New York
- UN (2008). *Partnerships for sustainable development. Report of the Secretary-General to the Commission on Sustainable Development, Sixteenth session, 5-16 May 2008. E/CN.17/2008/10*. United Nations, New York
- UN (2009). *Millennium Development Goals Progress Report 2009*. United Nations, New York
- UNCCD (2009). Report of the Conference of the Parties on its ninth session, held in Buenos Aires from 21 September to 2 October 2009. Part two: Action taken by the Conference of the Parties at its ninth session. UNCCD, Bonn. <http://www.unccd.int/cop/officialdocs/cop9/pdf/18add1eng.pdf>
- UNECE (2009). *Kiev Protocol on Pollutant Release and Transfer Registers*. <http://www.unecce.org/env/pp/prtr.htm>
- UNEP (2009a). Twenty-fifth session of the Governing Council/Global Ministerial Environment Forum of UNEP. Ministerial consultations. President's summary. UNEP, Nairobi
- UNEP (2009b). Letter from the co-chairs of the informal process of the General Assembly on the strengthening of international environmental governance. UNEP/GC.25/INF/35. UNEP, Nairobi
- UNEP (2009c). Proceedings of the Governing Council/Global Ministerial Environment Forum at its twenty-fifth session. UNEP/GC.25/17. UNEP, Nairobi
- UNEP (2009d). Belgrade Process. Moving Forward with Developing a Set of Options on International Environmental Governance. Co-Chairs Summary. First meeting of the Consultative Group of Ministers or High-level Representatives on International Environmental Governance, Belgrade, 27-28 June 2009. UNEP, Nairobi. <http://www.unep.org/environmental/governance/LinkClick.aspx?fileticket=7RzudGTFKR%3D&tabid=341&language=en-US>
- UNEP (2009e). *Global Green New Deal. Policy Brief*. UNEP, Nairobi
- UNEP (2009f). *International environmental governance: help or hindrance? – international environmental governance from a country perspective*. Background paper for the ministerial consultations. Discussion paper presented by the Executive Director. Addendum. International environmental governance and United Nations reform. UNEP/GC.25/16/Add.1. UNEP, Nairobi
- UNEP (2009g). Report of the second meeting of the advisory committee on the simultaneous extraordinary meetings of the conferences of the Parties to the Basel, Rotterdam and Stockholm conventions. UNEP/FAO/AdComm.2/1. UNEP/FAO, Bangkok
- UNEP (2009h). Catalyzing low-carbon growth in developing countries. Public finance mechanisms to scale up private sector investment in climate solutions. UNEP, Geneva
- UNEP POPs (2009). *Report of the Conference of the Parties of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants on the work of its fourth meeting*. UNEP/POPs/COP.4/38. UNEP, Geneva
- UNESCO (2009). *MWRM Guidelines at River Basin Level. Part I: Principles*. UNESCO, Paris
- UNGA (2005). *2005 World Summit Outcome. A/60/L.1*. United Nations General Assembly, New York. <http://www.who.int/hiv/universallaccess2010/worldsummit.pdf>
- UNGA (2007). Informal Consultative Process on the Institutional Framework for the United Nations' Environmental Activities: Co-Chairs' Options Paper. United Nations General Assembly, New York. <http://www.un.org/ga/president/61/follow-up/environment/EG-OptionsPaper.pdf>
- UNGA (2008). *Implementation of Agenda 21, the Programme for the Further Implementation of Agenda 21 and the outcomes of the World Summit on Sustainable Development*. Resolution 63/212 adopted by the General Assembly at its Sixty-third session. A/RES/63/212. United Nations, New York
- Van Schalkwyk, M. (2009). Keynote address by Marthinus van Schalkwyk, South African Minister of Environmental Affairs and Tourism, at the plenary Ministerial consultations on "International environmental governance: help or hindrance?" held during the UNEP Global Ministerial Environment Forum in Nairobi on 19 February 2009. UNEP, Nairobi
- Vera, I. (2009). *Climate Change and Technology Transfer: The Need for a Regional Perspective*. UN-DESA Policy Brief No. 18. United Nations, New York
- Von Moltke, K. (2001). *On Clustering International Environmental Agreements*. International Institute for Sustainable Development, Winnipeg, Canada
- Vormedal, I. (2008). The Influence of Business and Industry NGOs in the Negotiation of the Kyoto Mechanisms: the Case of Carbon Capture and Storage in the CDM. *Global Environmental Politics*, 8(4), 36-65
- Walker, B., Barrett, S., Polasky, S., Galaz, V., Folke, C., Engström, E., Ackerman, F., Arrow, K., Carpenter, S., Chopra, K., Daily, G., Ehrlich, P., Hughes, T., Kautsky, N., Levin, S., Mäler, K.-G., Shogren, J., Vincent, J., Xepapadeas, T. et de Zeeuw, A. (2009). Looming Global-Scale Failures and Missing Institutions. *Science*, 325(5946), 1345-1346
- Wolf, A.T., Natharius, J.A., Danielson, J.J., Ward, B.S. et Pender, J.K. (1999). International River Basins of the World. *International Journal of Water Resources Development*, 15(4), 387-427
- WWAP (World Water Assessment Programme) (2009). *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. UNESCO, Paris, and Earthscan, London
- Zukang, S. (2009) Statement. 5th World Water Forum, Istanbul

Gestion des écosystèmes

La pression croissante exercée par la population, l'exploitation et la pollution humaines ainsi que par le changement climatique ont déjà amené certains écosystèmes à franchir un seuil critique. D'autres s'approchent à grands pas du point auquel un retour à la stabilité sera difficile, voire impossible.



De nombreux écosystèmes naturels ont été convertis en terres cultivables ou affectés à d'autres usages. Travailleurs agricoles en Chine.
Photo : Rob Broek

INTRODUCTION

La restauration d'un écosystème détérioré est une tâche difficile et complexe, sur laquelle nous avons encore beaucoup à apprendre (Jackson et Hobbs, 2009, Scheffer et alii, 2009). Des efforts commencent à être fournis en vue de déterminer les « limites planétaires », destinées à définir un « espace d'opération sûr » pour l'humanité en tenant compte des écosystèmes de la Terre. Ces limites sont associées aux sous-systèmes ou processus biophysiques de la planète (**Figure 1**). Cependant, une limite semble déjà avoir été franchie : celle de la destruction de la biodiversité. On estime aujourd'hui qu'une centaine d'espèces sur un million sont perdues chaque année (Rockström et alii, 2009a, Rockström et alii, 2009b).

Les autres limites considérées comme franchies sont le changement climatique et l'interférence avec le cycle de l'azote. Il est difficile d'établir une limite planétaire pour la perturbation du cycle de l'azote, mais des scientifiques en ont proposé une basée sur la quantité totale d'azote puisée dans l'atmosphère pour une utilisation humaine. Si le taux acceptable de fixation humaine de l'azote est de 35 millions de tonnes par an, comme la proposition émise provisoirement, la quantité convertie actuellement, estimée à environ 120 millions de tonnes par an, est plus de trois

fois trop élevée. Une grande partie de cet azote fixé sert à la production d'engrais. Une autre est aussi fixée par les cultures légumineuses, comme le soja.

Les rejets involontaires d'azote réactif dans l'environnement polluent les voies navigables et les régions côtières, s'accumulent dans les systèmes terrestres, apportent plusieurs gaz dans l'atmosphère et enfin nuisent aux capacités d'adaptation des sous-systèmes critiques de la planète (voir le chapitre Substances nocives et déchets dangereux). Les scientifiques nous mettent en garde : « Nous approchons des limites en matière de consommation mondiale d'eau douce, de changement d'exploitation des sols, d'acidification des océans et d'interférence avec le cycle du phosphore » (Rockström et alii, 2009a, Rockström et alii, 2009b).

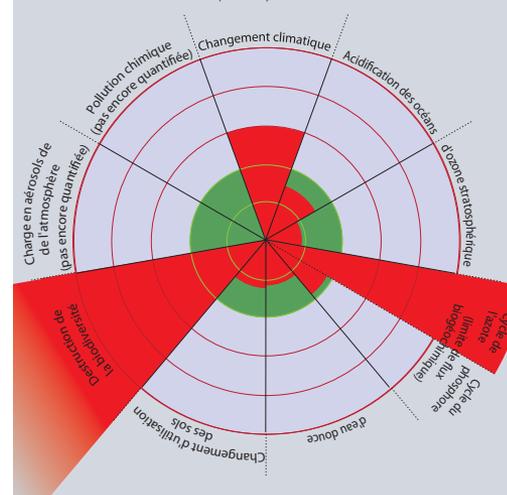
L'augmentation des températures, la diminution des réserves d'eau douce, la détérioration des conditions agricoles et la hausse du niveau des océans menacent de plus en plus les réserves mondiales de nourriture (Battisti et Naylor, 2009, FAO, 2009a, FAO, 2009b). D'ici 2050, l'Asie de l'est nécessitera 70 % d'eau en plus pour l'irrigation en vue de nourrir sa population en expansion qu'aujourd'hui. L'Asie du sud en demandera 57 % de plus (FAO, 2009a, Mukherji et alii, 2009). En 2025, on estime

Figure 1 : Frontières planétaires

En 2009, une équipe de chercheurs a suggéré que soit mis à l'étude un espace d'opération sûr ou une limite aux activités humaines, en vue de préserver l'intégrité des systèmes naturels de fonctionnement de la planète. Ils ont présenté neuf signes de changement environnemental global dû aux activités de l'homme qui affectent des composants du système terrestre. Repris dans le graphique ci-dessous, ces signes sont le changement climatique, la perturbation des cycles biogéochimiques, la destruction de la biodiversité, l'amincissement de la couche d'ozone, l'acidification des océans, la diminution des réserves d'eau douce, les changements d'affectation des sols, l'accumulation d'aérosols dans l'atmosphère et la pollution chimique. La zone intérieure verte représente l'espace d'opération sûr proposé pour ces neuf systèmes planétaires. Les coins rouges représentent une estimation de la position actuelle de chaque variable. Comme on le voit, les limites sont considérées comme franchies pour le changement climatique, la destruction de la biodiversité et la perturbation du cycle de l'azote.

Les interdépendances entre ces composants sont extrêmement complexes. Les hausses de concentration en CO₂ dans l'atmosphère, par exemple, peuvent entraîner l'acidification des océans et une augmentation du forçage radiatif. Ce dernier, quant à lui, contribue au déplacement des zones climatiques, lequel peut exacerber les changements d'affectation des sols et accroître la consommation d'eau douce. Le déplacement des zones climatiques, l'acidification des océans, la perturbation des cycles de l'azote et du phosphore et la pollution chimique, enfin, peuvent contribuer à la destruction de la biodiversité.

Source : Rockström et alii (2009a)



que 3,4 milliards de personnes vivront dans des pays considérés comme en pénurie d'eau (Calzolaio, 2009).

La santé des sols et leur capacité à traiter le carbone, les nutriments, les déchets, les toxines et l'eau sont des facteurs importants pour la capacité de la Terre à minimiser les effets néfastes sur l'environnement. Il sera impossible de répondre aux besoins nutritionnels de la planète sans réforme sérieuse des pratiques agricoles, de gestion du territoire et de l'écosystème (FAO, 2009b, Montgomery, 2008, Montgomery, 2007).

La crise économique et financière de 2008 à 2009 a déjà précipité 90 millions de personnes dans la pauvreté extrême (ONU, 2009). Toutefois, une pause dans l'accélération de l'activité économique mondiale pourrait donner l'occasion de cesser les pratiques destructrices, freiner la consommation d'énergie, promouvoir les nouvelles sources d'énergie, commencer à créer des emplois « verts » et se concentrer sur l'élaboration de chemins de croissance durables ainsi que sur de nouvelles approches de la restauration des écosystèmes (Levin, 2009, RU, 2009, Stern, 2007).

Destruction de la biodiversité

La liste rouge des espèces menacées de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) est la source d'informations la plus complète sur l'état de conservation des espèces végétales et animales. Elle se base sur un système objectif d'évaluation des risques d'extinction encourus par les espèces si aucune mesure de conservation n'est prise. Non seulement la liste rouge identifie les espèces et leur catégorie de menace (en danger critique d'extinction, en danger ou vulnérable), mais elle est aussi une source précieuse d'informations sur la nature des menaces, des impératifs écologiques, de la répartition des espèces et des actions de conservation qui pourraient empêcher l'extinction ou en réduire le risque (Walpole et alii, 2009).

Selon la dernière liste rouge, 17 291 espèces sur les 47 677 évaluées sont menacées : 21 % de tous les mammifères connus, 30 % des amphibiens, 12 % des oiseaux, 28 % des reptiles, 37 % des poissons d'eau douce, 70 % des plantes et 35 % des invertébrés connus (UICN, 2009).

La biodiversité est la base de la santé de l'écosystème et garantit les services écosystémiques (Mooney et Mace, 2009). C'est aussi un facteur critique de la gestion des écosystèmes pour la résilience, c'est-à-dire leur capacité à absorber et à se remettre des perturbations. Lors de la Convention sur la diversité biologique, la Conférence des Parties (CdP) appelait à une réduction significative du taux

de destruction de biodiversité pour 2010. Cet objectif ne sera probablement pas atteint (Diversitas, 2009, Gilbert, 2009). Les objectifs adoptés en vue de protéger 10 % des forêts mondiales ne seront pas respectés non plus, malgré l'accord unanime sur le rôle essentiel joué par les forêts dans la conservation de la biodiversité ainsi que dans la limitation et l'adaptation au changement climatique (Coad et alii, 2009). L'ensemble d'indicateurs utilisés pour suivre les progrès vers l'objectif de biodiversité 2010 n'est pas assez développé et fait l'objet de trop peu d'investissements. Pour améliorer la fiabilité des données, le contrôle global doit s'accompagner du développement des capacités au niveau national. En 2010, la CdP examinera les progrès réalisés sur la voie de l'objectif 2010. Un accord est attendu sur un nouvel ensemble d'objectifs et un cadre d'indicateurs révisé (Walpole et alii, 2009).

DEGRADATION DE L'ECOSYSTEME

L'Evaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire (EM) a été mise en œuvre entre 2001 et 2005 pour estimer les conséquences des mutations des écosystèmes. Ce programme a analysé les options disponibles pour favoriser la conservation et l'utilisation durable des écosystèmes, en se concentrant sur les liens entre les écosystèmes et le bien-être de l'humanité. En particulier, il s'est intéressé aux « services écosystémiques », autrement dit les bienfaits que nous retirons des écosystèmes. L'EM a considéré les vecteurs de changement directs et indirects par rapport aux écosystèmes et aux services écosystémiques, à l'état actuel de ces services ainsi qu'aux effets des changements des services écosystémiques sur le bien-être de l'homme (EM, 2009).

Les modifications de la biodiversité dues aux activités humaines ont été plus rapides ces 50 dernières années qu'au cours de n'importe quelle autre période de l'histoire de l'humanité. Beaucoup de ces vecteurs de changements pouvant provoquer une destruction de la biodiversité et des changements des services écosystémiques gagnent en intensité. L'étendue des zones mortes dans les océans a doublé à chaque décennie depuis les années 1960. Environ 400 régions côtières sont en pénurie d'oxygène périodique ou permanente à cause de déversements d'engrais ou d'eaux usées et de la consommation de combustibles fossiles (Diaz et Rosenberg, 2008).

L'ampleur des transformations de l'écosystème a suscité des hypothèses selon lesquelles l'humanité est entrée dans une nouvelle ère géologique qui succéderait à l'Holocène, long de 10 000 ans. Il a été suggéré que la révolution industrielle nous avait fait entrer dans l'« Anthropocène »,

où l'activité humaine est le principal vecteur de changement environnemental. Certains scientifiques avancent que le défi que nous rencontrons aujourd'hui est de maintenir l'état environnemental de l'Holocène, plus souhaitable (IGIP, 2009, Rockström et alii, 2009a, Zalasiewicz et alii, 2008).

Pêches maritimes menacées

La surexploitation, la pollution et l'augmentation des températures menacent 63 % des stocks de pêche mondiaux évalués (Worm et alii, 2009) (**Encadré 1**).

En 2009, pour la troisième année consécutive, un lieu de passage majeur de saumons rouges en Colombie-Britannique, au Canada, a été fermé à la pêche. Sur les 10 millions de saumons rouges attendus, seuls un peu plus d'1,3 million sont apparus, ce qui affecte l'économie, les personnes et les animaux qui en dépendent en termes d'alimentation. Certains experts ont mis en cause les températures plus élevées des océans et des rivières, ainsi que le déclin des réserves de nourriture en haute mer (CBC, 2009, Orr, 2009).

Les écosystèmes aquatiques détériorés peuvent parfaitement être restaurés. Au cours d'une étude de deux ans sur les stocks de pêche, des informations d'autres sources ont été ajoutées aux données de capture, y compris l'abondance des stocks et les taux d'exploitation dans dix écosystèmes, des études d'écosystèmes de 20 régions différentes ainsi que des modèles d'écosystème de 30 régions, pour fournir une évaluation précise et exacte de l'état de certaines pêches. Les stocks ont montré des signes de rémission dans cinq des dix écosystèmes étudiés. Les régions ayant présenté la plus grande amélioration étaient l'Islande et le large des côtes de Californie et de Nouvelle-Angleterre aux Etats-Unis (Worm et alii, 2009). Des



Saumons remontant la rivière Adams jusqu'au lac Shuswap (Canada)
Photo : Hank Tweedy

Encadré 1 : L'évaluation des processus d'évaluation du milieu marin a été lancée en 2009

L'Assemblée générale de l'ONU a demandé au PNUJ et à la Commission océanographique intergouvernementale (COI) de l'UNESCO de codiriger un projet destiné à évaluer la possibilité de lancer un processus d'évaluation régulière du milieu marin. Ce projet devra fournir aux décideurs des informations précises et opportunes sur l'état du milieu marin et les facteurs socio-économiques relatifs à celui-ci. La phase de démarrage consiste en une « Evaluation des évaluations », à savoir une synthèse exhaustive que ce qui a été entrepris aux niveaux national, régional et mondial pour évaluer l'état du milieu marin et des aspects des sociétés et des économies humaines liés à celui-ci.

Le « rapport d'évaluation des évaluations », publié en 2009, définit le cadre et les options en matière d'évaluation et d'élaboration de rapports coordonnés au niveau mondial. Il recommande une série de produits et activités à fournir ou mener à bien durant le premier cycle, parmi lesquels le renforcement des capacités, l'amélioration des connaissances et des méthodes d'analyse ; le renforcement des réseaux établis entre les processus d'évaluation existants et les programmes de surveillance et de recherche internationaux ; et la création de stratégies et d'outils de communication.

Source : PNUJ COI-UNESCO (2009)

signes encourageants ont aussi été relevés dans certains pays en voie de développement. Au Kenya et en Tanzanie, par exemple, des scientifiques, des gestionnaires et des communautés locales coopèrent pour restreindre l'utilisation de certains types d'équipement de pêche et fermer certaines zones à l'exploitation (Nyandwi, 2009).

La combinaison de mesures de contrôle classiques (quotas, gestion par la communauté, etc.) à des fermetures, des restrictions d'équipement, au zonage des océans et à des avantages économiques est une approche prometteuse. L'étude a conclu que lorsque les secteurs de la pêche, les scientifiques et les biologistes spécialistes de la préservation collaborent, partagent les meilleures données disponibles et transcendent les différentes disciplines, la gestion des écosystèmes peut être efficace (Worm et alii, 2009).

La moitié des poissons consommés dans le monde sont issus de l'aquaculture, ce qui ne relâche pas nécessairement la pression sur les espèces sauvages étant donné que la nourriture des poissons d'élevage est constituée de ces espèces. Il faut en effet jusqu'à 5 kg de poissons sauvages pour produire 1 kg de saumon d'élevage (Dewailly et Rouja, 2009, Naylor et alii, 2009). L'expansion des élevages de poissons dans les régions côtières a contribué à la destruction de plus de 50 % des mangroves dans le monde par rapport au début du 20^e siècle. L'élevage de crevettes est responsable de presque trois quarts de ces pertes (Bosire et alii, 2008).

Régions côtières

Près de la moitié des plus grandes villes du monde se trouvent à moins de 50 km d'une côte. Les régions côtières riches fournissent nourriture, loisirs et possibilités de transport, et sont de gigantesques transformateurs biogéochimiques (Vörösmarty et alii, 2009). Ces régions connaissent des pressions croissantes côté terre : la population augmente

et des zones humides côtières sont détruites au profit de l'agriculture et de l'expansion urbaine. Simultanément, la montée du niveau des eaux érode le littoral côté océan (Vörösmarty et alii, 2009).

Bon nombre des plus grands deltas du monde sont densément peuplés et font l'objet d'une agriculture intense. Néanmoins, ils sont de plus en plus vulnérables aux inondations et à la transformation de terrain en océan. Une étude récente a montré que l'eau envahissait 24 des 33 deltas les plus importants et que tous sauf cinq avaient connu des inondations temporaires au cours de la dernière décennie. Des dizaines de milliers de personnes ont été affectées et au total, 250 000 km² ont été inondés (Syvitski et alii, 2009). Les deltas sont menacés par la hausse du niveau de la mer et des activités humaines directes ont considérablement accru leur vulnérabilité. Les barrages et les réservoirs, par exemple, interrompent le flux naturel des cours d'eau et empêchent les sédiments d'atteindre les deltas.

On estime que dans les 40 prochaines années, la quantité totale de terres sensibles aux inondations pourra augmenter de 50 % dans le monde (Syvitski et alii, 2009). Des milliers de personnes ont déjà perdu la vie en conséquence des inondations récurrentes des deltas de l'Irrawaddy en Birmanie et du Gange-Brahmapoutre en Inde et au Bangladesh.

Les mangroves fournissent des services écosystémiques précieux, non seulement pour leur rôle essentiel de frayères, mais aussi de stabilisation des régions côtières (Alongi, 2008). Elles les protègent des tempêtes et aident à empêcher les inondations, ainsi que la salinisation en amont et souterraine. Elles fournissent aussi du carburant, de la nourriture et des médicaments aux communautés locales, et contribuent ainsi dans certains cas à la préservation de la biodiversité (Pritchard, 2009, Walters et alii, 2008).

Les mangroves, comme les récifs de corail et les vasières, atténuent l'énergie des vagues et participent bien plus efficacement aux défenses côtières que les défenses



La région des Sundarbans, au Bangladesh, fait partie du plus grand delta du monde, formé par le Gange, le Brahmapoutre et le Meghna. La forêt de mangrove s'étend sur environ 38 000 km².

Photo : www.sundarbans.org

« dures ». Lors du tsunami asiatique de 2004, les régions protégées par des mangroves et des récifs de corail intacts ont été moins affectées que celles dépourvues de ces barrières naturelles (Pritchard, 2009, Wetlands International, 2008). Le besoin de maintenir et de rétablir les « puits de carbone » dans les océans, les mers et les écosystèmes marins pour combattre le changement climatique était un sujet d'attention internationale en 2009. Sur tout le carbone biologique capturé dans le monde, plus de la moitié (« carbone bleu ») est capturé par des organismes vivants marins (Nellemann et alii, 2009, PNUJ, 2009).

MODELES DE GESTION DES ECOSYSTEMES

Les décideurs doivent pouvoir créer et mettre en œuvre des politiques pour les systèmes socio-écologiques, prévoir les conséquences et évaluer les résultats. Pour être pertinente, la recherche doit rassembler efficacement les différentes disciplines et créer les domaines de connaissance requis pour construire des systèmes résilients.

Les écosystèmes à plus grande biodiversité sont les plus résilients. La gestion et la formulation de stratégies doivent se baser sur la compréhension du fait que la biodiversité favorise la résilience de l'écosystème. Dans une biosphère déterminée par les actions humaines, il est fondamental de parvenir à la résilience pour pallier l'incertitude (Resilience Alliance, 2007, Elmqvist, 2003).

En quantifiant les liens socio-écologiques et les compromis associés de différentes actions sur un

laps de temps pertinent, les gestionnaires peuvent mieux anticiper l'impact de leurs actions (Carpenter et alii, 2009). Les écosystèmes réagissent aux différents facteurs de manière complexe, non linéaire et parfois même brusque. De plus, les services écosystémiques sont affectés par les interactions de facteurs multiples, les étendues spatiales variables et les décalages des processus ainsi que les liens conflictuels entre les différents services. Les changements subis par un écoservice en affectent inmanquablement un autre (Kellner et Hastings, 2009, Mitchell et alii, 2009).

Les recommandations de l'Evaluation des écosystèmes pour le millénaire formulées il y a environ cinq ans se sont révélées difficiles à appliquer. Il est particulièrement ardu de trouver un équilibre entre les besoins humains et la santé des écosystèmes. Etant donné les interactions complexes entre les facteurs multiples et la réaction chez les humains, les décisions stratégiques destinées à gérer et améliorer les

écosystèmes peuvent être extrêmement difficiles à prendre et d'autant plus problématiques à évaluer. Ces problèmes sont illustrés par une analyse de projets de la Banque mondiale entre 1998 et 2006, qui avaient pour objectif double de promouvoir la biodiversité et réduire la pauvreté. Seuls 16 % des projets ont été considérés comme réussis dans les deux domaines (Tallis et alii, 2008).

La procédure de quantification des compromis qui surviennent lorsque les services écosystémiques et les besoins humains interagissent reste mal comprise. Des chercheurs ont avancé qu'un cadre conceptuel doit être élaboré pour évaluer les changements des systèmes socio-écologiques par l'utilisation d'une série de mesures et d'indicateurs largement acceptés qui peuvent être collectés de manière cohérente et comparés à travers plusieurs cas (Carpenter et alii, 2009). Ce n'est qu'alors qu'une juste analyse des stratégies et des pratiques de gestion pourra voir le jour en vue d'augmenter la résilience des écosystèmes

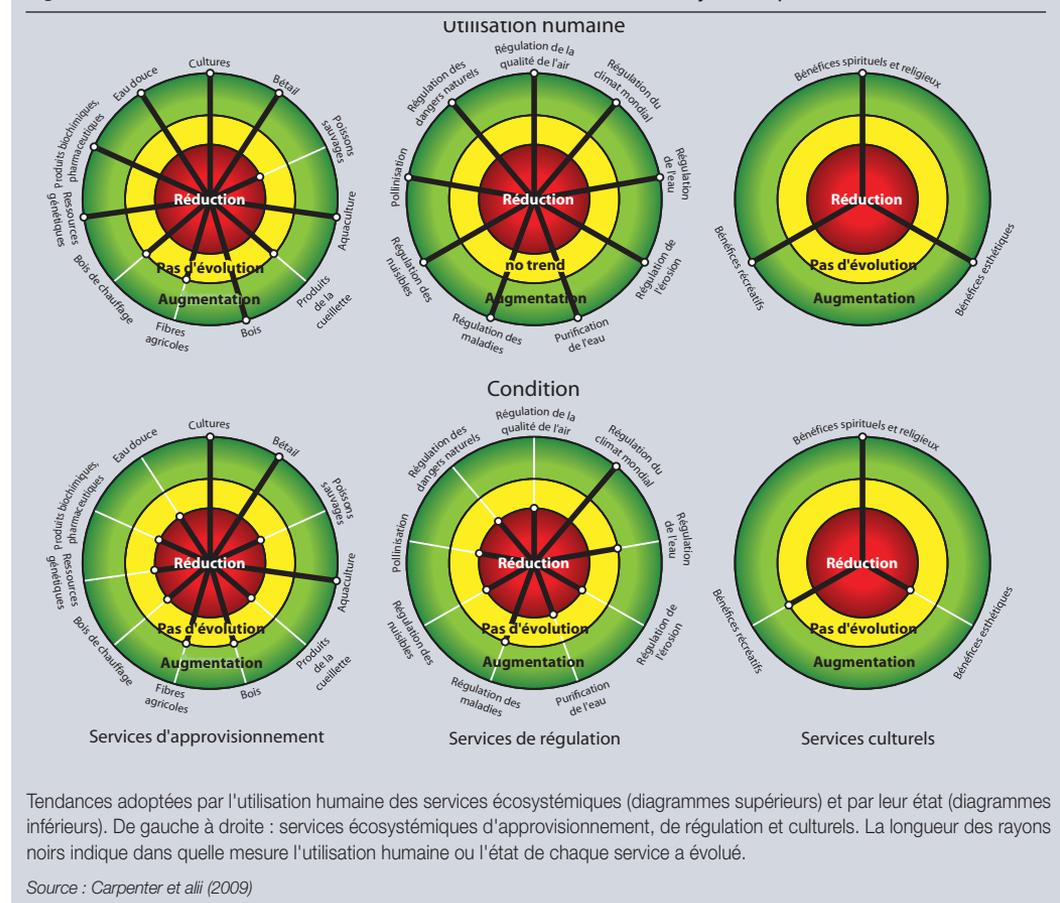
et d'améliorer les services écosystémiques (Figure 2).

Certains scientifiques pensent que les recherches futures devraient se concentrer sur le contrôle des services écosystémiques mêmes, en s'intéressant aux effets de facteurs multiples. Ces recherches répondraient directement au besoin d'informations sur la manière dont les facteurs et les interventions de gestion modifient les services écosystémiques. Elles permettraient d'évaluer non seulement les effets immédiats de la biodiversité, mais aussi son rôle dans la modification des effets des facteurs sur les services écosystémiques. Des modèles nouveaux et intégrés doivent être développés pour identifier les cadres conceptuels de gestion des écosystèmes et aborder l'étendue ainsi que les facteurs des situations spécifiques. Les changements au sein des services écosystémiques pourraient alors susciter des réactions via des réponses humaines (Carpenter et alii, 2009).

Des manquements significatifs se font sentir dans les programmes d'observation et de surveillance à long terme, en particulier concernant les données et les interactions entre les facteurs de changement, les écosystèmes et le bien-être de l'homme. La collecte de données doit être cohérente, rigoureuse et disponible via des bases de données exploitables, des bibliothèques virtuelles en ligne et des programmes de formation. Les connaissances locales et traditionnelles doivent aussi être collectées et prises en compte. Le développement d'outils permettant d'aider à modéliser ou analyser les réactions de la biodiversité et des services écosystémiques aux facteurs de changement, et aussi de prévoir la manière dont ces réactions affecteraient le bien-être de l'homme est essentiel. Les différentes disciplines scientifiques doivent travailler ensemble pour créer un cadre commun, crédible, répliquable et évolutif (Connelley et alii, 2009, Daily, 2009, Ostrom, 2009, PNUE IPBES, 2009a).

La Plate-forme intergouvernementale science-politique sur la biodiversité et les systèmes écosystémiques (IPBES) est destinée à servir de mécanisme international censé fournir une expertise scientifique sur la biodiversité et suivre les traces de la stratégie globale de l'EM pour aborder les problèmes présentés dans ses résultats (PNUE IPBES, 2009b). La coopération internationale visant à cesser la destruction de la biodiversité se concentre sur l'importance des efforts envers le bien-être de l'homme et l'éradication de la pauvreté. Pour mettre en évidence l'importance de la biodiversité parmi les scientifiques, les gouvernements et le public, l'ONU a proclamé 2010 « Année internationale de la Biodiversité ».

Figure 2 : Croissance de l'utilisation humaine des services écosystémiques



Ecosystèmes agricoles

La crise alimentaire mondiale a été induite par les effets combinés de la diminution des surfaces cultivables disponibles, des conditions climatiques, des maladies des cultures et des restrictions d'exportation (Battisti et Naylor, 2009). La production alimentaire repose entièrement sur la capacité des écosystèmes à fournir de l'eau, des sols riches en nutriments, une régulation climatique et des pollinisateurs, ainsi qu'à aider à maîtriser les infestations. Ces facteurs, en plus de la conversion de surfaces cultivables pour la production de biocarburant, peuvent réduire le nombre de terrains disponibles pour l'agriculture de 8 à 20 % d'ici 2050 (Ericksen, 2008). La dégradation de l'environnement constituera une contrainte majeure sur la future production mondiale, ce qui affectera les prix des aliments et la sécurité alimentaire. L'érosion des sols a déjà causé un déclin global de 40 % de la productivité agricole (Ericksen, 2008).

Le maintien et la construction de systèmes alimentaires efficaces face aux pressions démographiques croissantes et au changement climatique sont les défis les plus critiques auxquels le monde est confronté. Dans les régions tropicales et subtropicales, les températures de la période de croissance pourraient dépasser à la fin du 21^{ème} siècle les plus hautes relevées au cours des 100 dernières années (Battisti et Naylor, 2009), avec de graves conséquences pour la production agricole et de bétail. De plus, pour assurer l'approvisionnement de produits agricoles, certains pays effectuent des investissements dans d'autres pays en développement pour l'agriculture (**Encadré 2**). Le pic des prix alimentaires dans la première moitié de l'année 2008 a attisé les inquiétudes sur l'approvisionnement mondial de denrées alimentaires à l'avenir. Quoiqu'il semble techniquement possible de nourrir les 9 milliards d'habitants estimés pour

la moitié de ce siècle, la baisse des rendements, la hausse des prix de production ainsi que les difficultés logistiques, les arrangements institutionnels et les contraintes de sécurité dans certaines zones impliquent que l'économie alimentaire mondiale atteindra probablement un plafond bien avant que le potentiel technique soit réalisé.

En se basant sur une analyse de la littérature, des chercheurs affirment que si la baisse à long terme des prix alimentaires du 20^e siècle change, les horizons à court terme des acteurs privés et publics présenteront probablement des risques spécifiques, étant donné qu'ils pourraient empêcher des investissements opportuns dans l'augmentation de la capacité mondiale de production alimentaire. Les gouvernements peuvent appliquer un certain nombre d'options pour limiter ce risque, comme influencer l'offre et la demande des produits agricoles, investir dans la recherche et les infrastructures, ou diminuer l'instabilité des prix sur les marchés agricoles (Koning et Van Ittersum, 2009).

Encadré 2 : Acquisition de terres étrangères

Une série de pays exportateurs de capital mais manquant de surfaces terrestres ou aquatiques pour développer leur agriculture ont amorcé dans les pays en développement, et plus particulièrement en Afrique, une tendance d'investissement à la fois forte et controversée. Selon une récente étude de la FAO, la location de terres agricoles par des sociétés, des fonds de placements ou des gouvernements étrangers est devenue un phénomène mondial. Abu Dhabi a ainsi loué 28 000 hectares de terres au Soudan afin d'y cultiver du maïs, des haricots et des pommes de terres à destination des Emirats arabes unis (EAU) ; la Chine produit de l'huile de palme pour biocarburant sur 2,8 millions d'hectares en République démocratique du Congo ; et l'Inde a investi 4 milliards de dollars dans la culture de sucre de canne et de fleurs en Ethiopie.

L'externalisation de la production agricole dans les pays ayant besoin de capitaux n'a rien de nouveau, mais ces acquisitions de terres diffèrent des précédents par leur nature et leur ampleur. Les grands importateurs de nourriture comme la Chine, l'Inde, la République de Corée, le Qatar, l'Arabie Saoudite ou les EAU louent ou achètent de vastes étendues de terres arables, atteignant parfois 15 à 20 millions d'hectares, dans les pays en développement. Selon l'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI), la valeur de ces transactions est estimée à 20 à 30 milliards de dollars.

Ces acquisitions de terres à grande échelle ont plus particulièrement suivi la crise alimentaire de 2007 à 2008, durant laquelle les prix du blé, du riz et des céréales ont atteint de nouveaux sommets. La tourmente régnant sur les marchés alimentaires et les inquiétudes concernant le prix des importations, couplées à la menace du changement climatique et aux continuelles pénuries d'eau, ont donné un nouvel élan à ces transactions agraires. Par ailleurs, certains pays sont également à la recherche d'occasion d'engranger des bénéfices sur la vente de denrées alimentaires ou de produits tels que les biocarburants.

Les défenseurs de ces transactions soulignent qu'elles fournissent un revenu à des pays en difficulté et que les communautés locales pourraient tirer avantage de l'accès à nouvelles technologies ou variétés de cultures. Leurs détracteurs, par contre, signalent que les populations locales risquent de se faire expulser de leurs propres terres et que des pays où des meurent des millions de gens procèdent à l'exportation de nourriture en raison d'une pratique décrite comme « néocolonialiste ».

En 2009, on a assisté à des émeutes à Madagascar lorsque la société coréenne Daewoo Logistics a tenté de louer 1,3 millions d'hectares (soit près de la moitié de l'ensemble des terres arables de l'île) afin de produire du maïs et de l'huile de palme.

Ces transactions sont actuellement sujettes à des critiques de plus en plus vives, ce qui a conduit un certain nombre d'organismes, parmi lesquels la FAO, la Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (CNUCED) et la Banque mondiale, à développer des directives visant à les réglementer.

Aujourd'hui, la ruée vers la terre semble s'être ralentie. Comme le déclare Jean-Philippe Audinet, Directeur ad interim de la Division des politiques du Fonds international pour le développement agricole (FIDA), « certains ne sont pas prêts à prendre ce risque politique, ce risque pour la réputation et ce risque économique ». Il subsiste toutefois une inquiétude : celle d'assister à une recrudescence de ces acquisitions lorsque les prix des aliments recommenceront à monter.

hectares acquis par les principaux investisseurs, 2006 à 2009



Source : Institut international de recherche sur les politiques alimentaires

L'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires rapporte que depuis 2006, dans les pays en développement, 15 à 20 millions d'hectares de terres cultivables (ce qui, en superficie, représente environ un cinquième de celles de toute l'Union européenne) ont fait l'objet de transactions ou de négociations impliquant des étrangers.

Sources : BBC (2009), Coluta et alii (2009), Economist (2009), FAO (2009c), Viana et alii (2009), Rice (2008)

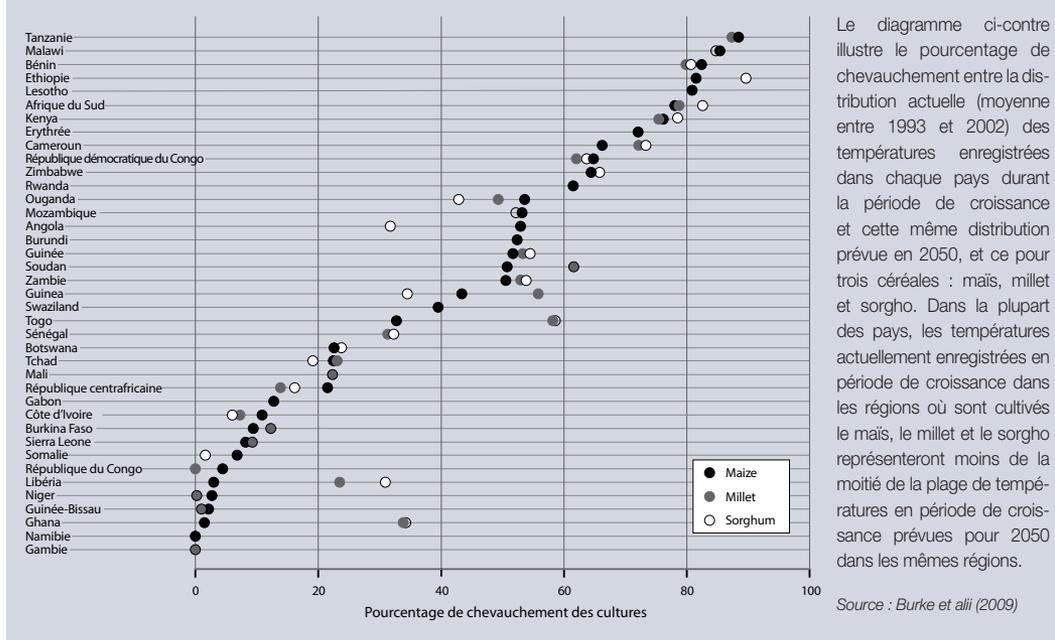
Développer le capital des ressources génétiques de l'Afrique

La plus grande partie de la population africaine connaît régulièrement une pression et des chocs liés au climat et à sa variabilité. Cependant, l'ampleur et la nature de ces impacts changera considérablement en fonction de l'évolution du climat (Conway, 2009).

Les problèmes liés à la sécurité alimentaire deviennent de plus en plus évidents depuis la crise des prix de l'alimentation de 2007 à 2008. La vulnérabilité aux fluctuations des disponibilités de denrées alimentaires fait l'objet d'une préoccupation particulière (Mittal, 2009). De récentes études ont appelé à des efforts d'adaptation concertés pour construire une résilience des systèmes agricoles africains face au changement climatique (Burke et alii, 2009, Conway, 2009, Lobell et alii, 2008). En s'adaptant au changement climatique, les agriculteurs africains pourraient bénéficier d'une expérience plus étendue disponible dans d'autres parties du continent et de l'accès à des ressources génétiques disponibles ailleurs (Burke et alii, 2009).

La connaissance de la vitesse et de l'ampleur potentielles des changements climatiques est également indispensable (**Figure 3**). Les organismes de charité et de recherche doivent comprendre le degré de rapidité et d'importance de ces changements, de façon à donner la priorité à la collecte, à l'évaluation et à la conservation des ressources génétiques. Il se pourrait qu'en Afrique, la diversité agricole ne soit pas suffisante pour permettre d'adapter la production au changement climatique. Alors

Figure 3 : Pourcentage de chevauchement des cultures dans les pays d'Afrique de 2002 à 2050



que de grandes avancées ont été faites dans la collecte de ressources génétiques des plantes pour des banques de semences au cours des cinquante dernières années, ces collectes sont très peu disponibles dans des zones clés de la diversité des cultures, et ce pour plusieurs raisons (Burke et alii, 2009). Les investissements dans la collecte et la conservation de la diversité des cultures dans des pays tels que le Cameroun, le Nigeria, le Soudan et la Tanzanie constitueraient une action initiatrice prometteuse.

Beaucoup de pays africains pourraient bénéficier des ressources génétiques d'autres pays du continent si ces ressources étaient gérées et partagées de manière efficace. L'interdépendance des pays concernant les ressources génétiques botaniques a suscité l'élaboration de mécanismes collaboratifs comme le Système multilatéral d'accès et de partage des avantages du Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture, parfois appelé « Seed Treaty ». Cette interdépendance croîtra clairement avec le changement climatique, tout comme le besoin d'une collaboration internationale pour la conservation et l'utilisation d'une diversité génétique des cultures (Burke et alii, 2009).

INTERACTIONS ECOSYSTEME-CLIMAT

La capacité des écosystèmes à fournir des services essentiels à la société est déjà sous pression. Le stress

supplémentaire imposé par le changement climatique dans les prochaines années demandera une adaptation sans précédent. Il sera nécessaire de déceler les changements d'état des écosystèmes, d'approfondir notre compréhension des bases biologiques de la fourniture des services écosystémiques et de développer de nouveaux outils et techniques pour maintenir et restaurer des systèmes biologiques et sociaux résilients, sur les bases d'un écosystème foncièrement altéré au cours du demi-siècle dernier. La plupart des cours d'eau ont été totalement restructurés ; les eaux sont très polluées et les stocks de poissons ont diminué ; les récifs de corail arrivent à un point de non-retour et pourraient disparaître en tant qu'écosystèmes fonctionnels à cause du réchauffement, de la pollution et de l'acidification ; enfin, la moitié de la surface de la planète sert à l'élevage du bétail et aux cultures, au mépris des services écosystémiques qui s'en trouvent perdus (Fagre et alii, 2009, Smol et Douglas, 2007).

Le changement climatique, causé principalement par des émissions anthropogéniques de gaz à effet de serre, bouleverseront notre base écosystémique de manières inédites. Nous constatons déjà des signes généralisés de changement. Le comportement des espèces est affecté, des cas de symbioses de longue date sont perturbés. Nous constatons des extinctions dans des habitats vulnérables et des situations dans lesquelles la

migration est nécessaire à la survie. Tout ceci représente une menace inouïe et réclame l'attention urgente de la communauté scientifique (Mooney et alii, 2009).

Des scientifiques et des gestionnaires de la conservation réexaminent les approches de gestion des écosystèmes par rapport au changement climatique, et étudient par la même occasion la façon dont les écosystèmes influencent le climat et dont le climat provoque des changements dans les écosystèmes (Glick et alii, 2009, Chapin et alii, 2008, Hoegh-Guldberg et alii, 2008, Campbell et alii, 2008, MacLachlan et alii, 2007).

La considération de plusieurs interactions et rétroactions entre le climat et la gestion des écosystèmes pourrait amener à des stratégies de limitation des changements climatiques novatrices pour réduire simultanément, par exemple, les émissions de gaz à effet de serre et la vitesse de dégradation des terres ainsi que la déforestation. L'accomplissement de chacun de ces objectifs offrirait de multiples avantages écologiques et sociaux. L'évaluation de l'efficacité de ces stratégies exige une bonne compréhension des interactions entre les processus de rétroaction, de leurs conséquences aux niveaux local et mondial ainsi que de la manière dont les changements sont liés à plusieurs échelles dans différentes régions (Chapin et alii, 2008).

Le rôle des océans dans l'atténuation des effets du climat est examiné par le biais d'une attention particulière au piégeage du « carbone bleu ». Une récente publication du PNUE, produite en collaboration avec la FAO et l'UNESCO, rapporte qu'une estimation de 50 % du carbone atmosphérique fixé dans les systèmes naturels passe par les mers et les océans (Nellemann et alii, 2009). 70 % du carbone stocké de manière permanente dans les zones marines se trouve dans les mangroves, les herbiers marins et les marais salés. Cependant, certains écosystèmes critiques disparaissent plus rapidement que les écosystèmes terrestres et demandent d'urgence une attention plus poussée.

La gestion adaptative active, outil essentiel pour les réactions écosystémiques au changement climatique, consiste à surveiller de près les systèmes et modifier les stratégies de gestion pour aborder des changements attendus et en cours (Lawler et alii, 2009). Un réchauffement moyen mondial de 2 °C d'ici 2100 pourrait avoir des effets catastrophiques, quoique leur nature précise soit toujours sujette à controverse. En 2007, le quatrième rapport d'évaluation du GIEC a prédit que la sécheresse, les températures élevées et les conditions météorologiques difficiles affecteraient la productivité alimentaire, menaceraient d'extinction jusqu'à 30 % des

espèces et provoqueraient le blanchiment de nombreux récifs de corail dans le monde (GIEC, 2007a, GIEC, 2007b). Beaucoup de scientifiques sont maintenant convaincus que la température augmente et qu'au 21^{ème} siècle, l'impact dépassera les projections du rapport du GIEC de 2007 (Le Quéré et alii, 2009, Rockström et alii, 2009a, Rockström et alii, 2009b, Smith et alii, 2009, PNUE, 2009).

Une gestion des écosystèmes qui ignorerait les impacts probables du changement climatique n'atteindrait même pas les objectifs de gestion les plus basiques. C'est pourquoi les doutes quant à ces impacts figurent parmi les plus grandes difficultés auxquelles sont confrontés les gestionnaires d'écosystèmes. Pour pouvoir aboutir, une stratégie de gestion doit prendre en compte les incertitudes inhérentes aux projections des impacts sur le climat, et la manière dont ces incertitudes affecteront les résultats des activités de gestion.

Progrès en matière de REDD

La protection active des forêts tropicales est aujourd'hui considérée comme une priorité cruciale de gestion écosystémique et une manière rentable de réduire les émissions de carbone mondiales. La formalisation du concept de « réduction des émissions dues à la déforestation à la dégradation des forêts » (REDD) tout en construisant un consensus, la connaissance et la conscience de l'importance d'inclure un mécanisme de REDD dans un traité sur le changement climatique après 2012 représente l'objectif du nouveau programme collaboratif ONU-REDD.

Le REDD est un système de paiement ambitieux et novateur pour les services écosystémiques. Il reconnaît les forêts comme facteur majeur d'atténuation du changement climatique ; il propose aussi des encouragements financiers pour maintenir et laisser croître les forêts tropicales. Environ 25 % du carbone terrestre est stocké dans les forêts. La déforestation représente environ 20 % des émissions de gaz à effet de serre anthropiques, soit plus que celles produites par le secteur des transports entier. Le REDD attribue une valeur monétaire aux forêts existantes dans les pays en voie de développement et permet aux pays développés de compenser leurs émissions de CO₂ en remboursant les propriétaires fonciers (y compris les autochtones) pour protéger les forêts au lieu de les défricher. Par exemple, le premier projet REDD du Brésil concerne l'Etat de l'Amazonas, à la réserve de développement durable de Juma, où chaque famille reçoit 28 \$ par mois si la forêt reste intacte (Viana, 2009).

Il existe des difficultés. Par exemple, comment procéder à une surveillance pour s'assurer que ce

Encadré 3 : Utilisation de l'imagerie par satellite pour surveiller la destruction et la dégradation des forêts

Plus d'un pour cent de l'ensemble des forêts tropicales humides a été perdu entre 2000 et 2005. Le spectroradiomètre à résolution modérée (MODIS) de la NASA est capable de capturer les images de cette déforestation à grande échelle et notamment d'identifier des zones de coupe rase de 15 à 25 hectares. Le Brésil dispose depuis longtemps d'un programme d'imagerie par satellite, le Projet de surveillance de la déforestation dans le bassin de l'Amazonie (PRODES), qui garde l'œil sur la plus grande forêt tropicale du monde. Il ne s'agit toutefois que de l'un des outils employés pour tenter de mettre un terme aux abattages illégaux et aux destructions qui représentent 30 % des émissions mondiales de carbone : un projet pilote lancé en collaboration avec le Japon (le satellite Daichi) a en effet permis de voir sous la couverture nuageuse, un défi fréquemment rencontré dans le domaine de l'imagerie des forêts tropicales.

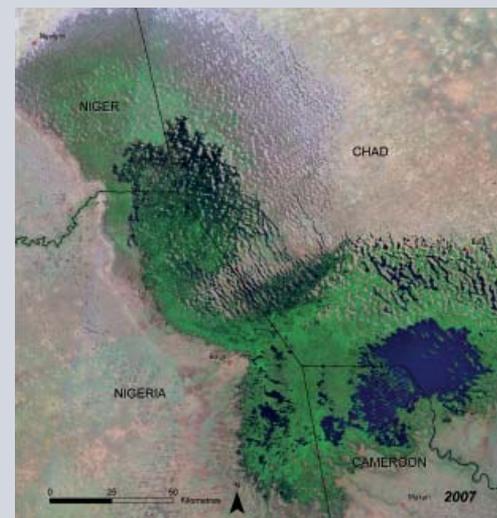
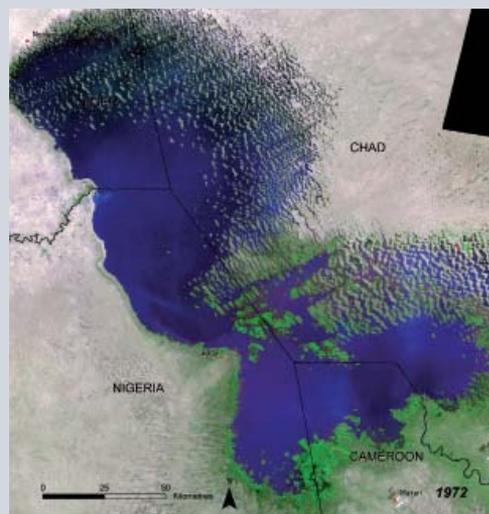
Ces satellites font partie du Système mondial des systèmes d'observation de la Terre (GEOSS). Lancé en réponse aux appels à l'action du Sommet mondial sur le développement durable de 2002 et du G8, ce programme, qui implique 80 gouvernements ainsi que l'Union européenne, relie entre eux tous les organismes et systèmes d'observation de la Terre dans le but d'obtenir une image complète de la planète. Son site Web, nommé GEO Portal, est un point d'accès unique regroupant l'ensemble des images, données et logiciels d'analyse relatifs à toutes les régions du globe. Ce projet a été mis sur pied afin de faciliter la compréhension et la prédiction du changement climatique, d'améliorer la gestion des eaux et de rendre plus efficaces les initiatives de gestion et de protection des ressources terrestres, côtières et marines.

Un nouveau programme axé sur la biodiversité a été lancé au sein du GEOSS avec l'ajout du réseau Group on Earth Observations Biodiversity Observation Network (GEO BON) à la famille GEO.

En effet, bien que les satellites puissent surveiller la destruction et la dégradation des forêts, ils sont incapables d'évaluer la teneur en carbone, paramètre pourtant nécessaire pour obtenir une évaluation REDD précise. A l'heure actuelle, déterminer la teneur en carbone d'une forêt et surveiller ses émissions est un processus long et difficile. Calculer la biomasse et, au final, la quantité de carbone séquestré par une forêt nécessite souvent de mesurer manuellement le diamètre et la hauteur des arbres, un processus qui s'effectue parcelle par parcelle, un arbre à la fois. Heureusement, de nouveaux logiciels permettront bientôt de cartographier et de surveiller la déforestation et la dégradation des forêts à l'aide d'un simple ordinateur.

Le logiciel Carnegie Landsat Analysis System - Lite (CLASLite) combine les images prises par les satellites d'observation terrestre comme Landsat et des mesures LIDAR (système de télédétection par laser aéroporté) pour estimer la teneur en carbone d'une forêt ; cet outil sera particulièrement important dans la surveillance des forêts tropicales reculées et de grande superficie. Les mesures proviennent de capteurs capables de cartographier à distance 10 000 km² par heure, ce qui n'empêche pas CLASLite d'être aussi précis que les techniques de collecte de données plus traditionnelles.

Sources : Asner (2009), GEOSS (2009), Tollefson (2009)



Le bassin versant du lac Tchad, un système hydrologiquement clos de 2 500 000 km², s'étend sur huit pays : l'Algérie, le Cameroun, la Jamahiriya arabe libyenne, le Niger, le Nigéria, la République centrafricaine, le Soudan et le Tchad. Il héberge plus de 20 millions de personnes qui, directement ou indirectement, tirent leur subsistance du lac. La majeure partie des précipitations de la région se produisent dans le tiers méridional du bassin versant, qui contribue à lui seul à 90 % du ruissellement de l'ensemble. Les deux tiers septentrionaux sont quant à eux dominés par des conditions climatiques arides.

Comme le montrent ces images satellites datant respectivement de 1972 et de 2007, la superficie du lac a considérablement diminué avec le temps, malgré une récente augmentation du niveau de ses eaux. La baisse des précipitations et la hausse de la consommation d'eau par les habitants ont modifié, et continuent à modifier, l'équilibre du bassin versant ; elles ont également réduit la superficie du lac Tchad de 95 % en environ 35 ans, au point de le rendre particulièrement susceptible aux variations climatiques en raison de sa profondeur relativement faible (4,11 mètres en moyenne).

Photo : Atlas of Our Changing Environment (http://na.unep.net/digital_atlas2/google.php)

programme fonctionne efficacement et qu'il ait un impact maximal ? Aujourd'hui, l'imagerie par satellite est le principal outil utilisé pour détecter la destruction et la dégradation des forêts (**Encadré 3**).

Pour influencer sur les concentrations atmosphériques de CO₂, les arbres doivent être protégés de toute dégradation, de tout incendie et de tout abattage durant au moins 100 ans (Shrope, 2009).

Autre question, encore plus difficile : comment déterminer les « niveaux de référence » par rapport auxquels les réductions futures de gaz à effet de serre seront mesurées ? Le problème consiste à trouver un moyen de veiller à ce que les mécanismes REDD ne récompensent pas paradoxalement les pays aux taux de déforestation élevés tout en discriminant ceux chez qui ils sont bas. De plus, les pays qui reçoivent des fonds doivent disposer d'une gouvernance efficace qui assure que les paiements reçus sont redistribués aux communautés et aux propriétaires fonciers individuels pour les dédommager s'ils n'abattent pas d'arbres. La propriété foncière doit être clairement établie et des efforts particuliers doivent être fournis pour impliquer et protéger les populations indigènes (Cotula et Meyers, 2009, Viana, 2009). Les communautés locales dont la subsistance dépend de ces écosystèmes seront les plus touchées.

Les initiatives REDD sont le plus susceptible de réussir là où elles se basent sur les intérêts des autochtones et des communautés forestières. L'équilibre entre les encouragements, les avantages, les droits et la participation politique aux niveaux de la prise de décision, des groupes d'intérêt et de l'administration requiert une attention particulière. Ces encouragements peuvent comprendre des paiements ou autres avantages pour les bonnes pratiques, le développement de moyens de subsistance alternatifs, la formalisation du régime foncier et des droits sur les ressources locales et l'intensification de la productivité des terrains non forestiers. La pression exercée pour réduire la déforestation doit être répartie sur plusieurs niveaux pour alléger la charge pesant sur les communautés forestières.

Une forêt en bonne santé offre de nombreux autres bienfaits en dehors de la fixation du carbone et l'atténuation du changement climatique. Les forêts protègent la biodiversité, arrêtent l'érosion des sols et maintiennent la qualité de l'eau. Les critiques de la REDD voudraient voir plus de reconnaissance accordée à ces autres avantages.

Selon certaines estimations, l'investissement de 22 à 29 milliards de dollars américains diminuerait la déforestation de 25 % d'ici 2015 au niveau mondial (IWG-IFR, 2009). Les coûts de transaction seront probablement

très élevés, bien que plus bas que ceux associés à presque tout autre moyen de limitation ayant un impact similaire. REDD offre un mécanisme utile de compensation des émissions de CO₂ des pays développés, tant que ces pays ne l'utilisent pas comme un moyen comparativement facile d'éviter de réduire leurs propres émissions (Wollenberg et Springate-Baginski, 2009).

Colonisation assistée

Les changements climatiques ont déjà modifié la distribution de nombreux animaux et plantes au niveau local ; dans plusieurs cas, ces modifications ont entraîné une forte contraction de l'aire de répartition, voire un risque d'extinction, de certaines espèces. Suite aux changements que subissent les habitats auxquels elles se sont naturellement adaptées, de nombreuses espèces migrent vers de plus hautes latitudes et altitudes. Certaines sont incapables de se disperser ou de s'adapter assez rapidement pour faire face à l'évolution des conditions climatiques et courent donc un risque accru d'extinction ; pire encore, des écosystèmes entiers, comme les forêts nébuleuses ou les récifs coralliens, risquent de cesser de fonctionner sous leur forme actuelle en raison de l'impossibilité pour eux de migrer ou de s'adapter suffisamment rapidement (Hoegh-Guldberg et alii, 2008).

Certains acteurs du débat sur les mesures de préservation à appliquer face au changement climatique considèrent la « colonisation assistée », c'est-à-dire le déplacement et l'aide à l'implantation d'espèces menacées d'extinction, comme une option à étudier (McLachlan et alii, 2007). Les chercheurs ont proposé l'adoption d'un cadre de gestion et d'évaluation des risques destiné à identifier les problèmes nécessitant une réaction modérée, par exemple un renforcement des mesures de préservation conventionnelles, et ceux requérant une réaction plus extrême, comme la colonisation assistée

Le nombre d'éléments socioéconomiques et biophysiques à prendre en compte est considérable. Le déplacement de grands carnivores menacés dans les zones de pâturage, par exemple, est largement controversé. Dans certains cas, on considère que la préservation d'une espèce passe par le recours aux banques de gènes en attendant qu'un habitat plus adapté lui soit trouvé ou développé. Plusieurs génothèques ont déjà été établies dans le but de conserver les semences importantes sur le plan agricole malgré le réchauffement de la planète ; cette approche pourrait être étendue et constituer une alternative viable pour de nombreux animaux et végétaux qui n'ont pas pour l'instant d'importance économique particulière

mais qui pourraient très bien devenir inestimables à l'avenir (Swaminathan, 2009 ; Hoegh-Guldberg et alii, 2008).

La colonisation assistée n'est pas sans risques, surtout lorsque les espèces déplacées deviennent envahissantes, mais ces risques doivent faire l'objet d'une évaluation et être mis en balance avec la possibilité d'extinction et de destruction d'écosystème. On enregistre déjà une hausse des températures dans plusieurs régions, y compris l'Arctique ; d'autres vont très probablement connaître un réchauffement sans précédent au cours des cent prochaines années, ainsi qu'une modification des régimes de précipitations et une augmentation de l'acidité des océans. L'avenir de certaines espèces et de certains écosystèmes est si incertain que la colonisation assistée pourrait bien être leur dernière chance. Les décisions à prendre en matière de gestion nécessiteront donc une mûre réflexion ainsi qu'une solide compréhension scientifique (Running et Mills, 2009 ; Hoegh-Guldberg et alii, 2008).

PERSPECTIVES

Il reste encore beaucoup de questions sans réponses concernant la santé, les fonctions et la résistance des écosystèmes. Il est toutefois clair qu'il faudra passer par la gestion des écosystèmes pour atténuer l'impact du changement climatique et s'y adapter : bien gérés, en effet, les écosystèmes peuvent constituer un moyen rentable et efficace de réduire ces effets néfastes. Il est par conséquent essentiel de gérer la résistance des écosystèmes et de protéger la biodiversité afin d'assurer cette résistance si nous désirons atteindre nos objectifs en matière de développement et relever le défi que représente le changement climatique.

Certaines interventions permettent d'atténuer les effets du changement climatique ou de faciliter l'adaptation à celui-ci : il peut s'agir de mesures d'adaptation *technologiques* comme la création de digues ; de la *gestion directe d'écosystème*, discipline qui se préoccupe de certains écosystèmes ou services écosystémiques spécifiques, comme les zones humides construites ; ou encore de la *gestion indirecte d'écosystème*, approche à long terme concernant la résistance et les fonctions des écosystèmes, lesquels comportent une série d'avantages solidaires qui renforcent directement les services écosystémiques prioritaires. Pour amortir les effets du changement climatique et faciliter l'adaptation à celui-ci, il est donc critique de préserver la santé et la résistance des écosystèmes (**Figure 4**).

Figure 4 : Options d'adaptation de la gestion des écosystèmes côtiers

Option d'adaptation	Facteurs de stress climatique ciblé	Autres objectifs de gestion atteints	Avantages	Contraintes
Autoriser les zones humides côtières à migrer vers l'intérieur, par ex. par repli, restrictions en matière de densité, achat de terres	Hausse du niveau des mers	Préserver l'habitat d'espèces vulnérables, préserver les régions côtières / leur développement	Préserve l'habitat des espèces, assure la protection des écosystèmes de l'intérieur des terres	Dans les zones fortement développées, il n'y a bien souvent pas de terres où les zones humides pourraient migrer ou cela peut coûter cher aux propriétaires terriens
Intégrer la protection des zones humides à la planification des infrastructures, par ex. pour les égouts	Hausse du niveau des mers, modifications des précipitations	Maintenir la qualité de l'eau, préserver l'habitat d'espèces vulnérables	Protège les infrastructures précieuses et importantes	
Préserver et restaurer la complexité structurelle et la biodiversité des marais maritimes, des herbiers marins et des mangroves	Augmentation de la température de l'eau, modifications des précipitations	Maintenir la qualité de l'eau, préserver les côtes, gérer les espèces envahissantes	La végétation protège de l'érosion, protège les côtes des continents des marées, des ondes de tempêtes et des vagues, filtre les polluants et absorbe le CO ₂ atmosphérique	
Identifier et protéger les zones d'importance écologique comme les zones de reproduction et de frayage ou les zones de grande diversité	Modification des rythmes saisonniers, augmentation de la température de l'air et de l'eau	Gérer les espèces envahissantes, préserver l'habitat d'espèces vulnérables	Protéger les zones essentielles renforce la biodiversité et les services écosystémiques (par ex. produire et ajouter des nutriments pour les systèmes côtiers, qui servent de refuges et de zones de reproduction pour les espèces)	Peut nécessiter une protection nationale ou régionale
Approches basées sur la gestion intégrée des régions côtières afin d'assurer un développement durable	Modifications des précipitations, Hausse du niveau des mers, hausse de la température de l'air et de l'eau, modification de l'intensité des tempêtes	Préserver l'habitat d'espèces vulnérables, préserver / restaurer les zones humides, préserver les réserves d'eau, maintenir la qualité de l'eau, préserver le transport des sédiments, préserver les côtes	Prend en compte tous les acteurs de la planification et équilibre leurs objectifs, aborde tous les aspects du changement climatique	Les acteurs doivent être prêts à faire des compromis, nécessite beaucoup plus d'efforts de planification
Intégrer la prise en compte des effets du changement climatique dans la planification des nouvelles infrastructures	Hausse du niveau des mers, modifications des précipitations, modification de l'intensité des tempêtes	Préserver l'habitat d'espèces vulnérables, préserver / restaurer les zones humides	Les travaux d'ingénierie pourraient prendre en compte les modifications des précipitations ou le rythme saisonnier des flux, les décisions d'implantation pourraient prendre en compte la hausse du niveau des mers	Les propriétaires terriens s'opposent probablement à un déplacement vers l'intérieur des terres
Créer des marécages en plantant les espèces requises (herbes, laïches ou joncs) dans le substrat existant	Hausse du niveau des mers	Maintenir la qualité de l'eau, préserver / restaurer les zones humides, préserver l'habitat d'espèces vulnérables, gérer les espèces envahissantes	Fournir une barrière de protection, préserve et bien souvent renforce les habitats	Les conditions doivent permettre aux marais de survivre (par ex. soleil pour les herbes et eau calme), peut être affecté par les changements saisonniers
Utiliser des récifs d'huîtres et autres brise-lames naturels pour dissiper l'action des vagues et protéger les côtes	Augmentation de la température de l'eau, hausse du niveau des mers, modifications des précipitations, modification de l'intensité des tempêtes	Préserver les régions côtières / leur développement, maintenir la qualité de l'eau, gérer les espèces envahissantes	Protège naturellement les côtes et les marais et évite l'érosion des récifs côtiers, entraîne le dépôt de sédiments	Peut ne pas être viable à long terme car les brise-lames sont peu susceptibles d'assurer une protection suffisante contre l'érosion en cas de forte tempête
Remplacer les armatures côtières par des ligatures vivantes en nourrissant les plages et en plantant de la végétation	Hausse du niveau des mers, modifications de l'intensité des tempêtes	Préserver / restaurer les zones humides, préserver l'habitat d'espèces vulnérables, préserver les régions côtières / leur développement	Réduit les effets négatifs de l'encrochement du littoral, comme l'érosion en aval, préserve l'habitat côtier	Peut être coûteux, nécessite plus de planification et de matériaux que l'encrochement
Éliminer les structures de renforcement des côtes comme les cloisons ou les digues afin de permettre aux côtes de migrer	Hausse du niveau des mers	Préserver le transport des sédiments	Permet aux côtes de migrer	Coûteux et destructif pour les propriétés côtières
Planter de la végétation aquatique submergée comme les herbiers pour stabiliser les sédiments et réduire l'érosion	Modifications des précipitations, hausse du niveau des mers	Préserver / restaurer les zones humides, préserver l'habitat d'espèces vulnérables, préserver les régions côtières / leur développement	Stabilise les sédiments, ne nécessite pas de procédures de construction coûteuses	Caractère saisonnier : les herbes diminuent les mois d'hiver, alors que les vagues y sont souvent plus fortes en raison des tempêtes, l'ensoleillement est essentiel

Source : adaptation de Hale et alii (2009)

RÉFÉRENCES

- Alongi, M.D. (2008). Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76, 1-13
- Asner, G.P. (2009). Tropical forest carbon assessment: Integrating satellite and airborne mapping approaches. *Environmental Research Letters*, 7 September 2009
- Battisti, D.S., et Naylor, R.L. (2009). Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat. *Science*, 323(5911), 240-244
- BBC (2009). Madagascar leader axes land deal. BBC News. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/africa/7952628.stm>
- Bosire, J.O., Dahdouh-Guebas, F., Walton, M., Crona, B.I., Lewis III, R.R., Field, C., Kairo, J.G. et Koe-dam, M. (2008). Functionality of restored mangroves: a review. *Aquatic Botany* 89(2), 251-259
- Burke, M., Lobell, D. et Guarino, L. (2009). Shifts in African crop climates by 2050, and the implications for crop improvement and genetic resources conservation. *Global Environmental Change*, 19(3), 317-325
- Calzadilla, V. (2009). Securing water resources for water scarce ecosystems. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) Secretariat, Bonn
- Campbell, A., Kapos, V., Cheney, A., Kahn, S.I., Rashid, M., Scharlemann, J.P.W. et Dickson, B. (2008). *The linkages between biodiversity and climate change mitigation*. UNEP World Conservation Monitoring Centre
- Carpenter, S.R., Mooney, H.A., Agard, J., Capistrano, D., Defries, R.S., Diaz, S., Dietz, T., Duraipah, A.K., Oting-Yeboah, A., Pereira, H.M., Perrings, C., Reid, W.V., Sarukhan, J., Scholes, R.J. et Whyte, A. (2009). Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 1305-1312
- CBC (2009) Fraser River sockeye salmon fishery closed again. Canadian Broadcasting Corporation, 13 August 2009. <http://www.cbc.ca/canada/british-columbia/story/2009/08/12/bc-fraser-river-sockeye-salmon-closure.html>
- Chapin III, F.S., Randerson, J.T., McGuire, A.D., Foley, J.A. et Field, C.B. (2008). Changing feedbacks in the climate-biosphere system. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(6), 313-320
- Coad, L., Burgess, N.D., Bomhard, B. et Besançon, C. (2009). Progress towards the Convention on Biological Diversity's 2010 and 2012 Targets for Protected Area Coverage. A technical report for the IUCN international workshop 'Looking to the Future of the CBD Programme of Work on Protected Areas'. Jeju Island, Republic of Korea, 14-17 September 2009. UNEP World Conservation Monitoring Centre (WCMC), Cambridge, UK
- Connelly, S., Pringle, C.M., Bixby, R.J., Brenes, R., Whiles, M.R., Lips, K.R., Kilham, S. et Huryn, A.D. (2008). Changes in Stream Primary Producer Communities Resulting from Large-Scale Catastrophic Amphibian Declines: Can Small-Scale Experiments Predict Effects of Tadpole Loss? *Ecosystems*, 11, 1262-1276
- Conway, G. (2009). *The science of climate change in Africa: impacts and adaptation*. Grantham Institute for Climate Change, Discussion paper No. 1. Imperial College, London
- Cotula, L. et Meyers, J. (2009). *Tenure in REDD: start-point or afterthought?* *Natural Resource Issues* No. 15. International Institute for Environment and Development, London
- Cotula, L., Vermeulen, S., Leonard, R. et Keeley, J. (2009). *Land Grab or Development Opportunity? Agricultural Investment and International Land Deals in Africa*. International Institute for Environment and Development (IIED)/FAO/International Fund for Agricultural Development (IFAD). <http://ftp.fao.org/docrep/la0/011/ak241e/ak241e.pdf>
- Daily, G.C., Polasky, S., Goldstein, J., Kareiva, P.M., Mooney, H.A., Pejchar, L., Ricketts, T.H., Salzman, J. et Shallenbarger, R. (2009). Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Front. Ecol. Environ.*, 7(1), 21-28
- Dewailly, E. et Rouja, P. (2009). Think Big, Eat Small. *Science*, 326(5949), 44
- Diaz, R.J. et Rosenberg, R. (2008). Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems. *Science*, 321(5891), 926-929
- Diversitas (2009). Open Science Conference II, 2009. World won't meet 2010 Biodiversity targets. <http://owl.english.purdue.edu/owl/resource/560/10/>
- Economist (2009). Buying farmland abroad: Outsourcing's third wave. *The Economist*, 21 May 2009.
- Elmqvist, T., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G., Bengtsson, J., Walker, B. et Norberg, J. (2003). Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(9), 488-494
- Eriksen, P.J. (2008). What is the vulnerability of a food system to global environmental change? *Ecology and Society*, 13(2), 14
- Fagre, D.B., Charles, C.W., Allen, C.D., Birkeland, C., Chapin III, F.S., Groffman, P.M., Guntenspergen, G.R., Knapp, A.K., McGuire, A.D., Mulholland, P.J., Peters, D.P.C., Roby, D.D. et Sugihara, G. (2009). *CCSP 2009: Thresholds of Climate Change in Ecosystems. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research*. US Geological Survey, Washington, D.C.
- FAO (2009a). 1.02 Billion People Hungry. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/news/story/en/item/20568/icode/>
- FAO (2009b). *Feeding the World, Eradicating Hunger: Executive Summary of the World Summit on Food Security, WSFS 2009/INF/2*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/Summit/WSFS_Issues_papers/WSFS_Background_paper_Feeding_the_world.pdf
- FAO (2009c). *From Land Grab to Win-Win: Seizing the Opportunities of International Investments in Agriculture. Economic and Social Perspectives, Policy Brief 4*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://ftp.fao.org/docrep/la0/011/ak357e/ak357e00.pdf>
- GEOS (2009) Earth Observation in Support of Climate Monitoring within the GEO International Initiative. Global Earth Observation System of Systems. European Commission. http://www.earthobservations.org/meetings/20091207_18_cop15_leaflet_geo.pdf
- Gilbert, N. (2009) Efforts to sustain biodiversity fall short. *Nature*, 462, 263
- Glick, P., Staudt, A. et Stein, B. A New Era for Conservation: Review of Climate Change Adaptation Literature. Discussion Draft. 2009. National Wildlife Federation
- Hale, Z.L., Malane, I., Davidson, S., Sandwith, T., Beck, M., Hoekstra, J., Spalding, M., Murawski, S., Cyr, N., Osquod, K., Hajjoko, M., Eijk, van P., Davidson, N., Eichbaum, W., Dreas, C., Obure, D., Tarnetander, J., Herr, D., McClennan, C., et Marshall, P. (2009). Ecosystem-based Adaptation in Marine and Coastal Ecosystems. *Renewable Resources Journal*, 25, 4
- Hoegh-Guldberg, O., Hughes, L., McIntyre, S., Lindenmayer, D.B., Parmesan, C., Possingham, H.P. et Thomas, C.D. (2008). Ecology: Assisted Colonization and Rapid Climate Change. *Science*, 321 (5887), 345-346
- IGPP (2009). Welcome to the Anthropocene. International Geosphere and Biosphere Programme. <http://www.igpp.net/page.php?pid=293>
- IPCC (2007a). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averynt, M. Tignor and H.L. Miller). Cambridge University Press, UK
- IPCC (2007b). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson). Cambridge University Press, UK
- IUCN (2009). Extinction crisis continues apace. International Union for Conservation of Nature. http://www.iucn.org/about/work/programmes/species/red_list/74143/Extinction-crisis-continues-apace
- IWG-IFR (2009). Putting \$22-29 Billion into REDD cuts deforestation by 25% by 2015. Informal Working Group on Interim Finance for REDD+. <http://www.un-redd.org/NewsCentre/NewsUnitedNationsevento-restsandclimate/tabid/1530/language/en-US/Default.aspx>
- Jackson, S.T. et Hobbs, R.J. (2009). Ecological Restoration in the Light of Ecological History. *Science*, 325(5940), 567-569
- Kellner, J.B. et Hastings, A. (2009). A reserve paradox: introduced heterogeneity may increase regional invisibility. *Conservation Letters*, 2, 115-122
- Koning, N. et Van Ittersum, M.K. (2009). Will the world have enough to eat? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1, 77-82
- Lawler, J.J., Shafer, S.L., White, D., Kareiva, P., Maurer, E.P., Blaustein, A.R. et Bartlein, P.J. (2009). Projected climate-induced faunal change in the Western Hemisphere. *Ecology*, 90(3), 588-597
- Le Quére, C., Raupach, M.R., Canadell, J.G., Marland, G., Bopp, L., Ciais, P., Conway, T.J., Doney, S.C., Feely, R.A., Foster, P., Friedlingstein, P., Gurney, K., Houghton, R.A., House, J.I., Huntingford, C., Levy, P.E., Lomas, M.R., Majkut, J., Metz, N., Ometto, J.P., Peters, G.P., Prentice, I.C., Randerson, J.T., Running, S.W., Sarmiento, J.L., Schuster, U., Stith, S., Takahashi, T., Viovy, N., van der Werf, G.R. et Woodward, F.I. (2009). Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature Geoscience*, 2, 831-836
- Levin, P.S., Fogarty, M.J., Murawski, S.A. et Fluharty, D. (2009). Integrated Ecosystem Assessments: Developing the Scientific Basis for Ecosystem-Based Management of the Ocean. Public Library of Sciences, *Biology* 7(1), 23-28
- Lobell, D., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P. et Naylor, R.L. (2008). Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030. *Science*, 319 (5863), 607-610
- MA (2009). Millennium Ecosystem Assessment web site. <http://www.millenniumassessment.org/en/Index.aspx>
- McLachlan, J.S., Hellmann, J.J. et Schwartz, M.W. (2007). A framework for debate of assisted migration in an era of climate change. *Conservation Biology*, 21, 297-302
- Mitchell, S.R., Harmon, M.E. et O'Connell, K.E.B. (2009). Forest fuel reduction alters fire severity and long-term carbon storage in three Pacific Northwest ecosystems. *Ecological Applications*, 19(3), 643
- Mittal, A. (2009). *The 2008 Food Price Crisis: Rethinking Food Security Policies, G-24 Discussion Paper Series, No. 56*. UN Conference on Trade and Development (UNCTAD)
- Montgomery, R.D. (2007). Why We Need Another Agricultural Revolution. *Chronicle of Higher Education*, 13 April 2007
- Montgomery, R.D. (2008). *Dirt: The Erosion of Civilizations*. University of California Press
- Mooney, H., Larigauderie, A., Cesario, M., Elmqvist, T., Hoegh-Guldberg, O., Lavorel, S., Mace, G.M., Palmer, M., Scholes, R. et Yahara, T. (2009). Biodiversity, climate change, and ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1, 46-54
- Mooney, H. et Mace, G. (2009). Biodiversity Policy Challenges. *Science*, 325(5947), 1474
- Mukherji, A., Facon, T., Burke, J., de Frature, C., Faurès, J.-M., Fülék, B., Giordano, M., Molden, D. et Shah, T. (2009). *Revitalizing Asia's irrigation: to sustainably meet tomorrow's food needs*. International Water Management Institute (IWMI) and FAO
- Naylor, R.L., Hardy, R.W., Bureau, D.P., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A.P., Forster, I., Gatlin, D.M., Goldberg, R.J., Hua, K. et Nichols, P.D. (2009). Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 15103-15110
- Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C.M., Valdes, L., DeYoung, C. Fonseca, L., Grimsditch, G. (eds.) (2009). *Blue Carbon: A Rapid Response Assessment*. United Nations Environment Programme, in collaboration with the Food and Agriculture Organization and UNESCO. GRID-Arendal
- Nyandwi, N. (2009). Protection of the coelacanth: A primitive fish in the coastal waters of Tanzania. *Ocean & Coastal Management*, 52(12), 655-659
- Orr, C. (2009). A call to action on B.C. sockeye salmon. Watershed Watch Salmon Society, 30 December 2009
- Ostrom, E. (2009). A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science*, 325(5939), 419-422
- Pritchard, D. (2009). Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in developing countries (REDD)—the link with wetlands: A background paper for FIED. Foundation for International Law and Development. <http://ccsl.iccip.net/wetlands.pdf>
- Resilience Alliance (2007). Assessing and managing resilience in social-ecological systems: A practitioners workbook. Volume 1, version 1.0. <http://www.resilience.org/3871.php>
- Rice, X. (2008). Qatar looks to grow food in Kenya. *The Guardian*. <http://www.guardian.co.uk/environment/2008/dec/02/land-for-food-qatar-kenya> [Accessed 23 November 2009]
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, S.F., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., Wit, C.A., Hughes, T., Leeuw, S., Roche, H., Sörin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. et Foley, J.A. (2009a). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472-475
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, S.F., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., Wit, C.A., Hughes, T., Leeuw, S., Roche, H., Sörin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. et Foley, J.A. (2009b). Planetary Boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14, 2 (issue in progress: this is a longer version 2009a, above). <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>
- Running, S.W. et Mills, L.S. (2009). Terrestrial Ecosystem Adaptation. Resources for the Future report. <http://www.rff.org/rff/documents/RFF-Rpt-Adaptation-RunningMills.pdf>
- Scheffer, M., Bascompte, J., Brock, W.A., Brokvin, V., Carpenter, S.R., Dakos, V., Held, H., van Nes, E.H., Rietkerk, M. et Sugihara, G. (2009). Early-warning signals for critical transitions. *Nature*, 461, 53-59
- Schrope, M. (2009). When money grows on trees: Protecting forests offers a quick and cost-effective way of reducing emissions, but agreeing a means to do so won't be easy. *Nature Reports Climate Change*, 14 August 2009
- Smith, J.B., Schneider, S.H., Oppenheimer, M., Yohe, W., Hare, W., Mastrandrea, D., Patwardhan, A., Burton, I., Corfee-Morlot, J., Magadza, C.H.D., Fussler, H.-M., Pittcock, A.B., Rahman, A., Suarez, A. et Ypersele, J.-P. (2009). Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) "reasons for concern". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(11), 4133-4137
- Smol, J.P. et Douglas, M.S.V. (2007). Crossing the final ecological threshold in high Arctic ponds. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(30), 12395-12397
- Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press, UK
- Swaminathan, M.S. (2009). Gene Banks for a Warming Planet. *Science*, 325(5940), 517
- Syvitski, J.P.M., Kettner, A.J., Overeem, I., Hutton, E.W.H., Hannon, M.T., Brakenridge, G.R., Day, J., Vörösmarty, C., Saito, Y., Giosan, L. et Nichols, R.J. (2009). Sinking Deltas due to Human Activities. *Nature Geoscience*, 2, 681-686
- Tallis, H., Kareiva, P., Manier, M. et Chang, A. (2008). An ecosystem services framework to support both practical conservation and economic development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(28), 9457-9464
- Tolefson, J. (2009). Climate: Counting the Carbon in the Amazon. *Nature*, 461, 7261
- UN (2009). The Millennium Development Goals Report 2009. United Nations, New York. http://www.un.org/millenniumgoals/pdf/MDG_Report_2009_ENG.pdf
- UNEP (2009). *Climate Change Science Compendium 2009*. Earthprint, Nairobi
- UNEP IOC-UNESCO (2009). *An Assessment of Assessments, Findings of the Group of Experts. Start-up Phase of a Regular Process for Global Reporting and Assessment of the State of the Marine Environment including Socio-economic Aspects*. UNEP/Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC)-UNESCO
- UNEP IIPBES (2009a). *Second ad hoc intergovernmental and multi-stakeholder meeting on an intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services, Nairobi, 5-9 October 2009. Summary of perspectives from the scientific community and broader civil society*. UNEP/Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES)
- UNEP IPBES (2009b). *Gap analysis for the purpose of facilitating the discussions on how to improve and strengthen the science-policy interface on biodiversity and ecosystem services. Information document*. UNEP/Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES)
- Viana, V. (2009). Seeing REDD in the Amazon: a win for people, trees and climate. International Institute for Environment and Development (IIED). <http://www.iied.org/pubs/pdfs/17052IED.pdf>
- Vörösmarty, C.J., Syvitski, J., Day, J., de Sherbinin, A., Giosan, L. et Paola, C. (2009). Battling to save the world's river deltas. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 65(2), 31-43
- Walpole, M., Almond, R.E.A., Besançon, C., Butchart, S.H.M., Campbell-Lendrum, D., Carr, G.M., Collen, B., Collette, B., Davidson, N.C., Duloo, E., Fazal, A.M., Galoway, J.N., Gill, M., Goverse, T., Hockings, M., Leaman, D.J., Morgan, D.H.W., Revenga, C., Rickwood, C.J., Schuyser, F., Simons, S., Stattersfield, A.J., Tyrell, T.D., Vié, J.-C. et Zimski, M. (2009). Tracking Progress Toward the 2010 Biodiversity Target and Beyond. *Science*, 325(5947), 1503-1504
- Walters, B.B., Pionnäck, P., Kovacs, J.M., Crona, B., Hussain, S.A., Badola, R., Primavera, J.H., Barbier, E. et Dahdouh-Guebas, F. (2008). Ethnobotany, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89, 220-236
- Wetlands International (2008). Wetlands and climate change adaptation. Sustaining and restoring wetlands: an effective climate change response. <http://www.wetlands.org/Default.aspx?TabId=56&articleType=ArticleView&articleId=1953>
- Wollenberg, E. et Springate-Baginski, O. (2009). *Incentives + How can REDD improve well-being in forest communities?* Info-Brief, Center for International Forestry Research (CIFOR)
- Worm, B., Hilborn, R., Baum, J.K., Branch, T.A., Collie, J.S., Costello, C., Fogarty, M.J., Fulton, E.A., Hutchings, J.A., Jennings, S., Jensen, O.P., Lotze, H.K., Mace, P.M., McClean, T.R., Minello, C., Palumbi, S.R., Parma, A.M., Ricard, D., Rosenberg, A.A., Watson, R. et Zeller, D. (2009). Rebuilding Global Fisheries. *Science*, 325(5940), 578-585
- Zalasiewicz, J., Williams, M., Smith, A., Barry, T.L., Coe, A.L., Bown, P.R., Brenchley, P., Cantrill, D., Gale, A., Gibbard, P., Gregory, F.J., Hounslow, M.W., Kerr, A.C., Pearson, P., Knox, R., Powell, J., Waters, C., Marshall, J., Oates, M., Rawson, P., Rawson, P. et Stone, P. (2008). Are we now living in the Anthropocene? *GSA Today*, 18(2), 4-8

Substances nocives et déchets dangereux

Il reste encore beaucoup à faire pour comprendre les effets des substances nocives et des déchets dangereux sur la santé humaine et l'environnement, et trouver des moyens de les réduire et de les atténuer. L'exposition aux substances nocives, particulièrement en ce qui concerne les enfants, inquiète de plus en plus.



Un travailleur agricole sans masque pulvérise des pesticides chimiques sur un champ de haricots en Equateur. Le recours à des méthodes de stockage, de manipulation et d'utilisation de pesticides en toute sécurité est bien moins répandu dans les pays en développement. Par conséquent, les pesticides peuvent faire peser un risque grave sur la santé des travailleurs agricoles.

Photo : Philippe Henry / Biosphoto

INTRODUCTION

De nouveaux risques et dangers environnementaux potentiels font leur apparition. Les plus marquants d'entre eux sont probablement les nanomatériaux, qui confrontent les décideurs d'un certain nombre de pays à la problématique d'appréciation des dangers et des risques qu'ils représentent, et de réglementation de leur utilisation. Grâce à la science, nous comprenons de mieux en mieux les dangers insidieux et souvent cachés des substances chimiques existantes et couramment utilisées qui agissent en tant que perturbateurs endocriniens et affectent les systèmes hormonaux. Dans ce domaine, les décideurs sont également confrontés à de nouveaux défis et doivent notamment s'attacher à interpréter cette avancée scientifique et à décider quand et comment agir.

Le contrôle des matériaux dangereux est un aspect important de la coopération internationale. La Convention

de Stockholm sur les polluants organiques persistants (POP) répertorie un nombre croissant de substances nocives. En 2009, divers agents ignifuges bromés (BFR) ont été ajoutés à la liste des substances dont les émissions dans l'environnement doivent être éliminées ou diminuées conformément à la Convention de Stockholm. En ce qui concerne deux pesticides courants, l'endosulfan et l'atrazine, les données scientifiques restent floues et la réglementation est fragmentaire.

Les conséquences des flux de déchets sur la santé et l'environnement sont considérables. En 2009, le transport international des déchets dangereux et électroniques s'est accentué, soulignant la nécessité d'une coopération internationale en vue de la résolution de ce problème. Correctement pris en charge, une grande partie de ces déchets peuvent être recyclés en

ressources brutes très utiles. Ceci peut même être le cas des eaux usées des agglomérations urbaines qui, une fois traitées, peuvent s'avérer une source importante d'eau pour l'irrigation et de nutriments pour l'agriculture.

Dans les années à venir, de nombreux pays seront confrontés au traitement sécuritaire des matériaux dangereux. Dans les pays en développement connaissant une industrialisation rapide, les habitants eux-mêmes et les consommateurs du monde entier sont préoccupés par des activités telles que l'exploitation minière, le traitement des minerais, la production industrielle et le recyclage des déchets. La prise de conscience, de plus en plus répandue, que ce genre d'activités constitue une menace pour la santé humaine et l'environnement influence les décisions politiques.

Certains problèmes sanitaires et environnementaux demeurent, même s'ils ont été identifiés ou que des solutions semblent accessibles. La pollution à l'intérieur des bâtiments, créée par la fumée émise des foyers à feu ouvert, qui fait peser un risque grave sur la santé de millions de personnes, pourrait être considérablement réduite si quelques changements de comportement peu onéreux étaient adoptés.

PREOCCUPATIONS PERSISTANTES

Questions sans réponse concernant les nanomatériaux

En 2009, les chercheurs ont consigné l'arrivée du millième produit de grande consommation contenant des nanomatériaux (Nanotechproject, 2009a). Les revenus générés par les nanotechnologies et leurs nombreuses applications, telles que la nanoélectronique et la nanobiotechnologie, qui s'élèvent actuellement à environ 32 milliards \$ US, devraient être centuplés au cours des dix prochaines années. La création de millions de nouveaux emplois pourraient en découler (Kelly, 2009 ; Lux, 2009 ; Palmberg et alii, 2009).

Selon un rapport récent de l'Organisation de coopération

et de développement économiques (OCDE), alors qu'il est communément admis que les nanotechnologies offrent de « grands espoirs, qu'il s'agisse d'opportunités commerciales dans divers secteurs ou d'avantages socio-économiques plus larges, notamment concernant les domaines de l'énergie, des soins de santé, de l'accès à l'eau potable et des changements climatiques », il convient de renforcer le contrôle des investissements et de l'implication des sociétés dans le développement des nanotechnologies. Les scientifiques n'étant toujours pas unanimes sur la définition des nanoparticules, il est difficile de définir ce qu'est une société nanotechnologique. Des enquêtes sur les difficultés auxquelles sont confrontées ces sociétés quant à la commercialisation des nanotechnologies indiquent que « les coûts de traitement élevés, les problèmes rencontrés par les départements de recherche et de développement en matière de prototypes et de production industrielle, l'axe de recherche de base des sciences connexes et les préoccupations concernant l'environnement, la santé et sécurité... apparaissent comme leurs principaux défis » (Palmberg et alii, 2009).

Des programmes de recherche et de développement en matière de nanotechnologies existent dans des dizaines de pays, notamment au Brésil, en Chine, en Inde et dans d'autres pays en développement. Le président Medvedev a annoncé en 2009 que la Russie se destine à devenir un chef de file dans le domaine des nanotechnologies (PRIME-TASS, 2009). Etant donné que de plus en plus de travailleurs et de consommateurs du monde entier sont confrontés aux nanomatériaux, une attention croissante est accordée au besoin de compréhension des risques potentiels pour la santé et l'environnement associés à leur mise en œuvre, leur utilisation, leur distribution et leur mise au rebut (**Figure 1**).

En 2008, un rapport du Conseil national de la recherche

des Etats-Unis (CNR) a identifié ce que les auteurs considéraient comme étant d'importantes faiblesses dans les projets du gouvernement en matière de recherche sur les risques potentiels pour la santé et l'environnement. Il leur avait été demandé d'évaluer la National Nanotechnology Initiative (NNI) américaine, qui coordonne le financement de la recherche et du développement dédié aux nanotechnologies entre 25 agences et départements fédéraux. Ils ont constaté que certains aspects importants de la recherche n'étaient pas traités de manière adaptée. En outre, plusieurs agences principales, telles que les Instituts nationaux de la santé (NIH), l'Agence de protection de l'environnement (EPA) et les autorités sanitaires américaines (FDA), œuvrent de concert pour superviser la recherche, mais aucune entité gouvernementale n'est chargée de mettre cette stratégie en application (CNR, 2009).

Certains nanomatériaux sont classés dans la rubrique de « substances chimiques » conformément à la US Toxic Substances Control Act (TSCA, loi américaine sur les substances toxiques) et sont par conséquent réglementés par l'EPA. La recherche sur les nanomatériaux, effectuée par le Bureau de recherche et développement de l'EPA, est orientée par la stratégie de recherche sur les nanomatériaux (EPA américaine, 2009a) dans laquelle certaines des questions soulevées par le rapport du CNR sont traitées.

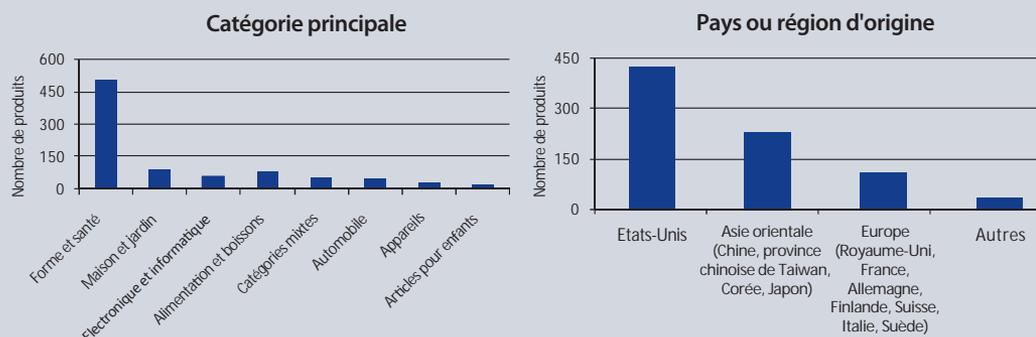
Les gouvernements, entreprises et établissements de recherche utilisent les informations collectées dans le monde entier pour développer leurs stratégies et lignes directrices relatives aux problèmes de sécurité posés par les nanotechnologies. Les agences gouvernementales d'un certain nombre de pays participent à des activités de coopération avec des organes internationaux, tels que l'Organisation internationale de normalisation (ISO),

l'OCDE et les Nations Unies, dans le but d'identifier les besoins en matière de nanotechnologies et d'y répondre, et d'adopter des normes internationales. Le partage d'informations sur des mécanismes de réglementation nationaux (OCDE, 2009a ; OCDE, 2009b ; ISO, 2008a ; ISO, 2008b ; OCDE, 2008) devient ainsi possible.

Une étude menée en 2008 par le Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux (CSRSEN), organe indépendant de la Commission européenne, a examiné les développements récents en matière d'évaluation des risques posés par les nanomatériaux pour les populations et l'environnement. Le CSRSEN a conclu que l'une des principales entraves à l'évaluation des risques est un manque général de données fiables sur l'exposition aux nanomatériaux. Certains risques spécifiques pour la santé humaine ont été identifiés, notamment la possibilité selon laquelle les nanotubes (un type de nanomatériau) pourraient présenter les mêmes dangers que les fibres d'amiante s'ils sont inhalés. La probabilité des effets toxiques sur les organismes a été mise en évidence, de même que la possibilité de transfert entre espèces, ce qui indique que les nanomatériaux risquent de se bioaccumuler.

Etant donné qu'il n'existe aucun paradigme généralement accessible pour l'identification des dangers relatifs aux nanomatériaux, le CSRSEN nous avertit qu'il convient d'évaluer ces risques au cas par cas. A l'instar d'autres types de substances, certains nanomatériaux peuvent s'avérer toxiques et d'autres non. Le CSRSEN a demandé à ce que des stratégies de recherche coordonnées soient adoptées afin d'obtenir des données sur l'évaluation des risques pour la santé humaine et l'environnement comparables, fiables, qui font actuellement défaut (CSRSEN, 2009).

Figure 1 : Produits de grande consommation de nanotechnologie par catégorie principale et par pays ou région d'origine



Le Project on Emerging Nanotechnologies Consumer Product Inventory (Projet d'inventaire des produits de grande consommation basés sur les nanotechnologies émergentes) contient des informations sur le fabricant, le pays d'origine et la catégorie de chaque produit. Les graphiques montrent la répartition de ces produits par catégorie principale et par pays ou région, selon les données de 2008. En tout, 21 pays étaient concernés au moment où cet inventaire a été réalisé. Avec 426 produits, la prédominance des sociétés américaines était évidente. Elles sont suivies par les pays d'Asie de l'Est et par l'Europe, avec respectivement 227 et 108 produits.

Source : Woodrow Wilson International Center for Scholars (2008). (<http://www.nanotechproject.org>)

Les nanoparticules ont été définies comme présentant une ou plusieurs dimension de moins de 100 nanomètres (100 millièmes de millimètre, soit 1/80 000ème de l'épaisseur d'un cheveu humain). A l'échelle nanométrique, les caractéristiques des matériaux, comme leur couleur, leur résistance et leur réactivité, changent souvent. Une infinité d'applications nanotechnologiques a été présentée ou envisagée. Grâce aux revêtements nanomodifiés, les textiles peuvent se doter de propriétés anti-taches ou antistatiques. Du nanoargent est ajouté aux produits médicaux et de grande consommation en raison de ses propriétés antimicrobiennes. Des inquiétudes s'élèvent toutefois sur l'utilisation des nanomatériaux dans les produits de grande consommation pour une finalité relativement insignifiante (Dowling et alii, 2004). Les fabricants de produits de protection solaire ajoutent des nanoparticules de dioxyde de titane et d'oxyde de zinc. Les principales ONG en faveur de l'environnement ont condamné cette utilisation (FoE, 2009).

Des émissions volontaires de nanoparticules en vue de dépolluer les sols et les eaux souterraines contaminées ont été réalisées aux Etats-Unis et en Europe (Karn et alii, 2009 ; Nanotechproject, 2009b) malgré les conclusions d'organismes scientifiques indépendants de renom, comme le Conseil des sciences du Japon et la Société royale du Royaume-Uni, qui préconisaient d'effectuer des recherches préalables afin d'évaluer leurs effets sanitaires et environnementaux (Maynard, 2009 ; Société royale, 2005). Voici un exemple de technique de dépollution en développement rendue possible grâce à la « technologie de l'infiniment petit » : des scientifiques américains de l'EPA ont obtenu par synthèse du charbon actif avec des nanoparticules bimétalliques en fer/palladium, et ce afin de créer un nouveau traitement à l'échelle nanométrique qui pourrait obtenir de meilleurs résultats que les méthodes conventionnelles de détection, traitement et retrait des polluants dangereux (US EPA, 2009b).

Suppression progressive des agents ignifuges bromés

Les produits combustibles sont souvent traités avec des agents ignifuges. Les plus utilisés sont les agents ignifuges bromés (BFR). Des preuves de la toxicité de certains BFR, de leur persistance généralisée dans l'environnement et de leur potentiel de bioaccumulation ont fait monter la pression en vue de l'arrêt de la production de ce type de substance chimique et de son utilisation, et du développement d'alternatives présentant moins de risques.

La production totale annuelle de BFR est excédentaire de 200 000 tonnes. On retrouve les BFR dans les

usines où ils sont fabriqués, mais également dans la poussière des foyers, dans des sites de traitement des déchets spécialisés en déchets électroniques, dans les décharges et dans les sédiments des cours d'eau. Des BFR ont même été retrouvés sur le plancher océanique (Kimbrough et alii, 2008 ; Alaei et alii, 2003).

Le plus grand consommateur de BFR est le secteur de l'électronique. Les sites de recyclage des déchets électroniques des pays en développement comptent parmi les responsables les plus importants d'émissions de BFR dans l'environnement. Le sol à proximité du célèbre site de recyclage de Guiyu in Chine du Sud contient jusqu'à 3 parties par million (ppm) de BFR et les cendres générées par ce site en renferment jusqu'à 60 ppm ; ils comptent parmi les niveaux les plus élevés jamais enregistrés (Luo et alii, 2009 ; Leung et alii, 2007).

Les trois grandes catégories de BFR sont les suivantes : les tétrabromobisphénols A (TBBPA), les hexabromocyclododécanes (HBCD) et les diphenyléthers polybromés (PBDE). Les PBDE sont les plus préoccupants, en partie parce qu'ils se dégradent lentement et qu'il a été établi qu'ils s'accumulent dans l'atmosphère et se dispersent dans les sols des agglomérations urbaines. Les PBDE commencent également à envahir les zones rurales (Law et alii, 2008). Une récente étude de l'agence américaine d'observation océanique et atmosphérique (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) a constaté que des PBDE étaient présents « sur l'ensemble des régions côtières des Etats-Unis, y compris au niveau des Grands Lacs », les niveaux étant particulièrement élevés dans les mollusques et les sédiments à proximité de Los Angeles et de New York (Kimbrough et alii, 2008).

Les PBDE sont toxiques et peuvent influencer sur le développement cérébral. Ils s'accumulent dans le tissu adipeux des mammifères qui les consomment, l'être humain ne faisant pas exception. Une étude en a découvert dans le lait maternel de plusieurs pays, les concentrations les plus élevées étant aux Etats-Unis (Kotz et alii, 2005). Une autre étude a démontré que les concentrations de PBDE dans le sang et les tissus humains avaient doublé tous les cinq ans depuis les années 1970 (Hites, 2004). En Chine, des taux extrêmement élevés (au-dessus des 3 ppm) ont été retrouvés dans les tissus adipeux d'agents de désassemblage de déchets électroniques (Wen et alii, 2008).

Dans plusieurs pays, deux types de PBDE (les penta-BDE et les octa-BDE) sont interdits. En 2009, ils ont été ajoutés à la liste des POP pour leur suppression progressive conformément à la Convention de Stockholm (Convention de Stockholm, 2009a). La Convention

réclame l'arrêt de la production de ces substances chimiques, mais le recyclage et la valorisation de produits en contenant sont autorisés jusqu'en 2030. Cela signifie qu'une partie des personnes les plus exposées continueront à l'être (ChemSec, 2009).

Bien qu'il soit interdit dans la plupart des pays d'Europe et dans certains Etats des Etats-Unis, le déca-BDE, un troisième type de PBDE, n'est pas visé par la Convention de Stockholm. En 2004, lorsque les études d'évaluation des risques posés par le déca-BDE ont été terminées, les preuves scientifiques des risques de bioaccumulation et de ses effets sur la santé humaine étaient moins nombreuses qu'aujourd'hui. Des études animales ont établi que le déca-BDE altérait le foie et les systèmes neurologiques. Il est de plus cancérigène. Depuis 2004, des études sur des ours polaires en Norvège, des oiseaux de proie en Chine et d'autres animaux ont également démontré que le déca-BDE se bioaccumulait (Chen et alii, 2007 ; Verreault et alii, 2005).

De plus en plus d'éléments indiquent que le déca-BDE, par l'action de la lumière du soleil, se dégrade pour prendre la forme d'autres PBDE, y compris ceux qui sont déjà interdits conformément à la Convention de Stockholm. Une simulation a estimé que 13 % du penta-BDE dans l'environnement provenaient de la dégradation du déca-BDE (Schenker, 2008). Ces inquiétudes, entre autres, ont poussé certains fabricants de mobilier et d'appareils électroniques à arrêter d'utiliser le déca-BDE et à le remplacer par des produits moins nocifs (Gue et MacDonald, 2007).

Une attention croissante portée aux perturbateurs endocriniens

De nombreux produits toxiques pour l'environnement perturbent les processus de développement des mammifères in utero ; d'énormes risques pèsent sur les fœtus et les enfants en bas âge. Au cours de la réunion des ministres de l'Environnement du G8 en Italie en avril 2009, cette question a été largement débattue. Au Japon, par exemple, les taux d'anomalies congénitales, telles que le spina-bifida et le syndrome de Down, ont doublé ces 25 dernières années. D'autre part, la proportion d'enfants touchés par un affaiblissement de leur système immunitaire, associé à des maladies telles que l'asthme, a triplé ces 20 dernières années (Saito, 2009). Selon des études japonaises, les niveaux d'obésité croissants peuvent s'expliquer par la perturbation du système hormonal des jeunes (Takimoto et Tamura, 2006).

Les acteurs de la réunion ministérielle du G8 se sont

accordés sur le fait que les pays devaient œuvrer de concert afin d'identifier les causes environnementales de maladies infantiles courantes (G8, 2009). Ces préoccupations sont traduites dans diverses initiatives nationales. En 2009, le gouvernement des Etats-Unis a lancé une série d'études sur 60 000 femmes enceintes. Leurs enfants seront observés du stade fœtal à l'âge de 12 ans afin d'identifier les influences environnementales sur leur santé et leur développement. En Italie, des études d'évaluation des risques de l'exposition prénatale et périnatale à des substances toxiques persistantes ont commencé.

Les perturbateurs endocriniens font partie des substances chimiques les plus préoccupantes. Ces substances chimiques altèrent les systèmes hormonaux des animaux, entraînant des effets réels et potentiels sur les systèmes reproducteurs. Elles comprennent des BFR, des PCB et d'autres substances chimiques industrielles, des pesticides tels que l'atrazine et le DDT, des plastifiants comme les phtalates et le bisphénol A, que l'on retrouve dans de nombreux produits en plastique et cannettes, et des stéroïdes anabolisants. La production de certaines de ces substances est interdite dans de nombreux pays. Elles sont pourtant toujours présentes dans certains produits, flux de déchets et dans l'environnement en général (Connolly, 2009) (**Encadré 1**).

Les perturbateurs endocriniens agissent comme les hormones naturelles dans le corps humain en affectant les systèmes de signalisation chimique qui guident le développement du cerveau et des systèmes reproducteurs (**Figure 2**). Une préoccupation particulière est que les perturbateurs endocriniens et leurs produits dissociés peuvent se substituer à l'hormone féminine, l'œstrogène, pour bloquer l'hormone masculine, l'androgène. Les effets de ces substances chimiques pourraient être plus préjudiciables pour le fœtus exposé in utero. La découverte d'oursins polaires hermaphrodites dans l'Arctique a été associée aux PCB autrefois utilisés dans les sous-marins nucléaires (Steiner, 2009). Le cancer du testicule chez l'homme a été relié à l'exposition périnatale aux POP perturbateurs endocriniens (Hardell et alii, 2006).

Le nombre de ces substances chimiques présentes dans les produits de grande consommation quotidiens et dans l'environnement implique que, même si elles constituent individuellement une menace insignifiante aux doses auxquelles la plupart des gens sont exposés, elles pourraient représenter une menace collective. Cet « effet cocktail » de l'accumulation de petites doses pourrait créer des synergies et des interactions complexes impossibles à prévoir sur la base des études sur les composés individuels (Connolly, 2009).

Encadré 1 : Deux pesticides dangereux mais fréquemment utilisés

Les pesticides sont destinés à tuer les organismes nuisibles aux végétaux et aux animaux. S'assurer qu'ils éliminent les bons organismes et qu'ils ne sont pas plus nocifs que bénéfiques est un défi permanent, surtout lorsque la science sur laquelle repose les évaluations de la santé et de la sécurité manque de clarté. En dépit des dangers connus que comporte leur utilisation, deux pesticides, l'endosulfan et l'atrazine, peuvent être répandus dans de nombreux pays.

L'endosulfan permet d'éliminer les insectes des récoltes. Son utilisation a augmenté depuis que des substances similaires, telles que l'aldrine et l'heptachlore, ont été ajoutées à la liste de la Convention de Stockholm. L'endosulfan est peu coûteux et très efficace, surtout lorsqu'il s'agit d'éliminer les insectes qui commencent à résister aux autres pesticides. Il est interdit dans plus de 60 pays, dont les pays membres de l'Union européenne. L'endosulfan est responsable de la mort de milliers d'agriculteurs, en particulier dans les pays en développement. Cinq écoliers du Jharkhand, dans l'est de l'Inde, sont décédés fin 2008 après avoir bu du lait contaminé par l'endosulfan. Cette substance est également un perturbateur endocrinien. Dans l'Etat du Kerala, dans le sud-ouest de l'Inde, il s'avère que des garçons ayant habité pendant 20 ans dans les villages exposés à la pulvérisation aérienne des plantations de noix de cajou souffrent d'un retard de la maturité sexuelle, de cryptorchidisme (le fait que les testicules ne descendent pas au cours du développement fœtal) et présentent des niveaux de testostérone peu élevés. L'apparition de tels cas a entraîné l'interdiction de l'endosulfan par le gouvernement.

Alors qu'une étude menée en 2007 aux Etats-Unis a conclu que les femmes vivant à proximité des champs sur lesquels était pulvérisé de l'endosulfan risquaient davantage de donner naissance à des enfants autistes, de récentes recherches ont mis ces conclusions en doute. En 2010, la Convention de Stockholm examinera l'ajout de l'endosulfan à sa liste des polluants organiques persistants (POP) en vue de sa suppression progressive.

L'atrazine est probablement l'herbicide le plus utilisé au monde. Pulvérisée sur les plantes dans plus de 80 pays, surtout en Asie et en Afrique, elle est largement présente dans le ruissellement des terres agricoles, dans les rivières et les zones humides, ainsi que dans les chutes de pluie. L'atrazine peut être transportée sur près de 1 000 kilomètres dans l'atmosphère. Des traces ont même été retrouvées dans l'Arctique.

L'atrazine est le deuxième herbicide le plus connu aux Etats-Unis. Dans ce pays, elle est répandue sur le maïs et d'autres cultures, sur les pâturages, les cours de golf et les pelouses privées. En 2009, 43 services d'approvisionnement en eau de l'Illinois et de 5 autres Etats ont participé à une action en justice contre le principal producteur d'atrazine, Monsanto, pour lui demander de financer l'installation de filtres à charbon afin de se débarrasser de ce produit chimique.

Après avoir été largement détectée dans les systèmes souterrains d'approvisionnement en eau potable, l'atrazine a été interdite dans l'Union Européenne en 2004. En adoptant une démarche préventive, l'UE a conclu qu'il n'y avait pas suffisamment de preuves démontrant la sécurité de ce produit.

En septembre 2009, une révision indépendante de plus de 100 études a conclu à l'existence de données « cohérentes » attestant de la présence de menaces non mortelles répandues pour les animaux, par exemple une altération du fonctionnement des gonades et une réduction de la production de sperme. L'atrazine a été impliquée dans des malformations congénitales chez les humains et de faibles niveaux de sperme chez les hommes. Elle est peut-être cancérigène. Des craintes particulières se multiplient concernant des cancers du poumon et de la vessie, le lymphome non hodgkinien et de multiples myélomes.

Sources : Duhigg, 2009 ; Rohr et McCoy, 2009 ; Silva et Gammon, 2009 ; Stockholm Convention, 2009b ; Roberts et alii, 2007 ; Rusiecki et alii, 2004 ; Saiyed et alii, 2004 ; US EPA, 2009c



Réaction des plantes face à une application contrôlée d'atrazine. Alors que cet herbicide offre une marge de sécurité des cultures plus importante que beaucoup de ses remplaçants potentiels, des craintes quant à une généralisation de son utilisation existent. L'atrazine a été détectée dans les eaux de surface et souterraines.

Photo : James L. Griffin

FLUX DE DECHETS ET CYCLE DE L'AZOTE Trafic international de déchets toxiques

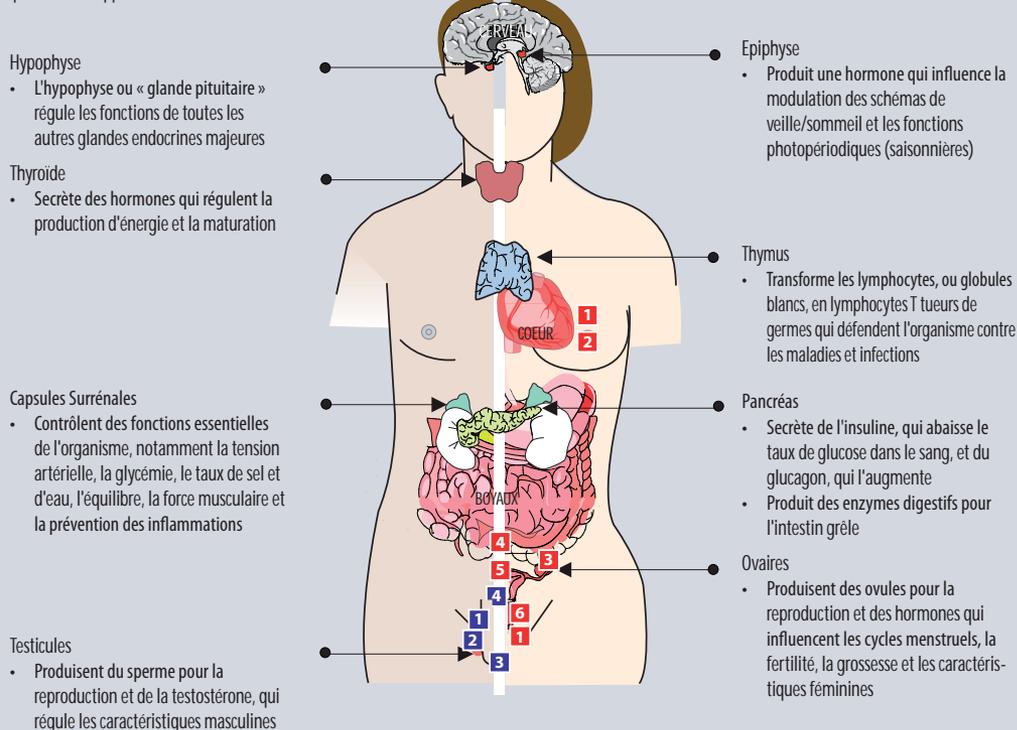
Le trafic des déchets est un commerce mondial, résultant en partie du renforcement des réglementations en matière de gestion des déchets dangereux dans certains pays, principalement en Europe. Bien loin d'éradiquer l'élimination des déchets dangereux ou illégaux, ces nouvelles

réglementations n'ont souvent réussi qu'à déplacer le problème. D'aucuns craignent que la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et de leur élimination ne parvienne pas à éviter une explosion du trafic des déchets illégaux.

L'effet de la Directive de l'Union européenne sur les déchets d'équipements électriques et électroniques

Figure 2 : Le système endocrinien et les effets des perturbateurs endocriniens

Depuis plus d'une décennie, les scientifiques reconnaissent que les substances chimiques présentes dans l'environnement peuvent perturber les fonctions normales de l'organisme. Certains produits chimiques sont connus pour imiter les hormones, tandis que d'autres inhibent leurs effets. Les chercheurs sont particulièrement préoccupés par les conséquences de ces substances sur les fœtus et sur les enfants, dont le développement organique, cérébral et sexuel normal dépend des messages transmis par les hormones. Un nombre croissant de scientifiques estiment que les pics de cas de cancer, d'anomalies de cancers, d'anomalies reproductrices, de stérilité et de troubles du comportement sont dus à l'interférence de ces substances chimiques avec des messages essentiels pour le développement des fœtus et des enfants.



Effets potentiels des perturbateurs endocriniens sur l'homme et la femme

Homme

- 1 Sperme de mauvaise qualité — faibles numérations des spermatozoïdes, faible volume d'éjaculat, nombre élevé de spermatozoïdes anormaux, faible nombre de spermatozoïdes mobiles
- 2 Cancer des testicules
- 3 Malformation du tissu reproducteur — testicules non descendus, petite taille de pénis
- 4 Maladie prostatique et autres anomalies de l'appareil génital masculin

Femme

- 1 Cancers du sein et du tissu reproducteur
- 2 Mastose sclérokystique
- 3 Polykystose ovarienne
- 4 Endométriose
- 5 Fibromes utérins et infections génitales hautes
- 6 Déclin du rapport des sexes (baisse du nombre de femmes)

Autres effets potentiels pour l'homme et la femme

- Troubles comportementaux/mentaux, immunitaires et thyroïdiens chez les enfants en cours de développement
- Ostéoporose
- Puberté précoce

Source : Adaptation de l'Atlas of Anatomy

(DEEE), entrée en vigueur en 2007, est également attendu. Cette Directive vise à encourager les acteurs de la conception et de la production des équipements électriques et électroniques à tenir compte de la valorisation, du recyclage et de la récupération et à les promouvoir. Une étude menée par l'Agence européenne pour l'environnement (AEE) en 2009 a constaté qu'elle n'a pas toujours produit cet effet (AEE, 2009).

Tandis que la Directive DEEE interdit les exportations de déchets électroniques, elle autorise l'exportation de l'équipement fonctionnel en vue de sa valorisation. Dans les pays en développement, il existe un vaste marché organisé et précieux pour l'équipement électronique pouvant être valorisé. Par exemple, une organisation caritative britannique, qui a envoyé 150 000 ordinateurs remis en état sur une période de dix ans, principalement en Afrique, signale qu'elle pourrait en placer dix fois plus (CAI, 2009).

Ceci ne représente cependant qu'une infime partie des 4 millions d'ordinateurs qui seraient jetés chaque année, rien qu'au Royaume-Uni. Pour ce qui est du reste, on en parle beaucoup, mais de manière anecdotique : la majorité intègre le commerce illégal des déchets électroniques. En Europe, l'exportation illégale de déchets électroniques ne coûte que 25 % de plus que la voie légale (Rosenthal, 2009).

L'AEE estime que 20 millions de conteneurs de déchets quittent l'Europe, légalement et illégalement, chaque année, la moitié passant par Rotterdam. La difficulté pour les autorités portuaires et douanières est qu'il n'est pas toujours facile, même lorsque les papiers semblent en ordre, de distinguer le matériel pouvant être valorisé de celui qui est destiné à l'élimination. L'équipement décrit comme étant expédié pour être valorisé peut être démonté et traité au mépris de la sécurité dans certains pays récepteurs (AEE, 2009 ; Greenpeace, 2009).

Scandales des déchets toxiques

Un certain nombre de scandales sur les déchets toxiques se sont produits en 2009. En septembre, des malfaiteurs italiens ont coulé une trentaine de navires contenant des cargaisons radioactives et toxiques au large des côtes de Calabre. Un informateur a conduit les enquêteurs à l'un d'entre eux qui, selon ses dires, avait été abandonné par la Mafia en 1992, avec 120 barils de boue radioactive à son bord provenant de compagnies pharmaceutiques européennes. La nature des cargaisons des navires est toujours indéterminée, mais l'agence pour l'environnement de Calabre a prévenu que la contamination pouvait s'étendre, et que les travaux de dépollution et d'élimination risquaient d'être complexes et coûteux (Day, 2009).

Au cours du même mois, le Brésil a réexpédié un arrivage de 2 000 tonnes de déchets hospitaliers et domestiques britanniques, en invoquant que les déchets étaient étiquetés abusivement comme déchets plastiques recyclables en violation de la Convention de Bâle et de la réglementation brésilienne. Le président Lula da Silva a accusé la Grande-Bretagne de considérer son pays comme la « poubelle du monde », mais il est apparu que ces déchets provenaient de sociétés fondées par des ressortissants brésiliens dans la ville britannique de Swindon (Milmo, 2009).

Un cas précédent en Côte d'Ivoire a ravivé l'attention des médias en 2009. En 2006, le gouvernement de Côte d'Ivoire a subi le contrecoup d'un scandale largement couvert par la presse concernant 500 tonnes de boues toxiques déchargées d'un cargo et distribuées dans les décharges locales, où les fumées toxiques auraient entraîné la mort de 15 personnes et l'hospitalisation de 69 autres. Cette boue est un sous-produit d'une raffinerie de pétrole mexicaine. La société d'échange pétrolier Trafigura, dont le siège se trouve aux Pays-Bas, a acheté des résidus de pétrole sulfuré appelé coke de pétrole, ou « coker naphtha », dans l'espoir de la décontaminer et de réaliser des bénéfices. A bord du cargo, le *Probo Koala*, le pétrole a été mélangé à de la soude caustique afin d'en éliminer le soufre et ce « lavage à la soude caustique » a laissé derrière lui des rejets toxiques soufrés. Le *Probo Koala* n'ayant pas réussi à décharger ces rejets aux Pays-Bas en vue de leur traitement et de leur élimination, s'est rendu en Côte d'Ivoire, où un entrepreneur local avait été payé pour les éliminer. Il ne disposait pas d'installation de traitement des déchets toxiques, il s'en est donc débarrassé dans des décharges locales. Trafigura a toujours nié avoir commis un acte répréhensible, déclarant qu'il a observé la réglementation locale et que ces déchets ne peuvent être la cause des morts et des blessures dont il a été fait état (ONU, 2009).

Le cycle de l'azote en hyperaction

En 2009, une étude majeure a identifié l'interférence humaine dans les cycles biogéochimiques, notamment le cycle de l'azote, comme étant l'un des trois aspects clés pour lesquels les « limites planétaires » ont été franchies, menaçant l'habitabilité de la Terre. Les deux autres sont le changement climatique et le taux de destruction de la biodiversité (Rockström et alii, 2009).

Chaque année, 120 millions de tonnes d'azote atmosphérique deviendraient réactifs à cause des processus humains, principalement la production d'engrais et la culture de légumineuses telles que le soja. Les engrais

fabriqués sont utilisés pour des cultures qui permettent de nourrir environ 3 milliards de personnes. La moitié des applications d'engrais fabriqués ont eu lieu ces 20 dernières années (Erismann et alii, 2008 ; UNESCO, 2007).

De nombreux systèmes agricoles reçoivent beaucoup plus d'azote que nécessaire (Vitousek et alii, 2009). Moins de la moitié de l'azote utilisé pour les champs dans le monde entier parvient aux cultures. Les pertes en azote sont particulièrement importantes en Chine, où les taux d'application figurent parmi les plus élevés au monde. De nombreuses variétés de cultures à haut rendement utilisant l'azote de manière très inefficace, il existe d'innombrables possibilités d'amélioration. Selon les estimations, une meilleure gestion de l'azote en Chine en réduirait les émissions dans l'environnement de 25 % sans pour autant affecter la production agricole (Ermolieva et alii, 2009).

L'azote touche la plupart des zones de haute diversité biologique dans le monde par la voie aérienne et aquatique à des niveaux connus pour avoir une incidence sur de nombreuses espèces (Phoenix et alii, 2006). Des études ont démontré que les cours d'eau saturés en azote perdaient leur capacité à abaisser les teneurs en nitrate des engrais et des eaux usées par la dénitrification, processus naturel de transformation des composés azotés biologiquement disponibles en oxydes d'azote et, finalement, en azote inerte (Mulholland, 2008).

Dans les eaux côtières, où se retrouve l'excédent d'azote provenant du lessivage des terres cultivées et des eaux usées des agglomérations, on assiste à la prolifération d'algues parfois toxiques. Il a été signalé en 2009 que la principale neurotoxine retrouvée dans des efflorescences algales, l'acide domoïque, nocif pour les mollusques et crustacés, ne se dégrade pas, comme on le pensait auparavant, aussi vite que les efflorescences elles-mêmes. En effet, il coule avec les algues mortes et reste des semaines sur les fonds marins. Les chercheurs ont retrouvé cette toxine sur le fond marin et ont constaté qu'elle devenait de plus en plus présente dans la chaîne alimentaire, une fois absorbée par des vers et des espèces largement commercialisées telles que les crabes et les poissons plats (Sekula-Wood, 2009).

L'impact écologique d'un excès d'azote dans les océans grandit. L'eutrophication entraîne des zones mortes dans les eaux côtières, conséquence de la mort et de la décomposition des algues qui épuisent l'oxygène disponible. Il ressort d'une récente évaluation que plus de 400 zones mortes sont présentes dans les régions côtières du globe, dont plus de la moitié se sont formées au cours des cinquante dernières années. Ces zones mortes, qui couvrent

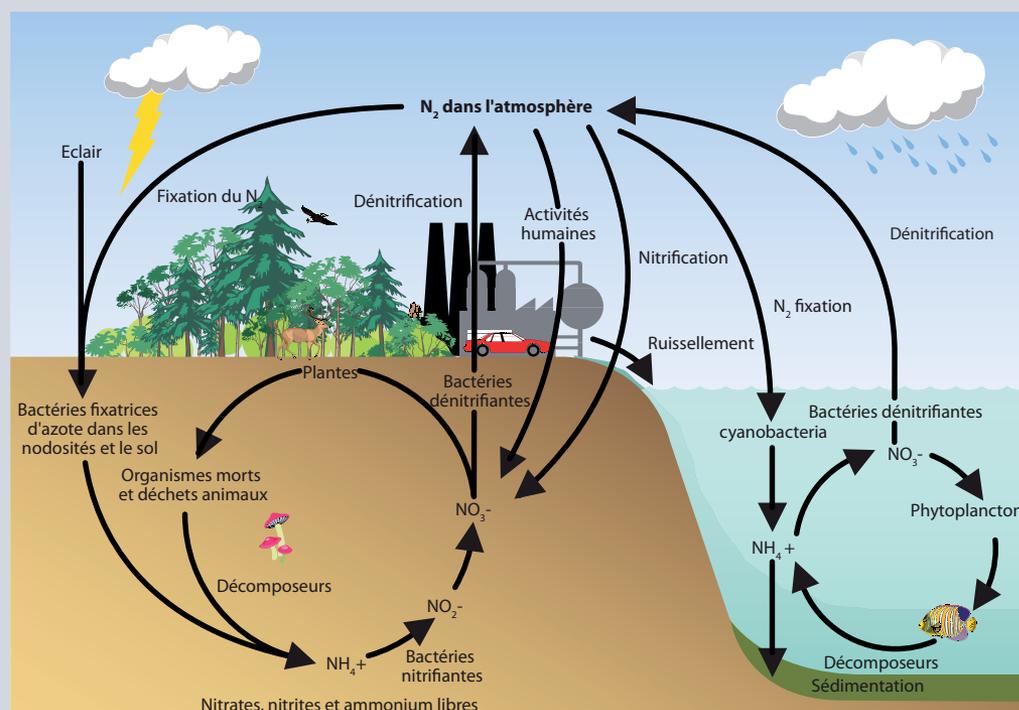
un quart de million de kilomètres carrés, se retrouvent généralement là où les cours d'eau rejettent de grandes quantités d'engrais et d'eaux usées dans des zones océaniques relativement encaissées (Diaz et Rosenberg, 2008). En voici quelques exemples : 20 000 kilomètres carrés de zones mortes dans le Golfe du Mexique. Sont également touchés le détroit entre le Japon et la Corée, des zones de la mer Noire, des plages touristiques de la mer Adriatique septentrionale et la mer Baltique, qui inclut la plus grande zone morte du monde. La limite de sécurité du volume de fixation de l'azote atmosphérique par l'homme a été estimée à 35 millions de tonnes, soit un tiers des niveaux actuels. L'utilisation généralisée de l'azote dans l'agriculture doublera toutefois et passera à 220 millions de tonnes par an d'ici 2050 si la tendance actuelle continue (Pearce, 2009 ; Rockström et alii, 2009).

La limitation de l'utilisation mondiale de l'azote s'avère une tâche difficile. Pour atteindre les objectifs en matière de réductions d'émissions de gaz à effet de serre, l'agriculture devra être remaniée profondément, tout autant que devront bientôt l'être d'autres secteurs. Il est essentiel d'éviter que les écosystèmes ne soient tellement saturés d'azote qu'ils deviennent les équivalents terrestres des zones mortes océaniques (INI, 2009).

Une autre approche des eaux usées urbaines dans l'agriculture

Les eaux usées urbaines sont utilisées pour l'agriculture depuis des siècles. Dans certaines régions du monde, elles sont toujours largement considérées comme étant une source bon marché d'eau pour l'irrigation et de nutriments. Bien qu'il s'agisse d'une utilisation répandue, elle présente des risques potentiels pour la santé et l'environnement. Les eaux usées non traitées peuvent contenir des bactéries pathogènes, des vers, des virus, des métaux lourds et des composés organiques d'origine humaine dangereux. Sur la base d'une étude portant sur l'agriculture urbaine des pays en développement et menée dans 53 villes, l'International Water Management Institute (IWMI, Institut international de gestion des ressources en eau) estime que près de la moitié des jardins, accotements routiers et petits champs servant à la culture d'aliments des zones urbaines et périurbaines du monde sont irrigués et fertilisés par des eaux usées. La plupart des légumes verts et périssables, en particulier, sont cultivés de cette manière (Raschid-Sally et Jayakody, 2008). L'IWMI considère également que près de 20 millions d'hectares des exploitations agricoles du monde sont irrigués avec des eaux usées, même si cette pratique est

Figure 3 : Cycle de l'azote



L'azote atmosphérique est transformé (« fixé ») en diverses formes pouvant être assimilées par les végétaux et autres organismes.

Source : adaptation du Michigan Water Research Center

en théorie interdite dans de nombreux pays. Au Pakistan, pays dans lequel un quart des légumes serait irrigué de la sorte, les chercheurs de l'IWMI ont découvert que les autorités de Faisalabad avaient vendu aux enchères les eaux usées de la ville aux agriculteurs pendant les sécheresses (Scott et alii, 2004). Au Ghana, une plus grande proportion de terre est irriguée avec des eaux usées qu'avec de l'eau claire. Dans la capitale, Accra, 200 000 personnes par jour consommeraient des légumes cultivés par irrigation avec des eaux usées (IWMI, 2006).

Une récente étude suggère que les risques pour la santé pouvaient parfois être exagérés. Une étude portant sur les cultures irriguées avec des eaux usées le long de la rivière Musi, qui traverse la cité indienne d'Hyderabad, a constaté des indicateurs de risques inférieurs à ceux attendus. La rivière Musi reçoit un million de litres d'eaux usées par jour, dont la plus grande partie n'est pas traitée. Six villages en aval qui utilisent cette eau pour irriguer la plupart de leurs terres ont fait l'objet d'une étude. De faibles taux d'ankylostomes et d'autres infections parasitaires ont été

découverts ; l'eau contenait du plomb et du cadmium, mais la majorité des sols testés ne contenaient pas de niveaux élevés de métaux lourds ni d'absorption par les plantes. L'étude a conclu que « contrairement aux idées reçues, les eaux usées pouvaient être considérées comme une ressource précieuse » (Weckenbrock et alii, 2009).

Les risques peuvent évoluer au fil du temps, notamment lorsque les polluants ont tendance à s'accumuler. Les risques potentiels pour la santé dépendent également de la composition du sol et des effluents. En Iran, une étude sur les cultures irriguées avec des eaux usées le long de la rivière Khoshk, dans la ville de Shiraz, a démontré que tandis que les sols contenaient plus de matières organiques, ils présentaient également de plus en plus de cadmium, de plomb et d'autres métaux lourds (Salati et Moore, 2009).

Selon l'IWMI, des efforts doivent être consentis pour aider les cultivateurs à utiliser les eaux usées en mettant l'accent sur la sécurité, tout en essayant également de rendre les eaux usées plus saines. Cette approche est

notamment soutenue par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) dans la Déclaration d'Hyderabad (IWMI, 2002).

A cet égard, des mesures de sécurité à faible coefficient de technologie peuvent être par exemple le stockage des eaux usées dans des bassins pendant quelques jours, le temps que les solides, y compris les œufs de vers intestinaux, s'y déposent. Il convient également d'encourager la population à laver les légumes dans de l'eau non contaminée avant de les vendre sur les marchés.

A long terme, la solution serait un traitement des eaux usées plus centralisé, du même type que celui déjà adopté par des pays qui pratiquent l'irrigation avec des eaux usées traitées, comme Israël, la Jordanie et le Mexique. Même avec une technologie plus avancée, le traitement risque de ne pas éliminer certains virus, des composés organiques complexes, des hormones et des métaux lourds. Il a également été constaté, par une étude portant sur des champs israéliens irrigués avec des eaux usées traitées, que les microbes présentaient une activité microbienne supérieure, entraînant un épuisement accru des matières organiques des sols, ce qui pourrait avoir des effets à long terme négatifs sur la qualité des sols (Juschke et alii, 2009).

LA POLLUTION PAR LES METAUX LOURDS

De nombreux pays connaissant une industrialisation rapide doivent faire face à la gestion des déchets dangereux. La Chine, pays qui connaît la croissance la plus rapide au monde, est confrontée aux risques pour la santé et l'environnement associés à l'industrialisation. Les produits chimiques jouent un rôle économique important et contribuent à améliorer le niveau de vie des Chinois. Il est néanmoins admis que cette nécessité doit être compensée par l'identification des risques potentiels pour la santé. En 2009, une grande partie de la population s'est inquiétée de la pollution par les métaux lourds des zones d'extraction minière et d'installations industrielles. Les exemples suivants survenus en Chine ne sont absolument pas exceptionnels pour les pays en voie d'industrialisation, mais illustrent les problèmes posés par la pollution par les métaux lourds.

En septembre, sur 287 enfants testés dans les communautés de Jiaoyang, Tangxia et Chongtuo dans la province de Fujian, 121 étaient atteints de saturnisme. Le niveau de plomb dans le sang de ces enfants dépassait le niveau dangereux de 100 microgrammes par litre, apparemment à cause de leur exposition à la pollution d'une usine de batteries au plomb (Zhu et Wang, 2009). Le cas Fujian a été l'un des multiples scandales d'empoisonnement au plomb de l'année 2009. En

août, les autorités de la province de Hunan, suite aux protestations de parents, ont fermé une usine de métaux près de Wugang et ont arrêté deux responsables. Plus de 1 300 enfants sont tombés malades suite à une contamination au plomb et quelques-uns d'entre eux perdaient leurs cheveux. L'usine a été exploitée pendant 15 mois, vraisemblablement sans l'approbation du bureau de la protection de l'environnement local (BBC, 2009a).

Quelques jours auparavant, dans la province de Shaanxi, des parents ont forcé la porte de la fonderie de plomb et de zinc Dongling dans la ville de Changqing. 731 enfants de la région ont été examinés : le saturnisme a été diagnostiqué chez 615 d'entre eux et 166 ont été hospitalisés. Tous ces enfants vivaient à proximité de cette usine. Bien que cette usine semblait respecter les normes de sécurité environnementales nationales, elle avait rejeté 1,11 tonne de plomb dans l'atmosphère et dans des cours d'eau de la région au cours de l'année précédente. Cette usine a elle aussi été fermée. Pour aider à éliminer le plomb de l'organisme des enfants, les autorités ont distribué du porphyre, de l'ail, du thé



Plante dans un lac contaminé situé près de la mine Dabaoshan à Shangba, dans la province du Guangdong, en Chine. Les eaux du lac sont polluées par le cadmium, le plomb, le zinc et d'autres métaux lourds.

Photo : Dreamcatcher

Wulong et des algues (Bristow, 2009 ; Li, 2009).

Dans le village de Zhentou, dans l'agglomération de Liuyang et la province de Hunan, les médecins ont diagnostiqué 500 cas d'empoisonnement au cadmium. Cet incident a été dévoilé après le décès de deux résidents. L'usine Changsha Xianghe toute proche, qui a ouvert en 2003, fabrique du sulfate de zinc, un additif pour alimentation animale. On retrouve souvent du cadmium dans les minerais de zinc. Selon la presse, l'usine Changsha a déversé des déchets industriels contenant du cadmium dans les cours d'eau utilisés par les villageois pour irriguer leurs cultures (BBC, 2009b ; Xinhua, 2009).

Il est de plus en plus admis dans les régions minières de Chine que le plomb, le cadmium, le zinc et d'autres

métaux lourds représentent une menace pour la santé humaine. La mine publique Dabaoshan, exploitée depuis 1958, a été l'objet de critiques en 2009. La mine a rejeté d'énormes quantités d'eaux acides contenant des métaux, tels que le cadmium, qui ont détruit la plus grande partie de la vie aquatique de la rivière Hengshihe. Les villageois consomment cette eau contaminée par du cadmium et du zinc, et l'utilisent pour l'irrigation de leurs cultures rizicoles. Une étude publiée en 2009 a révélé que les métaux présents dans les rizières étaient supérieurs aux niveaux admissibles en Chine et que les limites sanitaires étaient également dépassées dans l'alimentation locale (Zhuang et alii, 2009). Une autre étude a permis de trouver des niveaux élevés de plomb, de cadmium et de zinc dans l'organisme

Encadré 2 : Gestion des problèmes sanitaires et environnementaux par la modification des comportements des populations

Certains problèmes sanitaires et environnementaux semblent demeurer, même s'ils ont été identifiés ou que des solutions semblent accessibles. Selon la majorité des estimations, la pollution à l'intérieur des bâtiments, créée par la fumée émise des foyers à feu ouvert utilisés pour la cuisine et le chauffage, est l'une des pires causes de décès environnementaux dans les régions développées. Quel que soit l'endroit où on brûle du bois, du fumier de bovins et d'autres types de biomasses dans des espaces confinés, l'impact sur les poumons est catastrophique. Pourtant, les chercheurs ont découvert que les personnes les plus affectées peuvent être extrêmement réfractaires à toute modification de comportement qui, aux yeux des personnes extérieures, semble très raisonnable.

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), jusqu'à 3 milliards de personnes cuisinent à l'aide d'un feu qui remplit leur maison de fumée, de monoxyde de carbone et d'autres poisons. En général, les femmes et les jeunes enfants passent trois à cinq heures par jour près d'un feu. Trois quarts des femmes en Asie du Sud vivent de cette manière. Même dans les pays où l'industrialisation est rapide, le problème est sérieux. Au Mexique, par exemple, un ménage sur quatre cuisine avec des carburants issus de la biomasse. Des fourneaux améliorés ont été conçus. Ils sont équipés d'un système de ventilation amélioré et d'un système de combustion plus efficace, ce qui diminue la pollution. Des douzaines de modèles, souvent mis au point par des ONG indigènes, existent. Les études montrent que la plupart des fourneaux de ce type réduisent les symptômes tels que les problèmes respiratoires, les troubles oculaires et les maux de tête, et améliorent le fonctionnement du système respiratoire chez les femmes qui les utilisent. A long terme, ils devraient également réduire le risque de maladies pulmonaires graves.

Le taux d'utilisation de ces fourneaux reste souvent bas. Dans une étude menée au Mexique et publiée en 2009, des femmes recevaient de nouveaux fourneaux ventilés Patsari, qui réduisent de manière significative la pollution à l'intérieur des bâtiments de 70 %. Un an plus tard, seul 30 % d'entre elles utilisaient régulièrement leur fourneau pour cuisiner. Un cinquième l'utilisait occasionnellement et la plupart des autres femmes étaient revenues à la cuisine au feu de bois. La même étude a montré que la santé des femmes qui utilisaient ces nouveaux fourneaux était meilleure. Leur système pulmonaire était moitié moins endommagé que celui des femmes du groupe de contrôle qui cuisinaient au feu de bois.



Un artisan qualifié peut construire un fourneau Patsari en 40 minutes. Depuis que ces fourneaux ont été introduits, la santé des femmes qui les utilisent pour la cuisine s'est fortement améliorée. L'utilisation de ces fourneaux a également diminué la pollution atmosphérique et la consommation de bois.

Photo : The Ashden Awards for Sustainable Energy (<http://www.ashdenawards.org>)

Les chercheurs tentent de comprendre cette répugnance. En 2009, une équipe de l'université de Stanford, en Californie, a découvert que des femmes de villages au Bangladesh étaient bien conscientes des avantages sanitaires que représentaient ces nouveaux fourneaux, mais qu'elles avaient une attitude extrêmement conservatrice en ce qui concerne l'adoption de toute nouvelle technologie. Elles ne veulent pas être les « pionnières » et elles se sentent limitées par ce que font leur famille, leurs voisins, leurs amis et leur communauté. Elles ont également avoué qu'elles avaient peur qu'un nouveau fourneau ne change l'opinion de leur mari sur leur cuisine.

Sources : McCann (2009), Romieu et alii (2009)

d'enfants en aval de la mine. Certains des symptômes sont une anxiété sensiblement augmentée, une dépression, des problèmes sociaux, des plaintes somatiques et des problèmes de concentration (Bao et alii, 2009).

La Chine, préoccupée par l'ampleur et le nombre possible de cas de ce genre, a entrepris la tâche ambitieuse qui consiste à enquêter sur les principales sources de pollution. Des dizaines de milliers d'entreprises ont été invitées à rendre compte de leurs émissions. Le gouvernement a déclaré qu'il allait évaluer les émissions et prendre toutes les actions juridiques nécessaires si les entreprises transmettaient des données falsifiées (Bristow, 2008). Le responsable de la Commission nationale de la planification familiale et de la population a souligné en 2009 que les anomalies congénitales avaient augmenté de 40 % en Chine depuis 2001. Les émissions des industries minières et chimiques ont été partiellement mises en cause. Un nouveau programme de dépistage a été annoncé pour les régions les plus touchées (BBC, 2009c).

Ces inquiétudes, qui émergent en Chine et dans d'autres pays en voie d'industrialisation, ressemblent à celles qui sont apparues en Europe et en Amérique du Nord il y a plusieurs années, et certains de ces problèmes sont plus durables que d'autres. En ce qui concerne l'empoisonnement aux métaux lourds tels que le plomb et le cadmium, par exemple, la Chine n'est pas la seule à faire face aux problèmes liés à leur exposition. L'Agence internationale de l'énergie atomique estime qu'environ 120 millions de personnes dans le monde sont exposées à des concentrations de plomb potentiellement dangereuses dans l'atmosphère, les sols et l'eau. Des niveaux dangereux de plomb dans le sang ont été détectés dans l'organisme d'enfants de quelques 80 pays. La majorité de ce plomb est associée à la fonte illégale ou mal réglementée des batteries au plomb (AIEA, 2009) (**Encadré 2**).

PERSPECTIVES

L'industrialisation rapide de nombreux pays en développement ces dernières années a largement influencé la destination des substances nocives ainsi que ce qui arrive aux déchets dangereux. Les matières toxiques et les flux de déchets qui se trouvaient auparavant dans seulement quelques pays industrialisés sont désormais dispersés dans le monde entier.

Les détracteurs comparent la rapide introduction des nanomatériaux, y compris dans les produits et emballages alimentaires, à celle des organismes génétiquement modifiés (OGM) dans les années 1990. Comme pour les OGM, l'évaluation des risques et des dangers ainsi que la réglementation du gouvernement sont perçues par

Encadré 3 : Télédétection des décharges

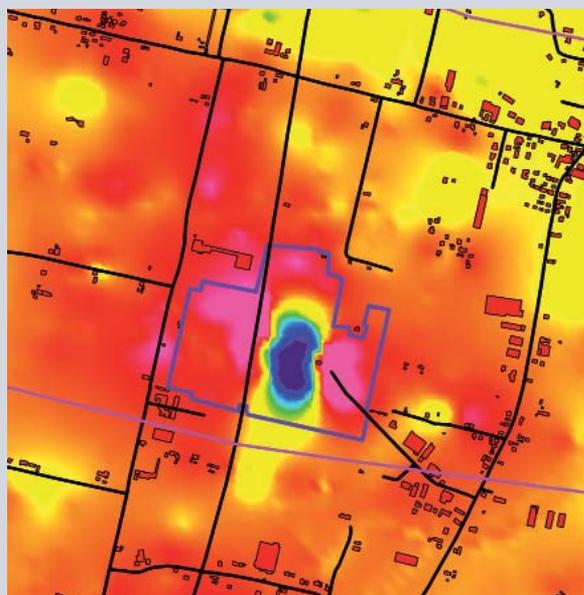


Photo : Sonia Silvestri

Les déchets toxiques contenus dans les décharges peuvent contaminer l'eau et le sol. Le nombre de bombes à retardement de ce type dispersées dans le monde est inconnu. Une nouvelle technologie permet de découvrir les décharges cachées sans qu'elles doivent être déterrées. Des études publiées en 2009 prouvent que les déchets enterrés de manière illégale peuvent être détectés de la surface, voire des airs, à l'aide d'un radar géologique induisant des champs électriques et magnétiques dans le sol grâce à une bobine transportée par hélicoptère.

Dans le nord-est de l'Italie, près de Padoue, cette méthode a été utilisée pour trouver la source des liquides toxiques qui s'étaient échappés d'une décharge et avaient contaminé les réserves d'eau potable. Un chercheur d'Irlande du Nord a déclaré avoir trouvé quatre sites d'enfouissements de déchets dangereux dans les tourbières.

Sources : Biotto et alii (2009), Ruffel et Kulessa (2009), Silvestri (2009)

beaucoup comme ayant été jusqu'à présent inadaptées (EFSA, 2009 ; Nanoproject, 2009c ; Sutcliffe, 2009 ; Taylor, 2008). Il aurait pu être perspicace d'analyser les « différences et les similitudes entre les biotechnologies et nanotechnologies et d'autres technologies émergentes, surtout à la lumière de la pollinisation croisée et de la convergence possible entre ces domaines » (Palmberg et alii, 2009). A l'avenir, l'échange d'informations et les débats entre les personnes concernées d'une façon ou d'une autre par la nanotechnologie, à l'échelle internationale, se révéleront cruciaux pour aborder la problématique des risques connus et potentiels.

Les gouvernements et la société civile continueront de réclamer un accès aux informations plus large et détaillé (**Encadré 3**). En septembre 2009, par exemple, l'Agence de protection de l'environnement des Etats-Unis a intégré le principe de « chimie verte » à ses nouveaux principes essentiels pour la réforme de la politique relative aux substances chimiques. Ce principe reconnaît que les dispositions assurant la transparence et l'accès du public aux informations doivent être renforcées.

En 2010, la Convention de Stockholm examinera l'ajout de l'endosulfan à sa liste des polluants organiques persistants (POP) en vue de sa suppression progressive (Stockholm, 2009b). De même, au niveau mondial, la première réunion extraordinaire des Conférences des

Parties aux Conventions de Bâle, Rotterdam et Stockholm sera organisée suite à la onzième session spéciale du Conseil d'administration/Forum ministériel mondial de l'environnement du PNUE en 2010. L'amélioration de la coopération et de la coordination parmi les trois conventions relatives aux produits chimiques et déchets est renforcée par un soutien politique de haut niveau (voir le chapitre consacré à la gouvernance environnementale).

Le réseau de scientifiques International Nitrogen Initiative (INI, Initiative internationale sur l'azote) prévoit d'organiser une réunion majeure à Delhi à la fin de l'année 2010 pour essayer de relever le défi consistant à réduire les flux d'azote dans l'environnement naturel (INI, 2009). Les réglementations en matière de déchets devraient être examinées de plus près afin de s'attaquer au trafic des déchets en 2010. La plus grande partie de ces déchets, si elle est correctement gérée, peut être recyclée en des ressources brutes très utiles. Elles comprennent les eaux usées des agglomérations urbaines, une source vitale d'eau d'irrigation et d'engrais dans certains pays. L'eau se raréfiant dans de nombreuses régions du monde, il devient nécessaire d'examiner cette pratique séculaire et de déterminer comment la rendre plus sûre.

RÉFÉRENCES

- Alaee, M., Arias, P., Sjödin, A. et Bergman, A. (2003). An overview of commercially used brominated flame retardants, their applications, their use patterns in different countries/regions and possible modes of release. *Environment International*, 29(6), 663-689
- Bao, Q.S.Q.S., Lu, C.-Y., Song, H., Wang, M., Ling, W., Chen, W.-Q., Deng, X.-Q., Hao Y.-T. et Rao, S. (2009). Behavioural development of school-aged children who live around a multi-metal sulphide mine in Guangdong province, China: a cross-sectional study. *BMC Public Health*, 9, 217
- BBC (2009a). Hundreds ill near China smelter. BBC News Online, 20 August 2009
- BBC (2009b). Chinese factory poisons hundreds. BBC News Online, 3 August 2009
- BBC (2009c). China birth defects up sharply. BBC News Online, 1 February 2009
- Biotto, G., Silvestri, S., Gobbo, L., Furlan, E., Valenti, S. et Rosselli, R. (2009). GIS, multi-criteria and multi-factor spatial analysis for the probability assessment of the existence of illegal landfills. *International Journal of Geographical Information Science*, 23, 1233-1244
- Bristow, M. (2008). China to log its worst polluters. BBC News Online, 29 February 2008
- Bristow, M. (2009). China villagers storm lead plant. BBC News Online, 17 August 2009
- CAI (2009). Computer Aid International web site
- ChemSec (2009). Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants press release: Mixed results from Geneva Conference. International Chemical Secretariat. Göteborg, Sweden, 11 May 2009
- Chen, D., Mai, B., Song, J., Sun, Q., Luo, Y., Luo, X., Zeng, E.Y. et Hale, R.C. (2007). Polybrominated Diphenyl Ethers in Birds of Prey from Northern China. *Environmental Science and Technology*, 41(6), 1828-1833
- Connolly, L. (2009). Endocrine disrupting toxins. Queen's University Belfast web site
- Day, M. (2009). Skulls found on Mafia ship laden with toxic waste. *The Independent*, 26 September 2009
- Diaz, R.J. et Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones et consequences for marine ecosystems. *Science*, 321(5891), 925-9
- Dowling, A., Clift, R., Grobert, N., Hutton, D.D., Oliver, R., O'Neill, B.O., Pethica, J., Pidgeon, N., Pomitt, J., Ryan, J., Saston, A., Tendler, S., Welland, M. et Whitmore, R. (2004). *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*. Royal Society and Royal Academy of Engineering, London
- Duhigg, C. (2009). Debating how much weed killer is safe in your water glass. *The New York Times*, 23 August 2009
- EEA (2009). *Waste without borders in the EU? Transboundary shipment of waste*. European Environment Agency, Report No 1/2009
- EFSA (2009) The Potential Risks Arising from Nanoscience and Nanotechnologies on Food and Food Safety. European Food Safety Authority web site
- Erisman, J.W., Sutton, M.A., Galloway, J., Klimont, Z. et Winniwater, W. (2008). How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience*, 1, 636-639
- Ermoleva, T., Winniwater, W., Fischer, G., Cao, G.-Y., Klimont, Z., Schöpp, W., Li, Y. et Asman, W.A.H. (2009). Integrated nitrogen management in China. International Institute for Applied Systems Analysis, Interim report 09-005, August 2009
- Estrada, R. (2009). California sticks toe in green chemistry pond. *Science and Environment*, 27 July 2009
- FoE (2009). Fact Sheet: Brief Background Information on Nanoparticles in Sunscreens and Cosmetics. Friends of the Earth web site, March 2009
- G8 (2009). Ministerial Statement: Children's Health and the Environment. Syracuse Environment Ministerial Meeting, 24 April 2009
- Greenpeace (2009). Where does e-waste end up? Greenpeace web site
- Gue, L. et MacDonald, E. (2007). *Issue Background: Proposed PBDE regulations, DecaBDE, and Notice of Objection*. Sierra Legal and David Suzuki Foundation, May 2007
- Hardell, L., van Bavel, B., Lindström, G., Eriksson, M. et Carberg, M. (2006). In utero exposure to organic pollutants in relation to testicular cancer risk. *International Journal of Andrology*, 29, 228-234
- Hites, R.A. (2004). Polybrominated diphenyl ethers in the environment and in people: a meta-analysis of concentrations. *Environmental Science & Technology*, 38, 945-956
- IAEA (2009). IAEA Helps Developing Countries Tackle Lead and other Heavy Metal Pollution, International Atomic Energy Agency press release
- INI (2009). N2010: Reactive Nitrogen: Management for Sustainable Development Science, Technology and Policy. International Nitrogen Initiative Conference web site
- ISO (2008a) ISO/TR 12885:2008 Nanotechnologies-Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies. International Organization for Standardization, Geneva
- ISO (2008b) ISO/TS 27687:2008 Nanotechnologies-Terminology and definitions for nano-objects-Nanoparticle, nanofibre and nanoplate. International Organization for Standardization, Geneva
- IWMI (2002). Reuse of Wastewater for Agriculture: The Hyderabad Declaration on Wastewater Use in Agriculture. Hyderabad, India, 14 November 2002. International Water Management Institute web site
- IWMI (2006). *Recycling Realities: managing health risks to make wastewater an asset*. International Water Management Institute. Water Policy Briefing 17
- Juschke, E., Marschner, B., Chen, Y. et Tarchitzky, J. (2009). Effects of treated wastewater irrigation on contents and dynamics of soil organic carbon and microbial activity. *Geophysical Research Abstracts*, 11, EGU2009-4780
- Kam, B., Kulken, T. et Otto, M. (2009). Nanotechnology and In Situ Remediation: A Review of the Benefits and Potential Risks. *Environmental Health Perspectives* online, 23 June
- Kelly, B. (2009) Small concerns: nanotech regulations and risk management. SPIE newsletter, 2 December 2009
- Kimbrough, K.L., Lauenstein, G.G., Christensen, J.D. et Apet, D.A. (2008). *An Assessment of Two Decades of Contaminant Monitoring in the Nation's Coastal Zone. National Status and Trends: Mussel Watch Program*. US National Oceanic and Atmospheric Administration, Technical Memorandum NOS NCCOS 74
- Kotz, A., Malisch, R., Kyjke, K. et Oehme, M. (2005). PBDE, PBDD/F and mixed chlorinated-brominated PtxDD/F in pooled human milk samples from different countries. *Organohalogen Compd.*, 67, 1540-1544
- Law, R.J., Herzke, D., Harard, S., Morris, S., Bersuder, P., Alchin, C. R. (2008). Levels and trends of HBCD and BDEs in the European and Asian environments. *Chemosphere*, 73, 223-241
- Laung, A.O.W., Luksemburg, W.J., Wong, A.S. et Wong, M.H. (2007). Spatial distribution of polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in soil and combustion residue at Guiyu. *Environmental Science and Technology*, 41, 2730-2737
- Li, S. (2009). Lead poisoning highlights development dilemma in China. China.org, 20 August
- Luo, Y., Luo, X.J., Lin, Z., Chen, S.J., Liu, J., Mai, B.X., Yang, Z.Y. (2009). Polybrominated diphenyl ethers in road and farmland soils from an e-waste recycling region in Southern China. *Science of the Total Environment*, 407(3), 1105-1113
- Lux (2009). Overhyped Technology Starts to Reach Potential: Nanotech to Impact \$3.1 Trillion in Manufactured Goods in 2015. Lux Research, New York
- Maynard, A. (2009). A Beacon or Just a Landmark, The Responsible Nano Forum, London
- McCann, A. (2009). *Combating indoor air pollution in Bangladesh*. Stanford University, 25 September
- Milmo, C. (2009). How a cargo of rubbish became a crime scene that shames Britain. *The Independent*, 23 September 2009
- Mulholland, P.J., Halko, A.M., Poole, G.C., Hall, R.O., Hamilton, S.K., Peterson, B.J., Tank, J.L., Ashkenas, L.R., Cooper, L.W., Dahm, C.N., Dodds, W.K., Findlay, S.E.G., Gregory, S.V., Grimm, N.B., Johnson, S.L., McDowell, W.H., Meyer, J.L., Valett, H.M., Webster, J.R., Arango, C.P., Beaulieu, J.J., Bernot, M.J., Burgin, A.J., Crenshaw, C.L., Johnson, L.T., Niederlehner, B.R., O'Brien, J.M., Potter, J.D., Shalley, R.W., Sobota, D.J. et Thomas, M.S. (2008). Stream denitrification across biomes and its response to anthropogenic nitrate loading. *Nature*, 452, 202-205
- Nanotechproject (2009a). The Project on Emerging Nanotechnologies: Consumer Products: An inventory of nanotechnology-based consumer products currently on the market
- Nanotechproject (2009b). The Project on Emerging Nanotechnologies: Nanoremediation Map
- Nanotechproject (2009c). The Project on Emerging Nanotechnologies: Agriculture and food
- NRC (2009). *Review of Federal Strategy for Nanotechnology-Related Environmental, Health and Safety Research*. National Research Council, Washington, D.C.
- OECD (2008) *Current Developments/Activities on the Safety of Manufactured Nanomaterials/ Nanotechnologies*. Organisation for Economic Cooperation and Development web site
- OECD (2009a). *Conference on Potential Benefits of Nanotechnology: Fostering Safe Innovation-Led Growth*. Background Paper. Organisation for Economic Cooperation and Development web site
- OECD (2009b). Organisation for Economic Cooperation and Development, Safety of Manufactured Materials web site
- Palmberg, C., Dennis, H. et Miguet, C. (2009). *Nanotechnology: An overview based on indicators and statistics*. STI Working Paper 2009/7 Statistical Analysis of Science, Technology and Industry, Directorate for Science, Technology and Industry, Organisation for Economic Co-operation and Development
- Pearce, F. (2009) The Nitrogen Fix: Breaking a Costly Addiction. Yale Environment 360 web site, 5 November 2009
- Phoenix, G.K., Hicks, W.K., Corderby, S., Kuylenstierna, J.C.I., Stock, W.D., Dentener, F.J., Giller, K.E., Austin, A.T., Lefroy, R.D.B., Gimeno, B.S., Ashmore, M.R. et Ineson, P. (2006). Atmospheric nitrogen deposition in world biodiversity hotspots. *Global Change Biology*, 12, 1-7
- PRIME-TASS (2009). Medvedev says Russia should become leader in nanotechnologies. PRIME-TASS, 6 October 2009
- Raschid-Sally, L. et Jayekody, P. (2008). *Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries: results from a global assessment*. International Water Management Institute Research Report 127
- Roberts, E.M., English, P.B., Grether, J.K., Windham, G.C., Somberg, L. et Wolff, C. (2007). Maternal residence near agricultural pesticide applications and autism spectrum disorders among children in the California Central Valley. *Environmental Health Perspectives*, 115, 1482-9
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin III, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. et Foley, J.A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472-5
- Rohr, J.R. et McCoy, K.A. (2009). A qualitative meta-analysis reveals consistent effects of atrazine on freshwater fish and amphibians. National Institute of Environmental Health Sciences. *Environmental Health Perspectives*, 23 Sept. 2009
- Romieu, I., Rojas-Rodriguez, H., Marrón-Mares, A.T., Schillmann, A., Perez-Padilla, R. et Masera, O. (2009). Improved biomass stove intervention in rural Mexico. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 180, 649-656
- Rosenthal, E. (2009). Smuggling Europe's waste to poorer countries. *The New York Times*, 26 Sept. 2009
- Royal Society (2005) *Report of workshop on potential health, environmental, and societal impacts of nanotechnologies*. London, 25 November 2005
- Ruffell, A. et Kulesa, B. (2009). Application of geophysical techniques in identifying illegally buried toxic waste. *Environmental Forensics*, 10, 196-207
- Rusiecki, J.A., De Roos, A., Lee, W.J., Dosemeci, M., Lubin, J.H., Hopp, J.A., Blair, A. et Alavanja, M.C.R. (2004). Cancer incidence among pesticide applicators exposed to atrazine in the agricultural health study. *Journal of the National Cancer Institute*, 96,1375
- Saito, T. (2009). *Children's Health and the Environment*. Syracuse Environment Ministerial Meeting, April 2009
- Silvestri, S., Viezzoli, A., Edsen, A., Auken, E. et Giada, M. (2009). *The use of remote and proximal sensing for the identification of contaminated landfill sites*. Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium
- Saiyed, H., Dewan, A., Bhatnagar, V., Shenoy, U., Shenoy, R., Rajmohan, H., Patel, K., Kashyap, R., Kulkarni, P., Pajan, B. et Lakkad, B. (2004). Effect of endosulfan on male reproductive development. *Environmental Health Perspectives*, 111, 1958-1962
- Salati, S. et Moore, F. (2009). Assessment of heavy metal concentration in the Khoshk River water and sediment, Shiraz, Southwest Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 7 May 2009
- SCENIHR (2009). *Risk Assessment of Products of Nanotechnologies*. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. 19 January 2009
- Schenker, U., Soltermann, F., Scheringer, M. et Hungerbühler, K. (2008). Modeling the environmental fate of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs): The importance of photolysis for the formation of lighter PBDEs. *Environmental Science and Technology*, 42, 9244-9249
- Scott, C., Faruqi, N.I. et Raschid, L. (eds.) (2004). *Wastewater use in irrigated agriculture: confronting the livelihood and environmental realities*. International Development Research Centre
- Sekula-Wood, E. (2009). Rapid downward transport of the neurotoxin domoic acid in coastal waters. *Nature Geoscience*, 2, 272-275
- Siva, M.H. et Gammon, D. (2009). An assessment of the developmental, reproductive and neurotoxicity of endosulfan. *Birth Defects Res. B. Dev. Reprod. Toxicol.*, 86, 1-28
- Steiner, A. (2009). Speech by Achim Steiner, UN Environment Programme (UNEP) Executive Director at the Helsinki Chemicals Forum, 28 May 2009
- Stockholm Convention (2009a). Stockholm Convention press release: Governments unite to step-up reduction on global DDT reliance and add nine new chemicals under international treaty, 9 May 2009
- Stockholm Convention (2009b). Stockholm Convention press release: Endosulfan and other chemicals being assessed for listing under the Stockholm Convention, 16 October 2009
- Sutcliffe, H. (2009). A Beacon or Just a Landmark, Responsible Nano Forum, London
- Takimoto, H. et Tamura, T. (2006). Increasing trend of spina bifida and decreasing birth weight in relation to declining body mass index of young women in Japan. *Medical Hypotheses*, 67, 1023-1026
- Taylor, Michael J. (2008). *Assuring the Safety of Nanomaterials in Food Packaging: The Regulation Process and Key Issues*. Woodrow Wilson International Center for Scholars, Association of Food, Beverage and Consumer Products Companies, and Project on Emerging Nanotechnologies
- UN (2009). Toxic wastes caused deaths, illnesses in Côte d'Ivoire – UN expert. United Nations press release, 16 September 2009
- UNESCO (2007). *Human alteration of the nitrogen cycle*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization UNESCO/SCOPE Policy Brief No. 4, April 2007
- US EPA (2009a). *Nanomaterials Research Strategy*. US Environmental Protection Agency. EPA 620/K-09/011
- US EPA (2009b). Research Development: Very Small Offers Big Cleanup Potential (news story). US Environmental Protection Agency
- US EPA (2009c). Atrazine Updates. US Environmental Protection Agency
- US EPA (2009d). Essential Principles for Reform of Chemicals Management Legislation. US Environmental Protection Agency
- Verreault, J., Gabrielsen, G.W., Chu, S., Muir, D.C.G., Andersen, M., Hamaed, A. et Letcher, R.J. (2005). Flame Retardants and Methoxylated and Hydroxylated Polybrominated Diphenylethers in Two Norwegian Arctic Top Predators. *Environ. Sci. and Technol.*, 39, 6021-6028
- Vitousek, P.M., Naylor, R., Crews, T., David, M.B., Drinkwater, L.E., Holland, E., Johns, P.J., Katzenberger, J., Martinelli, L.A., Matson, P.A., Nizguiba, G., Ojima, D., Palm, C.A., Robertson, G.P., Sanchez, P.A., Townsend, A.R. et Zhang, F.S. (2009). Nutrient imbalances in agricultural development. *Science*, 324(5934), 1519-1520
- Weckenbrock, P., Prof. Dr. Drescher, A., Dr. Amerasinghe, P., Dr. Simmons, R.W. et Jacobi, J. (2009). Lower than expected risks of wastewater irrigated agriculture along the Musi River, India. Second German-Indian Conference on Research for Sustainability, April. United Nations University, Bonn
- Wen, S., Yang, F.-X., Gong, Y., Zhang, X.-L., Hui, Y., Li, J.-G., Lui, A.-L., Wu, Y.-N., Lu, W.-Q. et Xu, Y. (2008). Elevated Levels of Urinary 8-Hydroxy-2'-deoxyguanosine in Male Electrical and Electronic Equipment Dismantling Workers. *Environ. Sci. and Technol.*, 42, 4202-4207
- Woodrow Wilson International Center for Scholars (2008). Project on Emerging Nanotechnologies Consumer Product Inventory
- Xinhua (2009). 509 sickened in chemical plant pollution in central China city. Xinhua Online, 3 August 2009
- Zhu, X. et Wang, Q. (2009). Tests confirm widespread lead poisoning. *China Daily*, 28 September 2009
- Zhuang, P., Zou, B., Li, N.Y. et Li, Z.A. (2009). Heavy metal contamination in soils and food crops around Daboshan mine in Guangdong, China: implications for human health. *Environmental Geochemistry and Health* 31(6), 707-715

Changement climatique

Nous comprenons mieux les effets de l'accroissement de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère sur les systèmes terrestres grâce à l'attention portée à leurs impacts régionaux ainsi qu'aux résultats de la surveillance internationale. Les principaux dangers sont la fonte des glaces et la montée du niveau des océans, l'importance de l'acidification des océans au niveau des écosystèmes marins ainsi que les risques pour l'agriculture mondiale et l'approvisionnement en eau dus au développement de la ceinture tropicale.



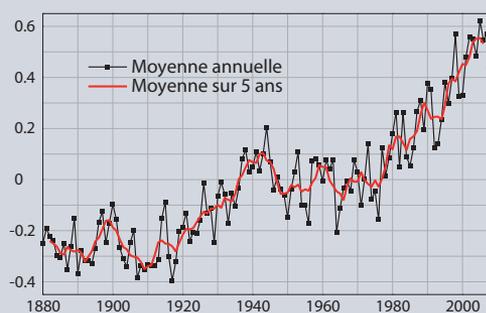
De nombreux glaciers qui bordent la calotte glaciaire du Groenland et de l'Antarctique se sont mis à dériver plus rapidement. Par conséquent, ils contribuent plus fortement à la montée du niveau des océans.

Photo : Lisa Ross

INTRODUCTION

La température mondiale moyenne de l'air à la surface continue d'augmenter (**Figure 1**). La période de 2000 à 2009 fut la décennie la plus chaude depuis la création, au milieu du 19^e siècle, des archives de la température mondiale. Selon les analyses du Goddard Institute for Space Studies, l'année 2005 reste la plus chaude enregistrée. 2009 occupe la deuxième place du classement des années les plus chaudes (ex aequo avec 1998, 2002, 2003, 2006 et 2007) et marque la fin de la décennie la plus chaude (GISS, 2009a). En 2009, les effets de refroidissement du phénomène La Niña ont diminué alors qu'un système El Niño se développait à l'est du Pacifique (NCDC 2009) (**Encadré 1**).

Figure 1 : Changement de la température à la surface



La température moyenne de l'air à la surface a augmenté entre 1951 et 1980. Cette figure se base sur la période de 1951 à 1980.

Source : GISS (2009b)

FRONTE DES GLACES

La hausse des températures de l'océan entraîne l'expansion thermique du volume d'eau. Des estimations récentes montrent que l'expansion thermique dans les 700 premiers mètres sous la surface des océans a entraîné une augmentation moyenne mondiale du niveau des océans de 0,52 mm par an entre 1961 et 2003, ou de 2,1 cm ces 42 dernières années (Domingues et alii, 2008).

Mais l'augmentation du niveau des océans est également due à la hausse de la quantité d'eau provenant des glaciers sur les continents. La fonte des glaciers et des calottes glaciaires, ainsi que celle des vastes nappes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique, font monter le niveau des mers si la masse d'eau qu'ils représentent se mélange à l'océan sous la forme d'icebergs ou d'eau de fonte (Pritchard et alii, 2009 ; Steig et alii, 2009 ; Velicogna, 2009). Le déversement de glaces des terres dans l'océan peut être dû à la fonte des glaciers et des nappes glaciaires en raison du forçage direct de la température. La glace peut également venir alimenter les océans à cause des modifications du schéma et de la vitesse de déplacement des glaciers et nappes glaciaires qui libèrent de la glace directement dans les océans sous la forme d'icebergs (Holland et alii, 2008). La dynamique des glaciers et des nappes glaciaires pourrait entraîner une montée rapide du niveau des mers étant donné que l'augmentation de l'écoulement glaciaire et du vèlage des icebergs ne suit pas la hausse des températures de manière linéaire. Mais ces phénomènes peuvent également réagir au changement climatique en accélérant soudainement et irréversiblement les déversements dans l'océan (Bamber et alii, 2009 ; Pfeffer et alii, 2008).

Des données géologiques suggèrent que, par le passé, les changements dynamiques des nappes glaciaires ont contribué à des phases de hausse significative du niveau des océans. La plupart des recherches sur les changements dynamiques, y compris

Encadré 1 : Attribution

Les décideurs recherchent toujours de nouvelles réponses pour expliquer les raisons d'une telle évolution du climat. En d'autres termes, ils essaient d'attribuer les raisons des modifications et des variations climatiques. Pour ce faire, les scientifiques se fondent sur différents types de preuves et de méthodes, notamment des ensembles de données et des modèles (NOAA, 2009).

Il existe de nombreuses explications possibles aux changements climatiques. Des forces extérieures (notamment la variabilité de l'activité solaire, les éruptions volcaniques et l'interférence humaine dans les puits et les sources de carbone ou dans la réflectivité) introduisent de nouvelles énergies ou matières étrangères dans notre système climatique. Les forces internes comprennent des processus essentiellement liés aux interactions dans l'atmosphère, ainsi que ceux impliquant de nombreux composants du système climatique, comme les formations El Niño et La Niña. Avant d'attribuer un phénomène climatique à une interférence humaine, il convient de déterminer si ce phénomène pourrait s'être produit à cause de forces naturelles externes ou uniquement en raison de variations internes (NOAA, 2009).

Les scientifiques classent les activités humaines qui influencent le changement climatique en trois catégories associées et dépendantes : les émissions de gaz à effet de serre, les émissions d'aérosol et l'utilisation des sols.

Les gaz à effet de serre sont produits par le transport, l'industrie, l'agriculture et d'autres secteurs. Ils représentent deux tiers du forçage radiatif ou des influences sur les changements de l'équilibre énergétique de la planète, pendant le 20^e siècle et auparavant. Les gaz à effet de serre, qui existent pendant des décennies, voire des siècles, sont notamment le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O) et une série de composants artificiels, comme les hydrofluorocarbones (HFC), les perfluorocarbones (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF₆). Actuellement, plus de la moitié des gaz à effet de serre provient des centrales électriques, de la production et de l'utilisation de carburants fossiles, de la production de ciment, de l'élimination des déchets et du secteur de la construction (GIEC, 2007).

Les aérosols sont de fines particules solides et liquides en suspension qui entrent dans l'atmosphère à cause de l'agriculture sur brûlis, de l'utilisation du diesel et de carburants issus de la biomasse et d'autres sources, notamment la production de carbone noir ou de suie. Les aérosols et la poussière peuvent s'accumuler dans l'atmosphère et former des nuages qui empêchent le rayonnement solaire d'atteindre la surface de la planète. Ils peuvent également accroître le forçage radiatif, en fonction de la taille des particules, de leurs caractéristiques physiques et de leur emplacement dans l'atmosphère ou sur la surface de la planète (GIEC, 2007).

L'utilisation des sols comprend notamment la déforestation et les feux de forêt, la destruction des zones humides et la modification du facteur de réflexion de la surface de la planète. L'agriculture, notamment l'élevage et la production de riz par irrigation, est responsable d'une grande partie des émissions de méthane (GIEC, 2007).

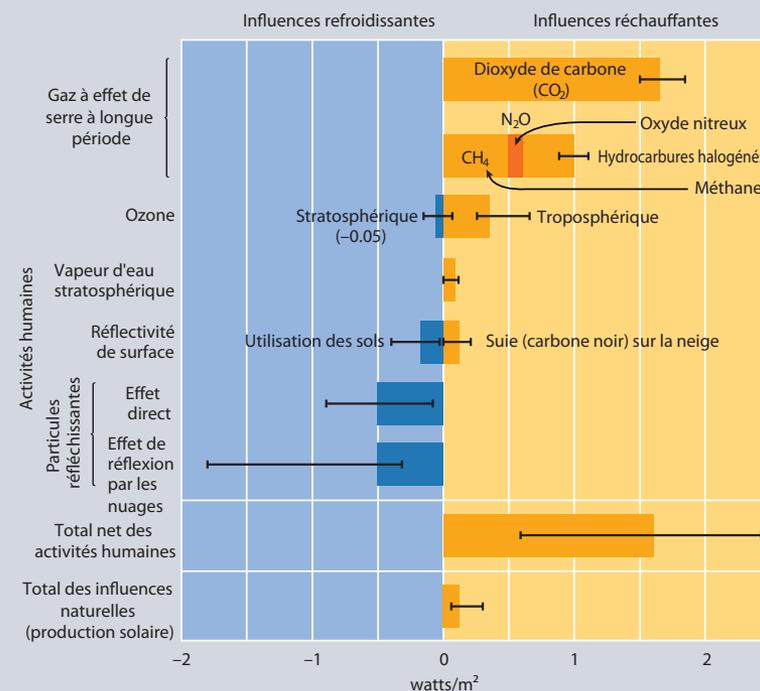
Ces 20 dernières années, les experts s'accordent à dire que le réchauffement climatique peut être attribué à l'accumulation de ces activités. La comparaison des conclusions des différents rapports d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) le montre. En 1990, le premier rapport d'évaluation déclarait prudemment que « l'ampleur de ce réchauffement est cohérente avec les prédictions des modèles climatiques, mais également liée à la variabilité naturelle du climat. Par conséquent, la hausse des températures observée pourrait être en majeure partie liée à cette variabilité naturelle. De plus, cette variabilité et d'autres facteurs humains pourraient compenser le réchauffement toujours plus important induit par l'homme. L'amplification de l'effet de serre ne devrait pas être détectée avec certitude avant une décennie au moins » (GIEC 1990).

Le deuxième rapport d'évaluation rédigé en 1995 allait plus loin : « Notre capacité à quantifier l'influence de l'homme sur le climat de la planète est actuellement limitée parce que le signal attendu se superpose au bruit de fond représenté par sa variabilité naturelle, et parce qu'il subsiste des incertitudes quant à certains facteurs clés, notamment l'ampleur et les caractéristiques de la variabilité naturelle à long terme du climat et le schéma variable dans le temps du forçage dû, et les réponses, aux changements des concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols, et les changements d'affectation des terres. Les faits observés concordent néanmoins pour indiquer une influence perceptible de l'homme sur le climat mondial » (GIEC, 1995).

En 2001, le troisième rapport d'évaluation était plus catégorique : « Au regard des nouvelles preuves et en tenant compte des incertitudes restantes, le réchauffement observé au cours des 50 dernières années est probablement dû en grande partie à l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre ». Ce rapport définissait « probablement » comme ayant une probabilité supérieure à 66 % (GIEC, 2001).

Le quatrième rapport d'évaluation rédigé en 2007 précisait que « l'essentiel de l'élévation de la température moyenne du globe observée depuis le milieu du 20^e siècle est très probablement attribuable à la hausse des concentrations de GES anthropiques ». Ce rapport définissait « très probablement » comme ayant une probabilité supérieure à 90 % (GIEC, 2007).

Les études d'attribution sont actuellement axées sur les cohérences, au niveau régional et des écosystèmes, entre les influences anthropiques et les changements climatiques associés aux températures et aux précipitations. Il a récemment été suggéré que des influences anthropiques expliquaient les variations des schémas de températures polaires, des températures à la surface des mers dans les bassins océaniques générateurs de cyclones, des changements d'habitat, de l'hydrologie dans l'ouest des Etats-Unis et des systèmes physiques et biologiques, comme la fonte des glaciers ou les schémas de bourgeonnement (Barnett et alii, 2008 ; Gillett et alii, 2008a ; Gillett et alii, 2008b ; Kelly et Goulden, 2008 ; Rosenzweig et alii, 2008).

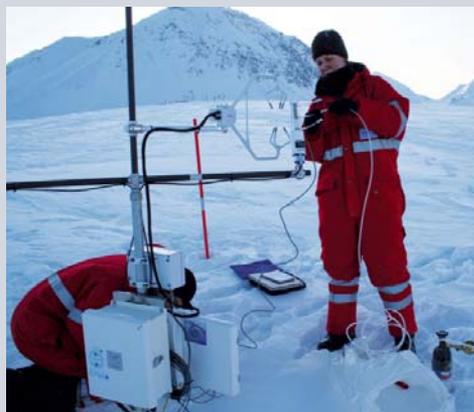


La figure montre les influences de réchauffement (barres oranges) ou les influences de refroidissement (barres bleues) que divers facteurs ont eu sur le climat de la planète depuis le début de l'ère industrielle, aux alentours de 1750, jusqu'à nos jours, exprimées en watts par mètre carré. Le trait noir superposé sur chaque barre représente une estimation du degré d'incertitude. Parmi les facteurs pris en compte figurent tous les principaux facteurs anthropiques et le soleil, le seul facteur naturel majeur ayant un effet à long terme sur le climat. L'effet refroidissant des volcans est aussi un facteur naturel, mais il est relativement éphémère car il ne dure que deux à trois années. Cette influence n'est donc pas incluse dans la figure. On note un effet sur le réchauffement net total des activités humaines et un effet sur le réchauffement relativement moindre des influences naturelles.

Source : adapté de Karl et alii (2009) et du GIEC (2007)

Encadré 2 : L'Année polaire internationale

Les résultats de l'Année polaire internationale (API), organisée à l'initiative du Conseil international pour la science et de l'Organisation météorologique mondiale, continuent d'être publiés. Pour permettre une couverture adéquate de l'Arctique et de l'Antarctique, l'API s'étalait sur deux cycles annuels complets, de mars 2007 à mars 2009. Plus de 200 projets de recherche ont été menés à bien. Des milliers de scientifiques issus de plus de 60 pays ont grandement contribué à mieux comprendre les changements affectant les océans, la glace, l'atmosphère et les terres dans les régions polaires (API 2009).



Étalonnage d'un système de covariance tourbillonnaire près de Ny-Alesund, Svalbard, en Norvège. On utilise ce système pour analyser les flux, par exemple des niveaux de CO₂ dans les écosystèmes terrestres et l'atmosphère.

Photo : Jens-Erwin Siemssen

sur l'accélération du déversement d'iceberg, se sont concentrées sur les glaciers et calottes glaciaires. Toutefois, ces dernières années, en particulier dans le cadre de l'année polaire internationale, l'étude de la dynamique des nappes glaciaires, ainsi que des glaciers et calottes glaciaires, s'est considérablement développée (Briner et alii, 2009 ; API, 2009 ; Pritchard et alii, 2009 ; Bell, 2008 ; Howat et alii, 2008 ; Pfeffer et alii, 2008 ; Rignot et alii, 2008) (**Encadré 2**). La compréhension des mécanismes et des moyens de contrôler la contribution des changements dynamiques rapides des glaciers et nappes et calottes glaciaires à la hausse du niveau des océans est l'un des objectifs les plus pressants des études du niveau des mers et de glaciologie (Bamber et alii, 2009 ; Cazenave et alii, 2009 ; Fletcher, 2009 ; Milne et alii, 2009 ; Meier et alii, 2007 ; Pfeffer et alii, 2008).

Actuellement, la contribution de la fonte des glaces à la hausse du niveau des océans est estimée à 1,8-2,0 mm par an au niveau planétaire. Cette contribution

pourrait augmenter si les plates-formes de glace et glaciers de marée en cours de fonte libèrent de la glace échouée ou provoquent l'effondrement à grande échelle de parties vulnérables des nappes glaciaires (Bamber et alii, 2009 ; Cazenave et alii, 2009 ; Meier et alii, 2007).

L'amincissement dynamique (la réduction des glaces résultant d'un écoulement accéléré) est un phénomène mal compris et sa contribution potentielle à la hausse du niveau des océans est encore incertaine. L'amincissement dynamique des nappes glaciaires à l'échelle des continents a été contrôlé à l'aide d'observations répétées par altimétrie par satellite afin de suivre les changements de l'élévation de la surface, mais peu d'observations systématiques ont été effectuées à plus petite échelle jusqu'à présent (Pritchard et alii, 2009 ; GIEC, 2007). La mise en œuvre de nouvelles capacités analytiques a démontré qu'il était possible de suivre l'amincissement dynamique sur les bords de ces grandes nappes glaciaires. Une analyse haute résolution en 2009, basée sur 43 millions de mesures par satellite de l'Antarctique et 7 millions de mesures du Groenland entre 2003 et 2007, démontre que d'importants changements des nappes glaciaires sont dus à la dynamique des glaciers à la marge des océans (Pritchard et alii, 2009). L'amincissement dynamique des plates-formes de glacier et des glaciers de marées est en cours ; il a atteint toutes les latitudes du Groenland et s'est intensifié sur des limites d'ancrage clés de l'Antarctique. Ce processus s'est poursuivi pendant des décennies après l'effondrement des plates-formes de glacier, s'insinuant profondément à l'intérieur de chaque

plate-forme et se propageant à mesure que les plates-formes sont amincies par la fonte liée à l'océan (Pritchard et alii, 2009 ; Van den Broeke et alii, 2009).

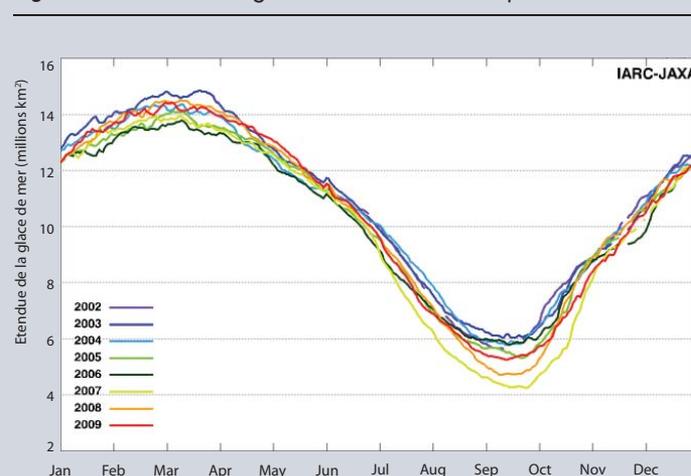
Transformations de l'Arctique

La couverture de glace de l'océan Arctique s'est fortement réduite au cours de la dernière décennie. La couverture la plus petite à ce jour a été détectée en 2007 et le plus petit volume en 2008 (NSIDC, 2009). En 2009, la surface de la couverture de glace était la troisième plus petite jamais enregistrée. Elle s'est lentement restaurée. Certains jours de novembre 2009, elle a été la plus petite jamais enregistrée à cette date (JIS, 2010 ; NSIDC, 2009) (**Figure 2**).

La nature de la couverture de glace de l'océan Arctique s'est profondément modifiée au cours des dernières décennies. Elle s'est amincie et est devenue plus encline à fondre rapidement, avec une proportion croissante de glace formée voici un ou deux ans. En 1987, 57 % de la glace du bassin Arctique dataient de 5 ans ou plus et au moins 14 % de 9 ans ou plus. En 2007, seuls 7 % dataient de 5 ans ou plus et il n'existait plus de glace vieille de 9 ans (Haas et alii, 2008 ; Maslanik et alii, 2007). Au fur et à mesure que de l'air chaud et humide s'introduit dans les systèmes météorologiques subarctiques, les modifications des glaces de l'océan Arctique, qui deviennent plus minces et plus vulnérables, ont des répercussions significatives sur le système climatique mondial (Serreze et alii, 2007).

Étant donné que la glace plus récente et plus mince fond plus vite, de plus grandes zones d'eau libre sont exposées au rayonnement solaire plus tôt dans l'année et chauffées pendant une plus longue période. Un

Figure 2 : Etendue des glaces de l'océan Arctique de 2002 à 2009



L'étendue des glaces de mer est calculée comme étant la somme locale des glaces de mer couvrant l'océan où la concentration en glace de mer dépasse 15 %. En 2009, c'est au printemps que cette étendue était la plus vaste. Elle recouvrait environ 14,41 millions de km², soit environ 9,67 % de la surface du globe. C'est généralement au mois de septembre qu'elle atteint sa plus petite taille. En septembre 2009, elle représentait 5,36 millions de km².

Source : JIS (2010)

transfert accru de chaleur de l'océan vers l'atmosphère (l'effet maritime) devrait contribuer à modérer les températures automnales et hivernales froides (Serreze et alii, 2007).

A mesure que la glace s'éloigne des côtes, les vents gagnent en intensité sur l'eau libre, ce qui augmente la puissance des vagues et l'érosion des côtes (Perovich et Richter-Menge, 2009 ; Mars et Houseknecht, 2007).

Au cours des dernières années, des modifications considérables ont été observées dans le comportement des cyclones et la circulation atmosphérique au-dessus de l'Arctique. De nouvelles études laissent penser que ces modifications sont liées à la variabilité de la couverture de glace en septembre (Simmonds et Keay, 2009). Cette supposition renforce l'idée selon laquelle la réduction et l'amincissement des glaces de l'Arctique laissent la région vulnérable face aux activités cycloniques anormales futures et au forçage atmosphérique (Simmonds et Keay, 2009).

Les conditions climatiques à des latitudes plus basses peuvent être affectées par ces modifications survenues dans le bassin Arctique (Serreze et alii, 2007). En associant les mesures par satellite de l'étendue des glaces de mer avec les observations atmosphériques conventionnelles, les chercheurs ont découvert que la variabilité de la glace en été est liée aux caractéristiques atmosphériques à grande échelle durant l'automne et l'hiver suivant, bien au-dessous du cercle polaire arctique. Il peut s'agir d'un réchauffement et d'une déstabilisation de la troposphère inférieure, d'une nébulosité accrue ou d'une baisse du gradient d'épaisseur à l'approche des pôles qui affaiblit le jet stream polaire (Francis et alii, 2009). Le recul rapide des glaces de l'océan Arctique pourrait accélérer le réchauffement jusqu'à 1 500 kilomètres à l'intérieur des terres et affecter une partie considérable du Groenland, de la Scandinavie, de la Russie, de l'Alaska et du Canada. Pendant ce recul rapide, le réchauffement à l'intérieur des terres pourrait avoir des conséquences graves sur les écosystèmes et les populations humaines qui en dépendent (Jones et alii, 2009 ; Lawrence et alii, 2009).

Les conséquences du réchauffement climatique persistant des écosystèmes terrestres arctique et subarctique, et des processus associés, sont inquiétantes. Les émissions de CO₂, de CH₄ et, plus récemment, de N₂O dans ces régions ont augmenté au cours des dernières décennies (Tarnocai et alii, 2009). Les permafrosts arctiques stockent d'énormes quantités de carbone. On estime que ces écosystèmes, qui englobent toutes les régions circumpolaires septentrionales, stockent deux fois plus de carbone

qu'il n'y en a actuellement dans l'atmosphère sous la forme de CO₂ (Tarnocai et alii, 2009 ; Schuur et alii, 2008). Le réchauffement dans l'Arctique provoque déjà une augmentation des émissions de CO₂ et de CH₄, ce qui laisse penser que les processus de rétroaction ont débuté (Walter et alii, 2007). De plus en plus de données tendent également à prouver que les dépôts de méthane sous-marins dans l'Atlantique Nord subissent un dégazage (Westbrook et alii, 2009) (Figure 3).

La majorité du carbone libéré par le dégel des sols provient de la décomposition de matières organiques (d'origine animale, végétale ou microbienne) qui se sont accumulées pendant des milliers d'années. Ces matières organiques sont restées relativement stables en raison des basses températures du permafrost dans lequel elles étaient enfermées. Le thermokarst se forme parallèlement à la fonte du permafrost. Le thermokarst est un paysage caractérisé par des effondrements et des affaissements du sol, dont la surface est parsemée de lacs nouveaux ou élargis, de zones humides et de cratères (Walter et alii, 2007). Dans ce nouveau paysage dégelé, les zones sèches, qui sont bien drainées et pourvues en oxygène pour l'activité microbienne, sont généralement responsables des émissions de CO₂. Dans les terrains gorgés d'eau et les lacs, c'est-à-dire les endroits où les bactéries anaérobies décomposent la matière organique, le méthane devient l'émission dominante. Les émissions de carbone des écosystèmes terrestres de l'Arctique sont en augmentation

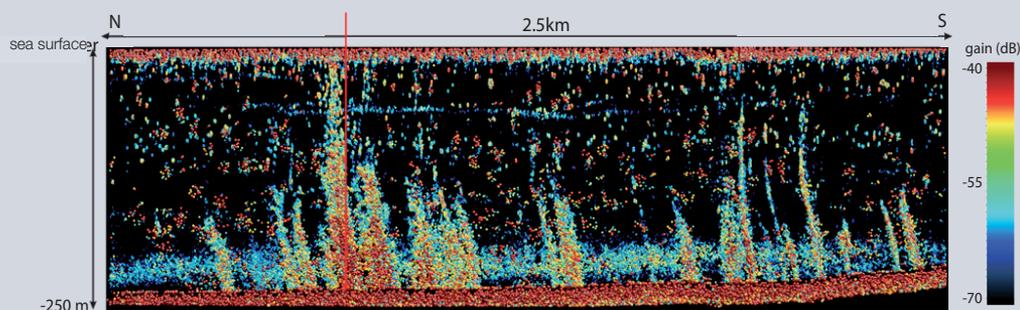
en raison du prolongement des saisons chaudes et de la hausse des températures. Le réchauffement favorise également l'étendue et la vigueur de la croissance végétale, ce qui accroît la consommation de dioxyde de carbone. Les effets des émissions de l'Arctique seront déterminés par les interactions de ces processus climatiques sur terre et en mer (Tarnocai et alii, 2009 ; Schuur et alii, 2008).

L'ACIDIFICATION DES OCEANS

Les émissions résultant de l'utilisation de combustibles fossiles ont progressé de 29 % entre 2000 et 2008 (Le Quéré et alii, 2009). Une des conséquences majeures des concentrations élevées de CO₂ dans l'atmosphère est l'acidification des océans. Depuis que les émissions de dioxyde de carbone anthropogénique ont commencé à augmenter, les océans fonctionnent comme un puits de carbone, absorbant plus de 450 milliards de tonnes de CO₂ de l'atmosphère, soit environ un tiers des émissions totales de carbone depuis 1750 (Doney et alii, 2009). Lorsque le CO₂ est absorbé par l'eau de mer, les transformations chimiques qui s'opèrent entraînent la baisse du pH de l'eau de mer et de la concentration des ions carbonates. Ce processus est généralement appelé l'acidification des océans.

Des acidifications saisonnières ont lieu, mais l'absorption du CO₂ anthropogénique par l'océan élargit la zone affectée. L'eau qui peut corroder l'aragonite, la forme la moins dure de CaCO₃, remonte en été sur de larges portions de la plate-forme continentale nord-américaine

Figure 3 : Répartition des bulles de méthane qui s'échappent du fond de l'océan Arctique



La figure montre un extrait d'un diagnostic acoustique et des exemples de panaches de bulles de méthane qui s'échappent du fond de l'océan Arctique. L'intensité de la réponse acoustique est indiquée par la couleur des « bulles ». Tous les panaches montrent une déviation vers le nord, provoquée par le courant du Spitsberg occidental. La ligne brune indique le fond de l'océan, à une profondeur d'environ 240 mètres.

Source : Westbrook et alii (2009)

(Feely et alii, 2008). Les chercheurs prévoient l'apparition d'eau corrosive dans certaines régions polaires et subpolaires d'ici 2020 (Steinacher et alii, 2009).

L'acidification continue des océans peut endommager toute une série d'organismes marins et les réseaux trophiques qui en dépendent, jusqu'à la dégradation d'écosystèmes marins entiers (Doney et alii, 2009 ; Fabry et alii, 2008). Les études menées en laboratoire suggèrent que les mollusques, y compris les espèces ayant une valeur commerciale telles que les moules et les huîtres, et plus spécialement leur progéniture, sont particulièrement sensibles à ces changements (Cohen et alii, 2009 ; Kurihara et alii, 2009). Les sociétés dont l'économie dépend des calcificateurs marins pourraient subir des pertes financières lourdes, voire connaître des bouleversements sociaux au cours des prochaines décennies (Cooley et Doney, 2009).

L'effet total de l'acidification des océans sur l'environnement marin va dépendre des réactions des écosystèmes. Même si les organismes calcifiés réussissent à former leur coquille et leur squelette dans un environnement riche en CO₂, ils devront sans doute mobiliser beaucoup d'énergie pour y parvenir, ce qui risque de diminuer leurs chances de survie et leur taux de reproduction (Wood et alii, 2008). La disparition de planctons, de jeunes crustacés et d'autres organismes au bas de la chaîne alimentaire marine va affecter les récoltes de prédateurs importants d'un point de vue économique (Cooley et Doney, 2009). Parallèlement, des conditions acides endommagent le corail et l'empêchent de repousser, en détruisant les habitats marins essentiels à son alimentation et à sa reproduction (Veron et alii, 2009 ; Hoegh-Guldberg et alii, 2007 ; Lumsden et alii, 2007).

Des transformations écologiques favorisant la prolifération des algues et la diversité réduite des espèces font parfois suite à des perturbations du corail, ce qui engendre la création de nouveaux états de l'écosystème qui sont stables mais dominés par les herbivores et des espèces de moindre valeur commerciale. L'acidification des océans a été impliquée dans des transformations écologiques similaires, passant des coraux et autres organismes calcifiés aux herbiers et algues, dans des communautés où les niveaux de pH sont en diminution (Norström et alii, 2009 ; Wootton et alii, 2008 ; Hoegh-Guldberg et alii, 2007).

Les préoccupations initiales relatives à l'acidification des océans se concentraient sur une calcification réduite des récifs coralliens et autres organismes calcaires. Mais, aujourd'hui, de nouvelles craintes voient le jour. Des concentrations élevées de CO₂ dissout

peuvent imposer une contrainte physiologique aux animaux marins, en affaiblissant leurs performances et en monopolisant de l'énergie qu'ils auraient pu utiliser pour se déplacer, se nourrir, se reproduire ou faire face à d'autres contraintes environnementales telles que le réchauffement des océans ou l'épuisement de l'oxygène (Brewer et Peltzer, 2009 ; Guinotte et alii, 2008).

Pour identifier la meilleure attitude à adopter face à ces changements, il convient de mieux comprendre dans quelle mesure l'acidification des océans influence les processus de développement ou physiologiques critiques. Ces processus sont responsables de la calcification, de la structure et du fonctionnement de l'écosystème, de la biodiversité et enfin de la santé de l'écosystème. Il est extrêmement urgent d'effectuer des recherches sur les effets synergiques de l'acidification des océans et d'autres modifications environnementales provoquées par l'homme sur les réseaux trophiques marins et sur les transformations possibles que ces changements pourraient occasionner aux écosystèmes marins (Guinotte et alii, 2008) (**Encadré 3**).

L'acidification des océans évolue à un rythme bien plus rapide que prévu. La capacité des océans à absorber le

Encadré 3 : Un réseau d'observation international pour l'acidification des océans

Les scientifiques ont proposé un nouveau programme international et interdisciplinaire visant à déterminer des changements à grande échelle affectant les propriétés des eaux océaniques et des réactions biologiques associées à l'acidification des océans. Ce programme comprendrait des études hydrographiques par bateau, des séries chronologiques de mesures sur amarres, flotteurs et planeurs avec un système carbone, des capteurs de pH et d'oxygène ainsi que des études écologiques. En coordonnant les projets de recherche futurs des communautés biologiques et du carbone océanique, et en ajoutant des capteurs et des amarres supplémentaires là où cela serait nécessaire, on pourrait remplir beaucoup des conditions pour une recherche sur l'acidification des océans en haute mer. Dans les environnements côtiers, un vaste réseau de nouvelles études hydrographiques et écologiques, d'amarres et de flotteurs serait nécessaire pour créer un système d'observation des côtes permettant d'étudier l'acidification océanique.

Ces activités nécessiteraient un effort de recherche international coordonné, en étroite relation avec d'autres programmes internationaux d'étude du carbone tel le Global Carbon Cycle Project. Beaucoup d'activités de synthèse de données, d'archivage de données et de gestion de données à l'échelon international pourraient être mises en commun avec d'autres programmes océaniques. Plusieurs pays participent à des initiatives de recherche et de surveillance de l'acidification des océans. Le coût total des efforts d'observation actuels liés à l'acidification des océans est estimé à quelque 10 millions de dollars par an. Le coût d'un programme international étendu, comme celui proposé, est estimé à 50 millions de dollars par an environ.

Source : EPOCA (2009)

carbone a amorti les effets de 150 ans d'émissions dans l'atmosphère, mais les effets se font désormais ressentir sur la santé des océans. Le problème de l'acidification des océans ne peut pas être résolu en s'attaquant au forçage radiatif par le biais de la géo-ingénierie, comme certains l'ont suggéré (voir Rendement des ressources). L'acidification des océans est donc perçue par certains comme l'« autre » problème du CO₂ (Robock et alii, 2009).

EXPANSION DES TROPIQUES ET VARIABILITE REGIONALE

Les observations directes et la modélisation indiquent que la zone intertropicale, qui englobe généralement les régions équatoriales, s'élargit depuis les années 70. Des données basées sur des observations rapportent qu'au cours des quatre à cinq dernières décennies, elle aurait subi un élargissement estimé à 1,0 degré de latitude, soit environ 110 kilomètres, par décennie (Reichler, 2009). Cet élargissement entraîne des déplacements des systèmes de pression et de vent vers les pôles dans l'ensemble de l'atmosphère mondiale. Ce phénomène a été imputé à des augmentations du forçage radiatif (Lu et alii, 2009). Les tendances associées, qui constituent d'importants indicateurs du changement climatique, sont susceptibles d'influencer considérablement les écosystèmes et les sociétés (Isaac et Turton, 2009 ; Reichler, 2009 ; Seidel et alii, 2008). Elles affecteront les régimes climatiques qui caractérisaient traditionnellement les zones de latitude, en modifiant la zone de convergence intertropicale et en déplaçant les zones subtropicales et tempérées (Isaac et Turton, 2009 ; Reichler, 2009 ; Sachs et alii, 2009). La vitesse d'expansion observée au cours des dix dernières années est déjà supérieure aux projections climatiques réalisées pour l'ensemble du 21^{ème} siècle (GIEC, 2007). L'élargissement des tropiques aura un effet en cascade, non seulement sur les systèmes de circulation à grande échelle mais également sur les schémas de précipitations qui déterminent les types d'écosystèmes, la productivité agricole et la disponibilité de ressources en eau à des fins d'usage domestique et industriel. Cet élargissement entraînera un déplacement des zones subtropicales, où se situent la plupart des déserts, vers des latitudes plus élevées en direction des pôles. Il est possible que ce changement soit déjà en cours (Isaac et Turton, 2009 ; Johanson et Fu, 2009 ; Lu et alii, 2009 ; Reichler, 2009 ; Sachs et alii, 2009 ; Seidel et alii, 2008 ; Seager et alii, 2007).

L'eau se fait déjà rare dans de nombreuses régions du monde. Les pressions exercées par l'agriculture et l'expansion urbaine seront exacerbées par les changements

attendus au niveau des températures et des schémas de précipitations, qui résultent des changements climatiques mondiaux. Dans de nombreuses régions tropicales, plus de 90 % des habitants travaillent dans l'agriculture. L'eau étant cruciale pour l'agriculture tropicale, la variabilité du climat peut entraîner un manque de résilience économique dans ces régions (Isaac et Turton, 2009). Par conséquent, l'aggravation de la sécheresse pourrait donner lieu à des migrations humaines à grande échelle qui seraient sources de surpopulation, de violence, d'épidémies et de pressions sur les ressources des zones avoisinantes (Matthew, 2008). Les pénuries d'eau rencontrées par les communautés du monde entier engendrent de graves problèmes de sécurité alimentaire (Battisti et Naylor, 2009 ; Banque mondiale, 2009 ; Lobell et alii, 2008)

(Figure 4).

Le sud-est de l'Australie souffre d'un manque d'eau depuis près d'une décennie (Isaac et Turton, 2009 ; Murphy

et Timbal, 2008). Il est par ailleurs possible que le sud-ouest de l'Amérique du Nord ait déjà connu une transition d'un état de sécheresse sporadique à un climat de sécheresse chronique (MacDonald et alii, 2008). Parmi les autres régions annoncées par les prévisions comme futures victimes de sécheresse persistante et de pénurie d'eau dans les prochaines années figurent le sud et le nord de l'Afrique, le bassin méditerranéen, une grande partie de l'ouest de l'Asie et une large bande traversant l'Asie centrale et le sous-continent indien. Cette répartition est similaire à celle des régions actuellement confrontées à un stress hydrique (Isaac et Turton, 2009 ; Solomon et alii, 2009 ; GIEC, 2007).

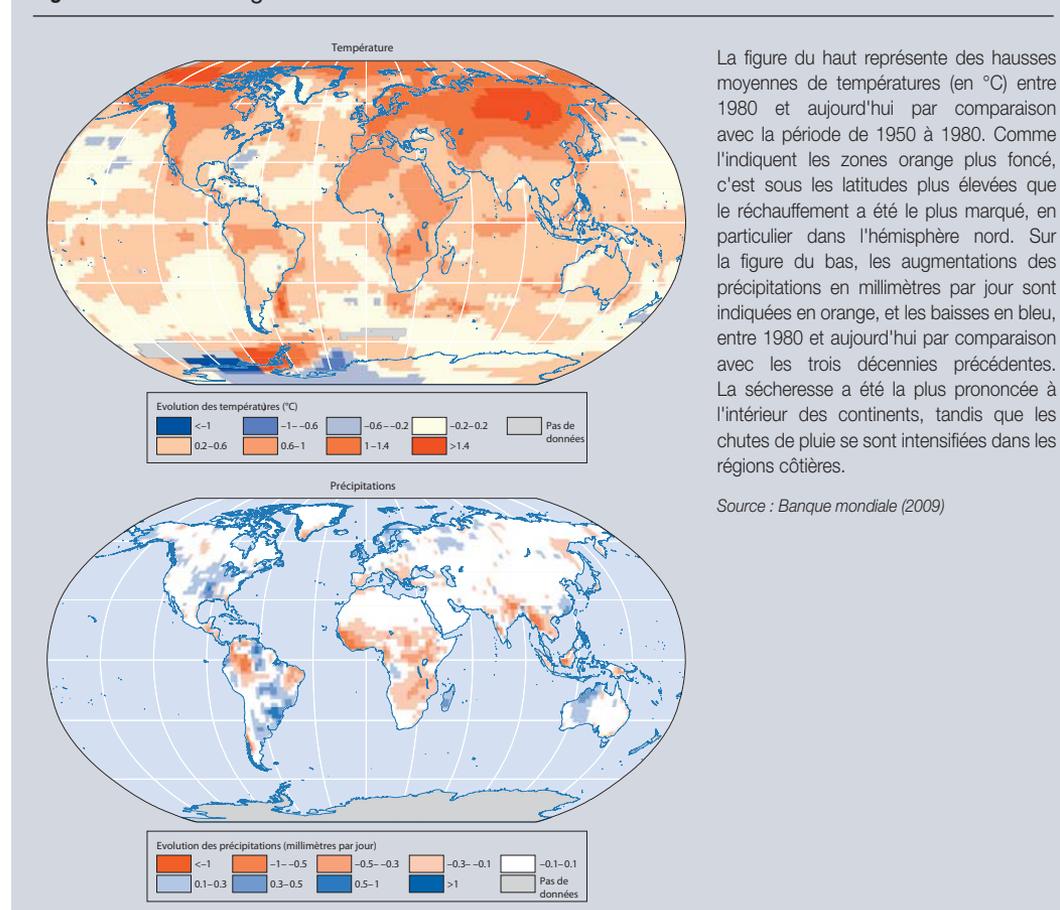
Sud-ouest de l'Amérique du Nord

Au sud-ouest de l'Amérique du Nord, l'intensification de l'aridité et la persistance d'un climat plus sec, déjà prévus par la modélisation, deviennent une réalité. Certains chercheurs ont laissé entendre que la transition

vers un climat plus aride pourrait déjà être en cours. A mesure que cette transition progresse, la sécheresse persistante risque de devenir le nouveau climat de cette région (Seager et alii, 2007).

Contrairement aux sécheresses qui ont frappé l'ouest de l'Amérique du Nord pendant plusieurs années au cours des années 50 et qui ont été attribuées à des variations de température de la surface des mers ou au phénomène La Niña, l'intensification de l'aridité annoncée sera due à une divergence accrue des régimes humides à grande échelle et à d'autres modifications de la circulation atmosphérique liées à l'élargissement vers les pôles des zones sèches subtropicales (Seager et alii, 2007). L'assèchement annoncé des zones subtropicales de cette région pour le 21ème siècle serait sans précédent. Les sécheresses les plus importantes continueront à se produire au cours de phénomènes La Niña persistants, mais les conséquences seront plus graves que lors des situations extrêmes rencontrées à l'heure actuelle car ces phénomènes affecteront un état de base plus sec (Barnett et alii, 2008 ; MacDonald et alii, 2008 ; Seager et alii, 2007).

Figure 4 : Variation régionale du climat au cours des 30 dernières années

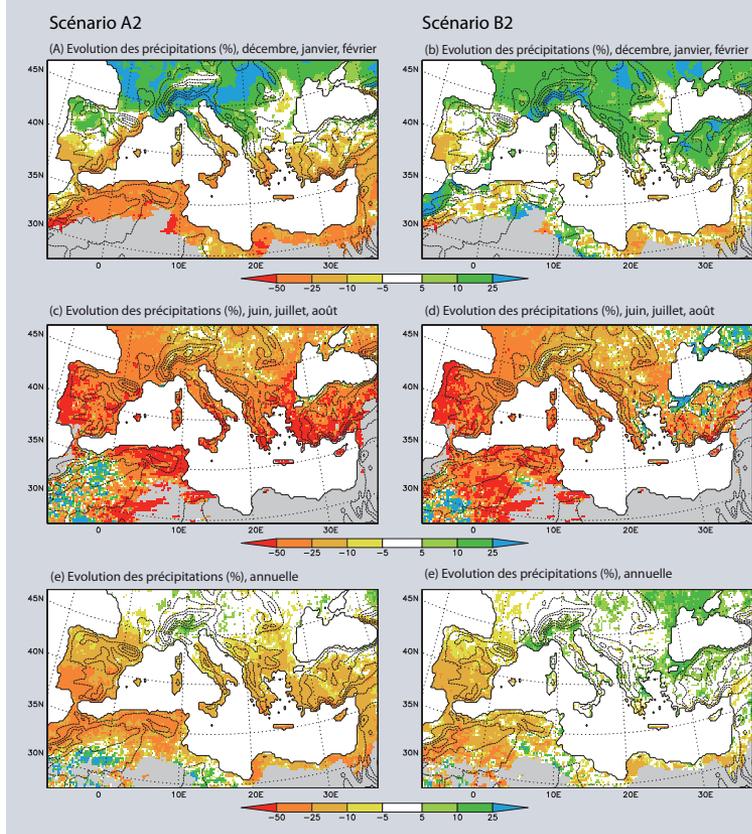


Région méditerranéenne

De nouvelles recherches suggèrent que, d'ici la fin du 21ème siècle, la région méditerranéenne sera frappée par une aridité plus sévère que ce qui avait été précédemment annoncé (Gao et Giorgi, 2008 ; GIEC, 2007). La région toute entière, en particulier le sud de la Méditerranée, souffrira d'un manque d'eau et d'une désertification croissants. Les chercheurs se sont appuyés sur des projections de résolution maximale pour prévoir une importante expansion vers le nord des régimes secs et semi-arides dans la région (Gao et Giorgi, 2008) **(Figure 5)**. Cela implique un recul correspondant des régimes climatiques tempéré océanique et continental, ainsi qu'une transformation probable de la couverture végétale, avec des répercussions significatives sur l'agriculture (Iglesias et alii, 2007).

Les graves conséquences de la hausse des températures pour les habitants de cette région ont été simulées et extrapolées à partir des observations du stress thermique causé par la vague de chaleur sans précédent de 2003 (Diffenbaugh et alii, 2007). La topographie locale et les caractéristiques du paysage affecteront les variations microclimatiques. Toutefois, la fréquence des phénomènes actuellement considérés comme extrêmes en termes de températures élevées pourrait augmenter de 200 à 500 % d'ici la fin du siècle (Diffenbaugh et alii, 2007).

Figure 5 : Deux scénarios pour les changements des précipitations dans la région méditerranéenne



Les cartes représentent les scénarios de changement des précipitations pour la région méditerranéenne pour la période de 2071 à 2100 sur la base des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre établis par le GIEC (2000). Le scénario A2 est un scénario à fortes émissions, avec des concentrations de CO₂ d'environ 850 ppm d'ici 2100. Le scénario B2 est un scénario à émissions plus faibles, avec des concentrations de CO₂ d'environ 570 ppm d'ici 2100. a) DJF (décembre-janvier-février), scénario A2 ; b) DJF, scénario B2 ; c) JJA (juin-juillet-août), scénario A2 ; d) JJA, scénario B2 ; e) sur un an, scénario A2 ; f) sur un an, scénario B2. Les unités sont exprimées en pourcentage de précipitations de référence. Les zones recevant moins de 0,1 mm de précipitation par jour sont en gris.

Source : Gao et Giorgi (2008)



La hausse des températures pourrait assécher les forêts de nuages andines, menaçant les espèces endémiques.

Photo : Brian Gross

au stress hydrique causé par des températures plus élevées. Cela met les forêts à la merci des incendies, qui sont encore rares dans une grande partie de l'Amazonie aujourd'hui. La progression de la déforestation, de l'abattage et de la fragmentation facilite les départs de feux, pouvant conduire au développement de forêts à faible biomasse, dominées par les incendies (Malhi et alii, 2009 ; Thompson et alii, 2009).

Le coût et les avantages potentiels de la préservation d'un puits de carbone amazonien sain et croissant sont substantiels. Une augmentation annuelle de 0,4 % seulement de la biomasse de la forêt amazonienne compenserait à peu près le total des émissions dues aux combustibles fossiles en Europe occidentale. Le passage d'un puits de carbone modéré à un état neutre ou à une source de carbone modérée aurait des implications majeures au niveau de l'accumulation de concentrations de CO₂ dans l'atmosphère. La croissance moyenne à l'échelle du peuplement est d'environ 2 % par an et le taux de mortalité, d'environ 1,6 %. Par conséquent, une petite baisse de la croissance ou une petite hausse de la mortalité pourrait entraîner la disparition du puits (Phillips et alii, 2009).

Zones humides, tourbières et fonte du permafrost

Les zones humides couvrent 6 % environ de la surface de la planète (voir le chapitre intitulé Gestion des écosystèmes). Elles regroupent les terres intertidales, les estuaires, les lagunes côtières, les deltas et les lacs intérieurs, les oasis, la toundra et les tourbières. Leurs

Amazonie

Les écosystèmes amazoniens sont confrontés à une double menace : la déforestation et le changement climatique (voir le chapitre consacré à la gestion des écosystèmes). Si la déforestation demeure la menace la plus visible, beaucoup s'inquiètent des répercussions du changement climatique, en particulier la sécheresse (Phillips et alii, 2009 ; Malhi et alii, 2008). Il est probable que les changements climatiques touchant l'écosystème de la forêt amazonienne soient associés à des précipitations moindres pendant la saison déjà sèche (Betts et alii, 2008). Le flanc andin de l'Amazonie, en particulier, est vulnérable. Juxtaposées aux parties les plus riches sur le plan de la biodiversité de la basse Amazonie, il renferme de nombreuses zones humides abritées dans des régions par ailleurs sèches. Les forêts de nuages andines entre 1 500 et 3 000 mètres sont sensibles à la sécheresse car les niveaux de nuages s'élèvent du fait de la hausse des températures. Certaines espèces endémiques spécifiques à une altitude plus élevée seront vulnérables car les nuages pourraient s'élever plus rapidement que les espèces ne

pourraient réagir à ce phénomène. La couverture nuageuse pourrait même entièrement disparaître (Malhi et alii, 2008).

Selon les observations, les forêts du bassin amazonien d'altitude inférieure sont également vulnérables à l'augmentation de la sécheresse. Les dommages occasionnés à ces forêts pourraient libérer de grandes quantités de carbone, suscitant des rétroactions positives au changement climatique. Selon certains chercheurs, l'augmentation exceptionnelle des concentrations globales de CO₂ dans l'atmosphère en 2005 pourrait être due en partie à la disposition de l'Amazonie suite à la sécheresse qui a frappé la région (Phillips et alii, 2009 ; Cox et alii, 2008).

Une étude récente s'est penchée sur la façon dont le dépérissement induit par le changement climatique de la forêt pluviale amazonienne pourrait progresser. Ses conclusions suggèrent qu'il est plus probable que la région se transforme en une forêt saisonnière qu'une savane (Malhi et alii, 2009). Une forêt saisonnière pourrait faire face à une sécheresse, mais elle serait vulnérable

eaux sont généralement peu profondes et facilement sujettes à l'évaporation. Les zones humides sont particulièrement vulnérables aux tendances climatiques qui accroissent l'aridité (Wetlands International, 2009). Les tourbières, une catégorie regroupant les landes, les marécages, les bourbiers, les forêts marécageuses et la toundra gelée en permanence présentent une épaisse couche de matière organique qui est définie par sa teneur en carbone. Les tourbières de la planète contiennent pratiquement 30 % de l'ensemble du carbone terrestre (Schuur et alii, 2008).

Les tourbières sont formées par l'accumulation de végétation morte au cours de centaines de milliers d'années. Lors de leur drainage, la matière organique se décompose et une partie du carbone est libérée dans l'atmosphère sous la forme de CO₂ (Wetlands International 2009).

Environ 3 % du carbone terrestre de la planète est stocké dans les tourbières tropicales boisées de l'Asie du Sud-Est. L'activité humaine et le changement climatique continuent de menacer la stabilité de cet important puits,



Site archéologique de Céide Fields dans le comté de Mayo, en Irlande, où les vestiges d'un paysage datant de l'âge de la pierre reposent sous une couverture tourbeuse grandissante.

Photo : Centre d'accueil de Céide Fields

qui disparaît rapidement depuis plusieurs décennies en raison de la déforestation, du drainage et des incendies. Depuis 1985, quelque 47 % des tourbières d'Asie du Sud-Est ont été déboisées. En 2006, la plupart de ces tourbières avaient été drainées (Hooijer et alii, 2009). Il est ironique de constater qu'une partie du puits de carbone de cette région est détruite pour produire des biocarburants. Selon des estimations récentes, 1,3 à 3,1 % des émissions globales actuelles de CO₂ proviennent de la décomposition de tourbières asséchées en Asie du Sud-Est (Hooijer et alii, 2009). Il est probable que ces régions deviennent plus arides au cours de ce siècle, affectant le stockage de carbone dans les zones tourbeuses restantes et la profondeur des tourbières ayant été en partie drainées (Hooijer et alii, 2009).

Régions montagneuses

Avec le changement climatique, les habitats évoluent, et les plantes et les animaux progressent à l'intérieur des terres et en altitude. On observe déjà cette tendance chez certaines espèces (Kelly et Goulden, 2008 ; Lenoir et alii, 2008 ; Rosenzweig et alii, 2008). Lorsque ces espèces s'adaptent à des altitudes supérieures, elles sont considérées comme non indigènes, voire invasives. Les particularités qui leur permettent de s'adapter au changement climatique sont les mêmes que celles qui caractérisent les mauvaises herbes et les espèces invasives.

Traditionnellement, dans les régions de plaine où la majorité des études sur le sujet ont été menées, les invasions biologiques ont été reconnues comme un facteur important de destruction de la biodiversité et d'altération du fonctionnement de l'écosystème (Pauchard et alii, 2009). A l'inverse, les environnements de haute altitude semblent moins touchés par les invasions, une hypothèse reposant sur leurs conditions climatiques plus rigoureuses et des densités de population humaine relativement faibles. Cependant, on a récemment estimé à plus d'un millier le nombre d'espèces non indigènes qui se sont établies dans des zones naturelles situées à des altitudes élevées dans le monde. Beaucoup ne sont pas considérées comme invasives, mais quelques-unes pourraient menacer les écosystèmes montagneux indigènes (Pauchard et alii, 2009).

Des variations rapides et importantes de la répartition des plantes vers des altitudes plus élevées ont été documentées, confirmant une étroite corrélation entre les changements observés au niveau des limites de répartition de ces végétaux et des conditions climatiques régionales. En comparant des études du couvert végétal entre 1977

et 2007 sur un transect de 16 kilomètres atteignant une altitude de 2 314 mètres dans les montagnes de Santa Rosa en Californie, les chercheurs ont constaté que l'élévation moyenne des espèces végétales dominantes avait progressé de 65 mètres en 30 ans (Kelly et Goulden, 2008). Au cours de la même période, le sud de la Californie a connu un réchauffement superficiel, un accroissement de la variabilité des précipitations et une diminution de la couverture neigeuse. Les progressions furent uniformes quelle que soit l'altitude, ce qui laisse penser que la végétation a réagi à un facteur de causalité uniformément réparti. Les variations de la végétation résultaient également, en partie, de la mortalité survenue pendant deux périodes de sécheresse distinctes. Passant au crible tous ces indices, les chercheurs ont imputé ces variations au changement climatique plutôt qu'à la pollution de l'air ou aux incendies (Kelly et Goulden, 2008).

Une autre étude récente des forêts de montagne des régions tempérées et méditerranéennes d'Europe occidentale indique une progression similaire des espèces végétales des forêts. Les chercheurs ont comparé la distribution altitudinale de 171 végétaux de 0 à 2 600 mètres au-dessus du niveau de la mer. Les résultats indiquent une progression importante de 29 mètres par décennie de l'élévation maximale des espèces au cours du 20^e siècle (Lenoir et alii, 2008). La manière dont les espèces natives s'adaptent à l'évolution des écosystèmes peut avoir des effets similaires à ceux des espèces invasives.

Chez les insectes, en particulier, la variation des conditions peut avoir des avantages qui perturbent des relations qui ont évolué sur plusieurs millénaires. Dans les zones tempérées, de nombreux insectes survivent à peine à des températures qui inhibent leurs capacités métaboliques optimales (Deutsch et alii, 2008). Avec la hausse des températures, les saisons et les taux de reproduction augmentent, entraînant des augmentations de leurs populations. Dans le nord-ouest de l'Amérique du Nord, cela fait près de 10 ans maintenant que le dendroctone du pin ponderosa fait des ravages dans les peuplements forestiers des Etats-Unis et du Canada. Des populations actives subsistent parce que les épisodes de gel durant des hivers plus doux sont moins nombreux et moins extrêmes, et que davantage de larves de scolytes survivent et se reproduisent au printemps. Chaque année, les étés plus longs favorisent la reproduction ; des populations plus importantes survivent aux hivers plus chauds et produisent davantage de larves qui affaiblissent les arbres (Kurz et alii, 2008).

Les forêts endommagées perdent leur capacité à alimenter les nappes phréatiques et à prévenir l'érosion des sols. Dernièrement, avec l'augmentation du nombre d'arbres succombant à ces nuisibles et commençant à se décomposer, elles ont commencé à agir comme des sources de carbone plutôt que des puits de carbone (Kurz et alii, 2008).

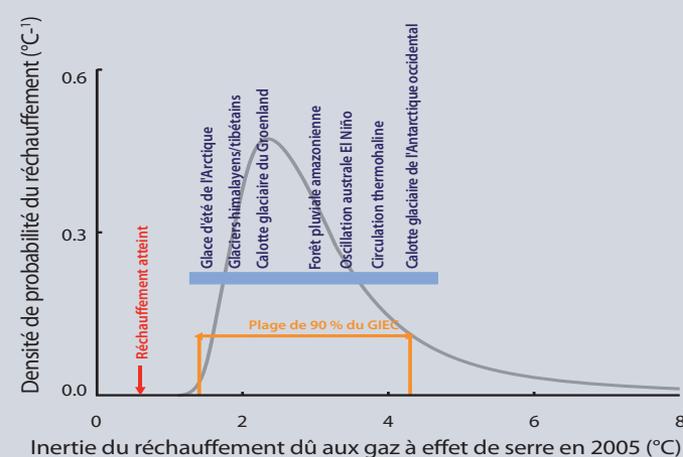
Motifs d'inquiétude

Pour atténuer, voire prévenir les effets de l'aggravation du changement climatique, il se peut que des approches novatrices, même peu orthodoxes, tenant compte de notions telles que des seuils et des effets cumulatifs dans l'évaluation des risques, soient nécessaires. De plus, on doit éviter de minimiser l'importance de ce qu'il n'est pas possible de quantifier en se concentrant sur les paramètres qui sont déjà bien définis. Le développement d'outils permettant de saisir l'ampleur et la durée des changements à venir, et la volonté de s'attaquer au changement climatique qui existe déjà, contribueraient à l'élaboration de stratégies de gestion optimales.

L'un des facteurs les plus difficiles à inclure avec précision dans les estimations du forçage radiatif aux niveaux global, régional et local est l'effet des particules (aérosols) en suspension qui absorbent le rayonnement solaire mais peuvent aussi le refléter. Les aérosols qui reflètent le rayonnement sont plus courants. Ils servent de masque et empêchent que l'effet du forçage radiatif ne se fasse pleinement sentir sur le réchauffement de la planète. Ces aérosols forment des nuages bruns dans l'atmosphère, provoquant des problèmes de santé dus à la pollution à la surface de la planète. A mesure que l'on s'attelle à y remédier en raison des craintes croissantes à propos de la pollution au niveau du sol, leur fonction de masque vis-à-vis du changement climatique va être affectée et les températures pourraient dépasser les prévisions (Hill et alii, 2009 ; Paytan et alii, 2009 ; Shindell et Faluvegi, 2009).

Les analyses récentes ont différemment quantifié les seuils potentiels. Une première analyse estime à 1 à 5 °C la fourchette de hausse de température moyenne globale au-dessus des niveaux préindustriels qui déterminerait les « éléments de basculement » (Lenton et alii, 2008). Dans une autre, un intervalle de 0 à 5 °C au-dessus des niveaux de 1990 est considéré comme un « motif d'inquiétude » (Smith et alii, 2009). Malgré les écarts entre les estimations chiffrées au-delà desquelles divers effets apparaissent, les scientifiques concluent que la planète va connaître des changements environnementaux durables substantiels du fait de l'engagement que nous avons déjà enclenché en

Figure 6 : Distribution des probabilités pour un réchauffement engagé associé à des émissions de gaz à effet de serre entre 1750 et 2005



La figure représente la distribution des probabilités pour un réchauffement engagé associé à des émissions de gaz à effet de serre entre 1750 et 2005, et différents éléments de basculement climatique, y compris le seuil de températures à partir duquel le basculement se déclenche.

Source : Ramanathan et Feng (2008)

émettant des gaz à effet de serre (Rockström et alii, 2009 ; Smith et alii, 2009 ; Solomon et alii, 2009 ; Lenton et alii, 2008 ; Ramanathan et Feng, 2008).

Selon une étude, une fourchette comprise entre 1,4 et 4,3 °C pour le réchauffement engagé avant 2005 chevauche et dépasse le seuil estimé actuellement pour une interférence anthropique dangereuse, intégrant plusieurs éléments de basculement tels que la disparition de la banquise arctique en été et la désintégration de la couverture glaciaire du Groenland (Ramanathan et Feng, 2008) (**Figure 6**).

Un réchauffement estimé de 2,4 °C est déjà engagé et 0,6 °C du réchauffement s'est déjà produit. La majorité du reste du réchauffement total devrait survenir au cours des 50 prochaines années et se prolonger jusqu'à la fin du 21^e siècle (Ramanathan et Feng, 2008). L'élévation du niveau des mers qui s'en suivra pourrait durer plusieurs siècles (Solomon et alii, 2009). Même les mesures d'atténuation du CO₂ les plus agressives envisagées jusqu'ici ne pourraient que limiter le réchauffement futur : elles ne parviendront pas à réduire le réchauffement déjà engagé de 2,4 °C (Ramanathan et Feng, 2008).

Comme les émissions de gaz à effet de serre sont accélérées depuis 2005 et qu'il est peu probable qu'elles cessent sur-le-champ, certains scientifiques suggèrent que les efforts d'adaptation au changement climatique prennent en compte un engagement pour un réchauffement de 4 °C (Parry et alii, 2009).

Plusieurs propositions nécessitant la prise de responsabilités différenciées au cours de la prochaine

décennie ont été avancées (Meinshausen et alii, 2009 ; Moore et MacCracken, 2009 ; Vaughan et alii, 2009 ; Elzen et Höhne, 2008 ; Mignon et alii, 2008 ; Ramanathan et Feng, 2008). Ces responsabilités devraient être acceptées par tous les gouvernements, le secteur privé et les organisations de la société civile. Des décisions immédiates, dont les effets se feraient sentir au cours des prochaines années, s'imposent.

PERSPECTIVES

Malgré la déception ressentie par beaucoup au terme de la conférence des Nations Unies sur le changement climatique à Copenhague, les choses ont progressé concernant les forêts, les océans et la fixation du carbone terrestre (voir les chapitres Gouvernance environnementale et Gestion des écosystèmes). Il sera aussi possible d'avancer avec une certaine assurance sur les projets et les programmes relatifs à l'adaptation au changement climatique. Les technologies et les méthodes de contrôle vont continuer d'être affinées afin de permettre un renforcement de la surveillance.

Les collaborations réussies telles que le Global Carbon Project et l'Année polaire internationale inspireront de nouveaux champs d'investigation. Le projet de réseau d'observation de l'acidification des océans pourrait coordonner l'étude et l'analyse qui sont nécessaires de toute urgence pour formuler une réponse gérée à cet aspect des concentrations supérieures de CO₂.

RÉFÉRENCES

- Bamber, J.L., Riva, R.E.M., Vermeersen, B.L.A. et LeBrocq, A.M. (2009). Reassessment of the Potential Sea-Level Rise from a Collapse of the West Antarctic Ice Sheet. *Science*, 324(5929), 901-903
- Barnett, T., Pierce, D., Hidalgo, H., Bonfils, C., Santer, B. et alii (2008). Human-induced changes in the hydrology of the western United States. *Science*, 319(5866), 1080-1083
- Battisti, D.S. et Naylor, R.L. (2009). Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science*, 323(5911), 240-244
- Bell, R.E. (2008). The role of subglacial water in ice-sheet mass balance. *Nature Geoscience*, 1(5), 297-304
- Betts, R., Sanderson, M. et Woodward, S. (2008). Effects of large-scale Amazon forest degradation on climate and air quality through fluxes of carbon dioxide, water, energy, mineral dust and isoprene. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363(1498), 1873-1880
- Brewer, P.G. et Peltzer, E.T. (2009). Limits to Marine Life. *Science*, 324(5925), 347-348
- Briner, J.P., Bini, A.C. et Anderson, R.S. (2009). Rapid early Holocene retreat of a Laurentide outlet glacier through an Arctic fjord. *Nature Geoscience*, 2, 496-499
- Broeke, M. van den, Bamber, J., Ettema, J., Rignot, E., Schrama, E. et alii (2009). Partitioning Recent Greenland Mass Loss. *Science*, 326(5763), 984-986
- Cazenave, A., Dominh, K., Guinehut, Berthier, E., Lovel, W. et alii (2009). 2003-2008. *Global and Planetary Change*, 65(1-2), 83-88
- Cohen, A.L., McCorkle, D.C., Putron, S., Gaetani, G.A. et Rose, K.A. (2009). Morphological and compositional changes in the skeletons of new coral recruits reared in acidified seawater. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 10, Q07005
- Cooley, S.R. et Doney, S.C. (2009). Anticipating ocean acidification's economic consequences for commercial fisheries. *Environmental Research Letters*, 4, 024007
- Cox, P.M., Harris, P.P., Huntingford, C., Betts, R.A., Collins, M. et alii (2008). Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature*, 453(7192), 212-215
- Deusch, C.A., Tewksbury, J.J., Huey, R.B., Sheldon, K.S., Ghalambor, C.K. et alii (2008). Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(18), 6668-6672
- Diffenbaugh, N.S., Pal, J.S., Giorgi, F. et Gao, X. (2007). Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot. *Geophysical Research Letters*, 34, L11706
- Domingues, C.M., Church, J.A., White, N.J., Gleckler, P.J., Wijffels, S.E. et alii (2008). Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise. *Nature*, 453, 1090-1093
- Doney, S.C. (2009). The consequences of human-driven ocean acidification for marine life. *F1000 Biology Reports*, 1, 36
- Doney, S.C., Fabry, V.J., Feely, R.A. et Klaypas, J.A. (2009). Ocean Acidification: The Other CO₂ Problem. *Annual Review of Marine Science*, 1, 169-192
- Eizen, M. et Höhne, N. (2008). Reductions of greenhouse gas emissions in Annex I and non-Annex I countries for meeting concentration stabilisation targets. *Climatic Change*, 91, 249-274
- EPOCA (2009). Ocean acidification observational network. European Project on Ocean Acidification. <http://oceanacidification.wordpress.com/2009/12/24/ocean-acidification-observational-network/>
- Fabry, V.J., Seibel, B.A., Feely, R.A. et Orr, J.C. (2008). Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of Marine Science*, 65(3), 414-432
- Feely, R.A., Fabry, V.J., Dickson, A., Gattuso, J.P., Björn, J. et alii (2009). An International Observational Network For Ocean Acidification, Oceans2009, community white paper
- Fletcher, C. (2009). Sea level by the end of the 21st century: A review. *Shore & Beach*, 77(4), 1-9
- Francis, J.A., Chan, W., Leathers, D.J., Miller, J.R. et Veron, D.E. (2009). Winter Northern Hemisphere weather patterns remember summer Arctic sea-ice extent. *Geophysical Research Letters*, 36, L07503
- Gao, X. et Giorgi, F. (2008). Increased aridity in the Mediterranean region under greenhouse gas forcing estimated from high resolution regional climate projections. *Global and Planetary Change*, 62(3-4), 195-209
- Gillett, N.P., Stone, D.A., Stott, P.A., Nowaza, T., Karpechko, A.Y., Hegerl, G.C., Wehner, M.F. et Jones, P.D. (2008a). Attribution of polar warming to human influence. *Nature Geoscience*, 1, 864-869
- Gillett, N.P., Stott, P.A. et Santer, B.D. (2008b). Attribution of cyclogenesis region sea surface temperature change to anthropogenic influence. *Geophysical Research Letters*, 35, L09707
- GISS (Goddard Institute for Space Studies)(2008) GISS Surface Temperature Analysis: Analysis Graphs and Plots. <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>
- Guinotte, J.M., Fabry, V.J. et Ann, N.Y. (2008). Ocean Acidification and Its Potential Effects on Marine Ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(4(1)), 320-342
- Haas, C., Pfaffling, A., Hendricks, S., Rabenstein, L., Etienne, J.L. et Rigor, I. (2008). Reduced ice thickness in Arctic Transpolar Drift favors rapid ice retreat. *Geophysical Research Letters*, 35, L17501
- Hill, J., Polasky, S., Nelson, E., Tilman, D., Huo, H. et alii (2009). Climate change and health costs of air emissions from biofuels and gasoline. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(6), 2077-2082
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P.J., Hooten, A.J., Steneck, R.S., Greenfield, P. et alii (2007). Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. *Science*, 318 (5857), 1737-1742
- Holland, D.M., Thomas, R.H., de Young, B., Ribergaard, M.H. et Lyberth, B. (2008). Acceleration of Jakobshavn Isbrae triggered by warm subsurface ocean waters. *Nature Geoscience*, 1(10), 659-664
- Hooijer, A., Page, S., Canadell, J.G., Silvius, M., Kwadijk, J. et alii (2009). Current and future CO₂ emissions from drained peatlands in Southeast Asia. *Biogeosciences-Discuss.*, 6(4), 7207-7230
- Howat, I.M., Smith, B.E., Joughin, I. et Scambos, T.A. (2008). Rates of Southeast Greenland Ice Volume Loss from Combined ICESat and ASTER Observations. *Geophysical Research Letters*, 35, L17505
- Iglesias, A., Garrote, L., Flores, F. et Moneo, M. (2007). Challenges to Manage the Risk of Water Scarcity and Climate Change in the Mediterranean. *Water Resources Management*, 21(5), 775-788
- IJS (2010) IAPC-JAXA Information System (IJS) Data of Sea Ice Extent. http://www.ijs.iarc.uaf.edu/en/home/seaice_extent.htm
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1990, 1995, 2001, 2007). All Working Group 1 Reports are available at the IPCC website, as well as Reports of Working Groups 2 and 3 and Supplementary Reports: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm
- IPY (2009). International Polar Year web site. www.antarctica.ac.uk/indepth/ipy/index.php
- Isaac, J. et Turton, S. (2009). Expansion of the tropics: Evidence and implications. http://www.jcu.edu.au/idc/groups/public/documents/media_release/jcpur_d_048932.pdf [Accessed 1 November 2009]
- Johanson, C.M. et Fu, Q. (2009). Hadley Cell Widening: Model Simulations versus Observations. *Journal of Climate*, 22(10), 2713-2725
- Jones, C., Lowe, J., Spencer, L. et Betts, R. (2009). Committed terrestrial ecosystem changes due to climate change. *Nature Geoscience*, 2, 484-486
- Karl, T.R., Mello, J.M. et Peterson, T.C. (2009). *Global Climate Change Impacts in the United States*. U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Washington, D.C.
- Kelly, A.E. et Goulden, M.L. (2008). Rapid shifts in plant distribution with recent climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(33), 11823-11826
- Khatiwala, S., Primeau, F. et Hall, T. (2009) Reconstruction of the history of anthropogenic CO₂ concentrations in the ocean. *Nature*, 462, 346-349
- Kurihara, H., Asai, T., Kato, S. et Ishimatsu, A. (2009). Effects of elevated CO₂ on early development in the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Aquatic Biology*, 4, 225-33
- Kurz, W.A., Dymond, C.C., Stinson, G., Pampley, G.J., Neilson, E.T., Carroll, A.L., Ebata, T. et Safranyik, L. (2008). Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature*, 452, 987-990
- Lawrence, D.M., Slater, A.G., Tomas, R.A., Holland, M.M. et Deser, C. (2009). Accelerated Arctic land warming and permafrost degradation during rapid sea ice loss. *Geophysical Research Letters*, 35, L11506
- Lenoir, J., Gegout, J.C., Marquet, P.A., de Ruffray, P. et Brisse, H. (2008). A Significant Upward Shift in Plant Species Optimum Elevation During the 20th Century. *Science*, 320(5884), 1768-1771
- Lenton, T.M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J.W., Lucht, W., Rahmstorf, S. et Schellnhuber, H.J. (2008). Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(6), 1786-1793
- Le Quére, C., Raupach, M.R., Canadell, J.G., Marland, G., Bopp, et alii. (2009). Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature Geoscience*, 2, 831-836
- Lobell, D., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P. et Naylor, R.L. (2008). Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030. *Science*, 319 (5863), 607-610
- Lu, J., Deser, C. et Reichler, T. (2009). Cause of the widening of the tropical belt since 1958. *Geophysical Research Letters*, 36, L03803
- Lumsden, S.E., Hourigan, T.F., Bruckner, A.W. et Dorr, G. (eds.) (2007). *The State of Deep Coral Ecosystems of the United States*. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Technical Memorandum CRCP-3
- MacDonald, G.M., Bennett, K.D., Jackson, S.T., Pardoqui, L., Smith, F.A., Smol, J.P. et Willis, K.J. (2008). Impacts of climate change on species, populations and communities: palaeobiogeographical insights and frontiers. *Progress in Physical Geography*, 32(2), 139-172
- Malhi, Y., Aragão, L., Galbraith, D., Huntingford, C., Fisher, R. et alii. (2009). Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(49), 20610-20615
- Malhi, Y., Roberts, J.T., Betts, R.A., Killeen, T.J., Li, W. et Nobre, C.A. (2008). Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, 319(5860), 169-172
- Mars, J.C. et Houseknecht, D.W. (2007). Quantitative remote sensing study indicates doubling of coastal erosion rate in past 50 yr along a segment of the Arctic coast of Alaska. *Geology*, 35(7), 583-586
- Maslank, J., Fowler, A.C., Stroeve, J., Drobot, S., Zwally, J., Yi, D. et Emery, W. (2007). A younger, thinner Arctic ice cover: Increased potential for rapid, extensive sea-ice loss. *Geophysical Research Letters*, 34, L24501
- Matthew, R. (2008). Threat Assessment. In: *Global Climate Change National Security Implications* (ed. Carolyn Pumphrey). The Strategic Studies Institute, U.S. Army War College
- Meier, M.F., Dyurgerov, M.B., Rick, U.K., O'Neil, S., Pfeffer, W.T. et alii (2007). Glaciers Dominate Eustatic Sea-Level Rise in the 21st Century. *Science*, 317(5841), 1064-1067
- Meinshausen, M., Meinshausen, N., Hare, W., Raper, S.C.B., Frieler, K., Knutti, R., Frame, D.J. et Allen, M.R. (2009). Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C. *Nature*, 458, 1158-1162
- Mignon, B.K., Socolow, R.H., Sarmiento, J.L. et Oppenheimer, M. (2008). Atmospheric stabilization and the timing of carbon mitigation. *Climatic Change*, 88, 251-265
- Milne, G.A., Gehrels, W.R., Hughes, C.W. et Tarnisiea, M.E. (2009). Identifying the causes of sea-level change. *Nature Geoscience*, 2, 471-478
- Moore, F. C. et MacCracken, M.C. (2009). Lifetime-leveraging. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 1(1), 42-62.
- Murphy, B.F. et Timbal, B. (2008). A review of recent climate variability and climate change in southeastern Australia. *International Journal of Climatology*, 28(7), 859-879
- NCDC (2009) National Climatic Data Center State of the Climate Report. <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/> [Accessed 1 November 2009]
- NOAA (2009) National Oceanic and Atmospheric Administration Climate Attribution. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/cesi/> [Accessed 28 October 2009]
- Norström, A., Nystrom, M., Lokrantz, J. et Folke, C. (2009). Alternative states of coral reefs: beyond coral-macroalgal phase shifts. *Marine Ecology Progress Series*, 376, 295-306
- NSIDC (2009). Arctic sea ice news and analysis. National Snow and Ice Data Center. <http://nsidc.org/arcticseaicenews>
- Parry, M., Lowe, J. et Hansen, C. (2009). Overshoot, adapt and recover. *Nature*, 458, 1102
- Pauchard, A., Kueffer, C., Dietz, H., Daehler, C.C., Alexander, J. et alii. (2009). Ain't no mountain high enough: plant invasions reaching new elevations. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(8), 479-486
- Paytan, A., Mackey, K.R.M., Chen, Y., Lima, I.D., Doney, S.C., Mahowald, N., Labiosa, R. et Post, A.F. (2009). Toxicity of atmospheric aerosols on marine phytoplankton. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(12), 4601-4605
- Perovich, D. et Richter-Menge, J. (2009) Loss of Sea Ice in the Arctic. *Annual Review of Marine Science*, 1, 417-441
- Pfeffer, W.T., Harper, J.T. et O'Neil, S. (2008). Kinematic constraints on glacier contributions to 21st century sea-level rise. *Science*, 323(5894), 1340-1343
- Phillips, O.L., Aragão, L.E., Lewis, S.L., Fisher, J.B., Lloyd, et alii. (2009). Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest. *Science*, 323(5919), 1344-1347
- Pritchard, H.D., Arthern, R., Vaughan, D. et Edwards, L. (2009) Extensive dynamic thinning on the margins of the Greenland and Antarctic ice sheets. *Nature*, 461, 961-975
- Ramanathan, V. et Feng, Y. (2008). On avoiding dangerous anthropogenic interference with the climate system: Formidable challenges ahead. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(38), 14245-14250
- Raupach, M.R., Marland, G., Cois, P., Le Quére, C., Canadell, J.G., Klepper, G. et Field, C.B. (2007). Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(24), 10268-10293
- Reichler, T. (2009) Changes in the Atmospheric Circulation as Indicator of Climate Change. In: *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth* (ed. T.M. Letcher). Elsevier, Amsterdam, 145-164
- Rignot, E., Bamber, J., van den Broeke, M., Davis, C., Li, Y. et alii (2008). Recent Antarctic ice mass loss from radar interferometry and regional climate modelling. *Nature Geoscience*, 1, 106-110
- Robock, A., Marquardt, A., Kravitz, B. et Stenchikov, G. (2009). The Benefits, Risks, and Costs of Stratospheric Geoengineering. *Geophysical Research Letters*, 36, L19703
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å, Chapin, F.S. et alii. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472-475.
- Rosenzweig, C., Karoly, D., Vicarelli, M., Neofotis, P., Wu, Q. et alii (2008). Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature*, 453, 353-357
- Sachs, J.P., Sachse, D., Smittenberg, P.H., Zhang, Z., Battisti, D.S. et Golubic, S. (2009). Southward movement of the Pacific intertropical convergence zone AD 1400-1850. *Nature Geoscience*, 2, 519-525
- Schuur, E.A.G., Bookhagen, J., Canadell, J.G., Euskirchen, E., Field, C.B. et alii. (2009). Vulnerability of permafrost carbon to climate change: implications for the global carbon cycle. *BioScience*, 58(8), 701-714
- Seager, R., Ting, M., Held, I., Kushnir, Y., Lu, J. et alii (2007). Model Projections of an Imminent Transition to a More Arid Climate in Southwestern North America. *Science*, 316(5828), 1181-1184
- Seidel, D.J., Fu, Q., Randel, W.J. et Reichler, T.J. (2008). Widening of the tropical belt in a changing climate. *Nature Geoscience*, 1, 21-24
- Serreze, M.C., Holland, M.M. et Stroeve, J.C. (2007). Perspectives on the Arctic's shrinking sea-ice cover. *Science*, 315(5818), 1533-1536
- Shindell, D.T. et Faluvegi, G. (2009). Climate response to regional radiative forcing during the twentieth century. *Nature Geoscience*, 2, 294-300
- Simmonds, I. et Keay, K. (2009). Extraordinary September Arctic sea ice reductions and their relationships with storm behavior over 1979-2008. *Geophysical Research Letters*, 36, L19715
- Smith, J.B., Schneider, S.H., Oppenheimer, M., Yohe, W., Hare, W. et alii (2009). Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) "reasons for concern". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(11), 4133-4137
- Solomon, S., Plattner, G.-K., Knutti, R. et Friedlingstein, P. (2009). Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(6), 1704-1709
- Steig, E.J., Schneider, D.P., Scott, D.R., Mann, M.E., Josefino, C.C., et Shindell, D.T. (2009). Warming of the Antarctic ice-sheet surface since the 1957 International Geophysical Year. *Nature*, 457, 459-462
- Steinacher, M., Joos, F., Frolicher, T., Plattner, G.-K. et Doney, S. (2009). Imminent ocean acidification in the Arctic projected with the NCAR global coupled carbon cycle-climate model. *Biogeosciences*, 6, 515-533
- Tarnocai, C., Canadell, J.G., Mazhitova, G., Schuur, E.A.G., Kuhry, P. et Zimov, S. (2009). Soil organic carbon stocks in the northern circumpolar permafrost region. *Global Biogeochemical Cycles*, 23, G02023
- Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S. et Mosseler, A. (2009). Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change. *Technical Series No. 43* Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal
- Vaughan, N.E., Lenton, T.M., Shepherd, J.G. (2009). Climate change mitigation. *Climatic Change*, 96(1-2), 29-43
- Velicogna, I. (2009). Increasing rates of ice mass loss from the Greenland and Antarctic ice sheets revealed by GRACE. *Geophysical Research Letters*, 36, L19503
- Veron, J., Hoegh-Guldberg, O., Lenton, T.M., Lough, J.M., Oubra, D.O. et alii (2009). The coral reef crisis. *Marine Pollution Bulletin*, 58(10), 1428-1436
- Walter, K.M., Smith, L.C. et Chapin III, F.S. (2007). Methane bubbling from northern lakes. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 365(1656), 1657-1676
- Westbrook, G.K., Thatcher, K.E., Rohling, E.J., Piotrowski, A.M., Pálke, H. et alii (2009). Escape of methane gas from the seabed along the West Spitsbergen continental margin. *Geophysical Research Letters*, 36, L15608
- Wetlands International (2009) What are wetlands? <http://www.wetlands.org/Whatarewetlands/tabid/202/Default.aspx>
- WMO (2009). 2000-2009, The Warmest Decade. World Meteorological Organization. http://www.wmo.int/pages/media/centre/press_releases/pr_809_en.html
- Wood, H.L., Spicar, J.I. et Widdicombe, S. (2009). Ocean acidification may increase calcification rates, but at a cost. *Proceedings of the Royal Society*, 275, 1767-1773
- Wootton, J.T., Pfister, C.A. et Forester, J.D. (2009). Dynamic patterns and ecological impacts of declining ocean pH in a high-resolution multi-year dataset. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(48), 18848-18853
- World Bank (2009). *World Development Report 2010: Development and Climate Change*. World Bank, Washington, D.C.

Catastrophes et conflits

En 2009, nous avons commencé à mieux comprendre la façon dont le changement climatique, la dégradation de l'environnement et la mauvaise gestion des ressources naturelles augmentent la vulnérabilité aux catastrophes et aux conflits et la manière dont la gestion durable des ressources naturelles peut réduire la vulnérabilité aux désastres et aux conflits tout en soutenant la consolidation de la paix.



Protections contre les eaux sur l'île de Padma Pakur, au Bangladesh. Des arbres ont été plantés entre le village et les eaux afin de prévenir l'érosion et de protéger contre le vent.

Photo : Espen Rasmussen/Panos

INTRODUCTION

Dans le domaine de la réduction des risques de catastrophe, le besoin de prendre en compte les effets du changement climatique, ainsi que les facteurs sous-jacents contribuant aux catastrophes, tels que la dégradation de l'écosystème, la pauvreté rurale, les moyens de subsistance vulnérables et une planification inadéquate ou absente de la croissance urbaine, est de plus en plus fréquemment reconnu. Lors de la session de juin 2009 de la Plate-forme mondiale pour la réduction des risques de catastrophe à Genève, le Secrétaire général des Nations Unies Ban Ki-moon a insisté sur les rapports entre réduction des risques de catastrophe, adaptation au changement climatique et développement. « La réduction des risques est un investissement », a déclaré le Secrétaire général à l'occasion de la Plate-forme mondiale. « C'est notre première ligne de défense pour l'adaptation au changement climatique. » En associant la mise en œuvre

du Cadre d'action de Hyogo de 2005 à 2015 avec un nouvel accord climatique à Copenhague, « nous pouvons gagner sur trois plans : la lutte contre la pauvreté, les catastrophes et le changement climatique » (Ban, 2009). Des représentants de 152 gouvernements et 135 ONG ont ainsi unanimement affirmé, lors de la session de la Plate-forme mondiale, l'urgence de s'attaquer aux facteurs sous-jacents responsables de l'augmentation des risques de catastrophe (PM/RRC, 2009).

Une attention accrue est également accordée au rôle des ressources naturelles dans la prévention des conflits et la consolidation de la paix. Des aspects importants de la sécurité humaine sont en effet directement liés à l'accès aux ressources naturelles et à la vulnérabilité au changement environnemental. Réciproquement, de nombreux changements environnementaux résultent directement ou indirectement d'activités et de conflits

humains. Carolyn McAskie, ancienne Secrétaire générale adjointe des Nations Unies, a déclaré que « les pays déchirés par la guerre et riches en ressources naturelles sont confrontés à des défis spécifiques en termes de stabilisation et de reconstruction de leur société, et ce malgré l'avantage apparent offert par la richesse en ressources naturelles en matière de développement et de consolidation de la paix. Lorsque l'exploitation des ressources a été à l'origine du conflit ou a permis d'entraver les efforts de paix, il est essentiel d'améliorer la capacité de gouvernance en termes de gestion des ressources naturelles pour pouvoir promouvoir la paix » (PNUE, 2009a). Ce point de vue est relayé dans le rapport du Secrétaire général sur la consolidation de la paix dans le sillage immédiat d'un conflit, qui appelle à un développement de l'expertise internationale et régionale en matière d'identification des risques et opportunités liés aux ressources naturelles afin de renforcer et de restaurer les structures de gouvernance (ONU, 2009a). Catastrophes et conflits détruisent les progrès effectués dans le domaine du développement et sapent les efforts de réalisation des Objectifs du millénaire pour le développement (OMD). La prévention des catastrophes et des conflits et la réduction de leur impact lorsqu'ils ne peuvent être évités constituent donc l'une des priorités internationales.

Pour diverses raisons, le rapport entre catastrophes et conflits, d'une part, et pauvreté, d'autre part, est particulièrement important dans les pays en voie de développement. Des risques de catastrophe massifs se concentrent ainsi dans ces pays, dont les habitants sont généralement les plus touchés par l'impact négatif du changement climatique. En outre, les risques de catastrophe et de conflit menacent les progrès actuels et futurs en matière de développement dans les pays dont la croissance économique dépend essentiellement de la gestion durable des ressources naturelles (SIPC, 2009a).

Des outils et méthodologies de réduction des risques de catastrophe et de soutien de la consolidation de la paix sont toujours en cours de développement. Utilisés à bon escient,

ils peuvent assurer d'énormes économies par rapport au coût des conflits et catastrophes, notamment en matière d'intervention humanitaire. Des mesures éprouvées de réduction des risques de catastrophe, telles que la gestion durable des ressources naturelles et l'utilisation efficace des systèmes d'alerte précoce, contribuent fréquemment à la consolidation de la paix, au développement et à l'adaptation au changement climatique.

CAUSES ENVIRONNEMENTALES DES RISQUES DE CATASTROPHE

Les catastrophes sont liées à l'environnement sous deux aspects importants. Tout d'abord, la dégradation de l'environnement entraîne fréquemment la perte des défenses naturelles et des services environnementaux, ce qui accroît la vulnérabilité des communautés aux dangers environnementaux et affaiblit leur résilience. Ensuite, le changement climatique devrait exacerber la dégradation de l'environnement et augmenter les risques de catastrophe, les tempêtes, inondations et sécheresses devenant plus fréquentes et plus intenses (Allison et alii, 2009 ; SIPC, 2009a).

La population rurale pauvre, qui dépend fortement des ressources naturelles, est la plus gravement touchée par la détérioration des conditions environnementales. La gestion durable des ressources naturelles peut réduire la vulnérabilité des communautés aux catastrophes en atténuant les conséquences négatives des dangers environnementaux et du changement climatique, tout en accroissant la résilience par la création de moyens de subsistance. Par exemple, à Madagascar, les avantages économiques inhérents à la protection des cultures contre les inondations annuelles par le biais de la reforestation sont évalués à quelque 100 000 \$ par an ; au Vietnam, la plantation et la protection de 12 000 hectares de mangrove ne coûtent que 1 million de dollars, mais permettent de réduire de plus de 7 millions de dollars le coût annuel d'entretien des digues maritimes (SIPC, 2009a). Les mangroves devraient contribuer à faire face aux conséquences du changement climatique, telles que la hausse du niveau des mers et les ondes de tempête, tout en stimulant l'emploi (PaCFA, 2009). Ainsi, la gestion durable des ressources naturelles réduit non seulement les risques de catastrophe, mais offre parallèlement des avantages considérables en termes d'adaptation au changement climatique et de réalisation des ODM.

Changement climatique : transformation des risques de catastrophe

En 2009, des progrès ont été réalisés dans l'association de la réduction des risques de catastrophe et de

l'adaptation au changement climatique par la gestion durable des ressources naturelles au niveau des stratégies internationales. Cinq ans après son adoption, le Cadre d'action de Hyogo appartient à un nombre croissant de déclarations et d'accords internationaux reconnaissant les rapports existant entre réduction des risques de catastrophe, lutte contre la pauvreté et adaptation au changement climatique (SIPC, 2009a). Des scientifiques et d'autres acteurs sont engagés dans l'évaluation des avantages relatifs de divers instruments financiers et la définition des meilleurs moyens de développer les initiatives locales de réduction des risques de catastrophe. Décideurs et scientifiques ont déjà conclu d'un commun accord que l'incorporation de la réduction des risques de catastrophe dans la planification du développement et de l'adaptation au changement climatique constituait un moyen efficace pour les gouvernements de réduire les risques de catastrophe.

Le quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), publié en 2007, a conclu que de nombreux changements observés dans les conditions extrêmes, tels qu'une fréquence accrue des fortes précipitations, ainsi qu'une prolongation et une intensification des sécheresses, sont conformes au réchauffement du système climatique (GIEC,

2007). Plus récemment, des recherches semblent confirmer que les changements sont survenus encore plus rapidement que ne le prévoyaient certains modèles climatiques, ce qui amène à penser que les changements futurs pourraient être plus graves que prévu. Davantage de précipitations très fortes sont annoncées dans les régions humides, de même que des sécheresses plus fréquentes et plus graves dans les régions sèches, en raison de l'intensification du cycle hydrologique mondial associé au changement climatique (Allison et alii, 2009 ; PNUE, 2009b).

Lors du sommet de l'Union africaine organisé à Kampala, en Ouganda, au mois d'octobre 2009, John Holmes, Sous-secrétaire général aux Affaires humanitaires et Coordonnateur des secours d'urgence aux Nations Unies, a observé que « le changement climatique augmentait déjà la fréquence et l'intensité des événements extrêmement dangereux, en particulier les inondations, les tempêtes et les sécheresses » (IRIN, 2009b). Il a souligné que l'Afrique avait été et devrait continuer à être disproportionnellement affectée par le changement climatique, lequel pourrait potentiellement être responsable de l'afflux de millions de nouveaux réfugiés et de personnes déplacées à l'intérieur de leur propre pays (PDI) au cours des 12 prochaines années. Selon la base de données internationale sur les catastrophes (EM-DAT



L'ouragan Ida a ravagé le Salvador en novembre 2009, entraînant la mort de 184 personnes, le déplacement de 14 000 autres et la destruction de 25 000 hectares de culture. A San Salvador, la capitale, les habitants constatent les dégâts infligés à leur maison.

Photo : Reuters/ William Bonilla

tenue par le Centre de recherche sur l'épidémiologie des désastres de l'Organisation mondiale de la santé, 99 % des 104 catastrophes qu'elle a recensées au niveau international en 2008 étaient liées au climat (EM-DAT, 2009 ; IRIN, 2009b).

L'impact de l'augmentation des catastrophes hydrométéorologiques résultant du changement climatique varie à l'échelle mondiale, en raison de la répartition inégale des risques. Les pays en voie de développement, où se concentrent la majeure partie des risques, continueront à être nettement plus touchés que le reste du monde (Peduzzi et Deichmann, 2009). Une étude sur la vulnérabilité aux tempêtes de 577 villes côtières dans 84 pays en voie de développement prévoyait que le changement climatique augmenterait le risque des ondes de tempête dans trois de ces villes en particulier : Manille (Philippines), Alexandrie (Égypte) et Lagos (Nigeria) (Dasgupta et alii, 2009).

Adaptation au changement climatique par la réduction des risques de catastrophe

Des synergies ont été identifiées entre la réduction des risques de catastrophe et l'adaptation au changement climatique dans un large éventail de cadres de travail et de méthodologies pratiques. Les variétés de cultures résistantes à la sécheresse et l'aquaculture hydroponique peuvent réduire la vulnérabilité des communautés aux dangers environnementaux tels que les sécheresses et les inondations. Des mesures de réduction des catastrophes

sont en cours d'introduction afin d'aider les communautés à s'adapter au changement climatique progressif, par exemple par l'amélioration de l'infrastructure de stockage d'eau dans les Andes et dans l'Himalaya, où les populations sont à la fois menacées d'inondation et de sécheresse par la fonte des glaciers (CCNUCC, 2008a) (**Encadré 1**). Néanmoins, pour accroître l'efficacité des mesures d'adaptation et de réduction des risques de catastrophe, il convient de les intégrer dans des politiques nationales par le biais d'initiatives de développement durable ; l'établissement de structures de gouvernance transparentes et efficaces ; la promotion de la coopération et du dialogue intersectoriels ; le développement des connaissances et outils existants et locaux ; l'intégration budgétaire et le renforcement des capacités institutionnelles (CCNUCC, 2008a).

Le GIEC prépare actuellement un rapport spécial sur les synergies entre la réduction des risques de catastrophe et l'adaptation au changement climatique. Ce rapport, *Gérer les risques d'événements extrêmes et des catastrophes pour améliorer l'adaptation au changement climatique*, sera publié fin 2011. Les résultats préliminaires indiquent que les catastrophes liées au climat constituent une source de risque majeure pour les populations pauvres des pays en voie de développement et que les pertes dues à ces catastrophes présentent une menace considérable pour la réalisation des OMD. Bien que les risques couverts par l'adaptation au changement climatique ne se limitent pas

aux catastrophes, la réduction des risques de catastrophe peut être considérée comme une première ligne de défense dans l'adaptation au changement climatique. Cela s'applique particulièrement aux pays les plus vulnérables d'Afrique et d'autres régions du monde, y compris les pays les moins développés (PMD) et les petits états insulaires en développement (PEID), qui souffrent de sécheresse, de désertification et d'inondation (Nassef, 2009). Une étude de définition pour le prochain rapport du GIEC souligne qu'une intégration réussie de l'adaptation au changement climatique, de la réduction des risques de catastrophe et du développement nécessitera une collaboration entre les experts de ces différents domaines, ainsi que de nouveaux systèmes permettant de partager les expériences et de mettre les connaissances en commun (Nassef, 2009).

Risques aggravés par les facteurs sociétaux et l'exposition géographique

Le risque de catastrophe mondial, qui augmente en raison de dangers environnementaux tels que les tempêtes et inondations, entraîne un risque de perte économique accrue. Le risque de perte économique lié aux catastrophes a augmenté beaucoup plus rapidement que le risque de mortalité lié aux catastrophes (SIPC, 2009a). Dans de nombreux cas, ces pertes sont liées au développement dans des régions vulnérables. Elles résultent fréquemment d'une mauvaise gestion de l'utilisation des sols ou d'un non-

Encadré 1 : Protection des ressources en eau alimentées par un glacier au Pérou dans un contexte de changement climatique

Une grande partie des glaciers de la cordillère des Andes sont déjà affectés par le changement climatique. Les régions de Cuzco et de l'Apurímac, dans le massif andin du Pérou, y sont particulièrement vulnérables. Les communautés luttent pour s'adapter à la variabilité du climat, à la sécheresse, au changement de qualité et de quantité des ressources en eau alimentées par le glacier et au froid extrême. Dans ces régions, 40 % de la population souffre de malnutrition, les besoins fondamentaux de plus de 75 % des habitants restant insatisfaits.

En 2009, les autorités régionales et nationales, les agences étrangères d'aide au développement et les ONG ont commencé à mettre en œuvre le Plan d'action sur les changements climatiques (PACC), qui intègre gestion de l'eau, prévention des catastrophes et sécurité alimentaire. Ce programme se base sur l'association des connaissances locales et scientifiques. Parmi les exemples de mesures d'adaptation adéquates, citons l'augmentation du nombre et de la taille des réserves d'eau afin de parer à la fonte du glacier, l'introduction de différentes variétés de cultures capables de résister à des conditions météorologiques extrêmes et l'intégration de mesures spécifiques de prévention des catastrophes dans l'aménagement régional. En outre, de nouveaux systèmes d'information conçus pour les utilisateurs régionaux et locaux sensibiliseront les communautés aux dangers climatiques et aux mesures prises pour y faire face.

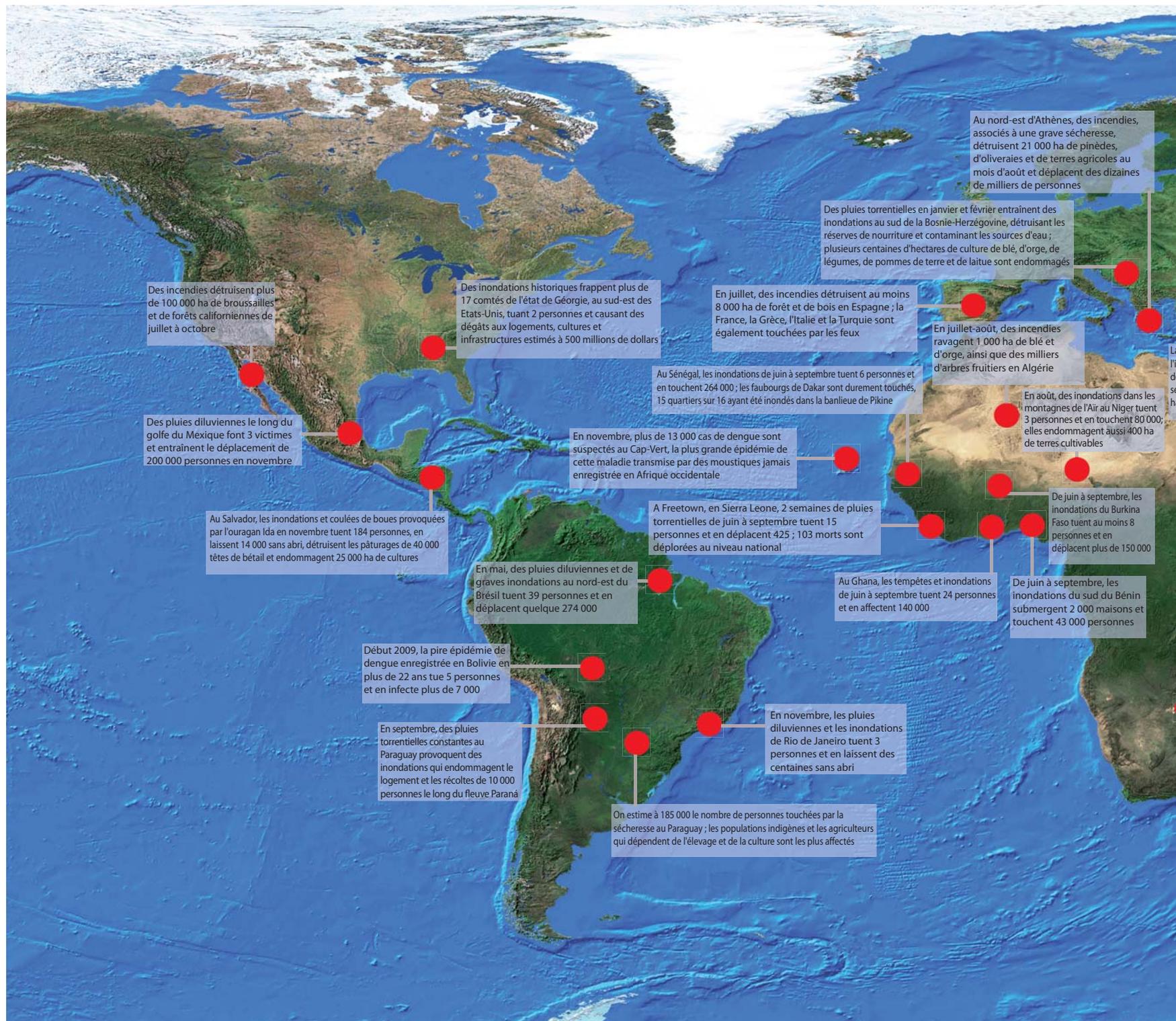
Sources : Salzmann et alii (2009), DDC (2009), Vergara, W. et alii (2009), Huggel et alii (2008)



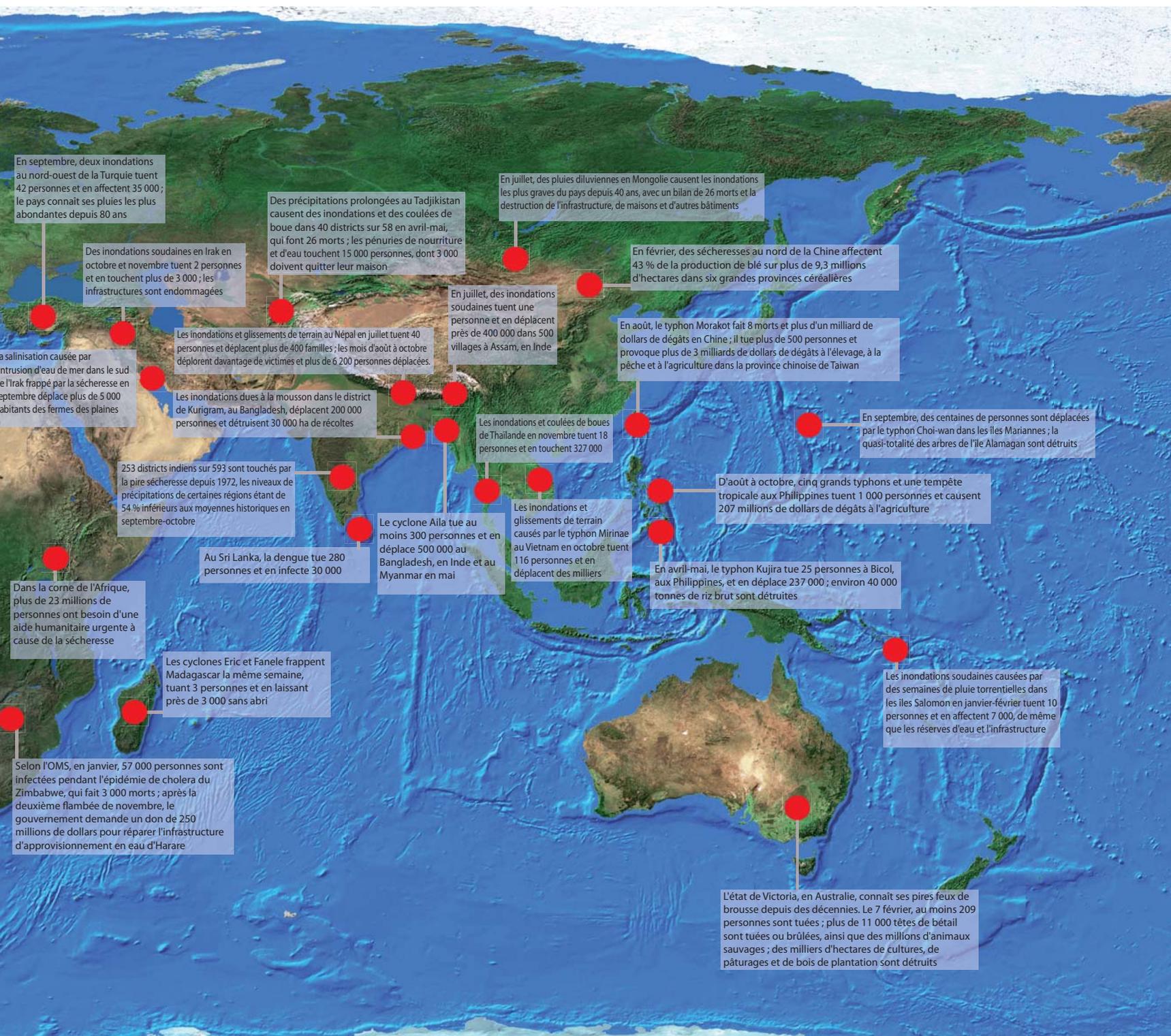
Glacier de Puca dans le massif andin du Pérou.

Photo : Steve Schmidt

Evénements environnementaux extrêmes liés à l'eau survenus en 2009



Sources : visitez le site <http://www.unep.org/yearbook/2010>



respect des règlements en matière de construction. Par exemple, le risque de glissement de terrain peut être accru lors de l'abattage des arbres à flanc de coteau (Bathurst et alii, 2009 ; Karsli et alii, 2009 ; Mafian et alii, 2009). Certains ont avancé qu'un manque de règlements appropriés en matière d'utilisation des sols avait alourdi le bilan meurtrier du glissement de terrain de la province chinoise de Taiwan, occasionné par le typhon Morakot en octobre 2009 (Yeh, 2009).

De nouvelles recherches ont tenté de quantifier les coûts économiques des catastrophes en termes de capital humain. Les résultats révèlent que leur impact sur les « actifs incorporels » pourrait être encore plus important pour les perspectives de croissance à long terme d'un pays que celui sur les actifs corporels. Certains types de catastrophes de faible intensité pourraient théoriquement être bénéfiques pour l'économie d'un pays si elles encourageaient l'investissement dans le capital humain (López, 2009). Néanmoins, une exposition répétée à des catastrophes, même de faible intensité, s'est révélée néfaste pour la résilience des communautés (SIPC, 2009a).

Une étude de la Banque mondiale a démontré que les catastrophes graves n'exerçaient jamais d'impact économique positif (Fomby et alii, 2009). Les événements extrêmes peuvent également annihiler les progrès effectués en matière de développement, les communautés les plus pauvres étant fréquemment exposées aux risques climatiques en raison de leur situation géographique, de leur exposition à des dangers environnementaux multiples et de leur situation socio-économique (Fomby et alii, 2009). Les femmes, qui constituent 67 % de la population pauvre mondiale, sont nettement plus touchées par les événements extrêmes. Au cours des inondations survenues en septembre et octobre 2009 aux Philippines, l'on estimait à 14 000 le nombre de femmes enceintes exposées à des conditions septiques dans des camps d'évacuation (IRIN, 2009a). L'une des raisons pour lesquelles les femmes ont un taux de mortalité plus important que les hommes en cas d'inondation est qu'elles sont moins nombreuses à savoir nager (CCNUCC, 2008a).

Les pays à revenu plus élevé et à l'économie plus développée enregistrent généralement des pertes et des taux de mortalité inférieurs, proportionnellement à leur richesse totale, que les pays à revenu plus faible (Peduzzi et Deichmann, 2009). Les pays à revenu élevé représentent 39 % des pays exposés aux cyclones tropicaux, mais seulement 1 % du risque de mortalité ; en revanche, les pays à revenu faible représentent 13 % des pays exposés à ces tempêtes et 81 % du risque de mortalité. Ainsi, bien que le Japon et les

Philippines enregistrent des cyclones de même ampleur, le taux de mortalité aux Philippines est susceptible d'être 17 fois plus élevé que celui du Japon, bien que la population exposée soit 1,4 fois supérieure à celle du Japon (SIPC, 2009a).

Le risque relativement plus élevé pour les communautés plus pauvres d'être touchées par les catastrophes est confirmé par l'analyse de l'évolution des catastrophes, reposant sur des dizaines d'années de données. L'examen de 8 866 « super-catastrophes » dans le monde entier a révélé que 0,26 % de ces événements représentaient 78,2 % des mortalités liées aux catastrophes, principalement dans les pays en voie de développement (SIPC, 2009a). Ces résultats s'inscrivent dans les autres analyses de l'évolution des catastrophes, qui indiquent que la mortalité élevée et les pertes économiques importantes sont concentrées géographiquement et associées à un nombre relativement restreint de catastrophes (Peduzzi et Deichmann, 2009). Néanmoins, une analyse de 38 ans de données émanant de 12 pays à revenu faible et intermédiaire (Argentine, Bolivie, Colombie, Costa Rica, Equateur, Inde (Etats d'Orissa et du Tamil Nadu), Iran, Mexique, Népal, Pérou, Sri Lanka et Venezuela) démontre que l'exposition des communautés vulnérables aux dangers d'intensité modérée liés au climat augmente rapidement (SIPC, 2009a).

CAUSES ENVIRONNEMENTALES DES CONFLITS ARMES

Bien que l'importance relative de la pénurie ou de l'abondance de ressources soit toujours matière à débat, 40 % des conflits armés intraétatiques se sont révélés être directement liés à une concurrence pour l'exploitation des ressources naturelles (Binningsbø et Rustad, 2009 ; HIIK, 2009). Ces dernières années, l'évolution de la nature des conflits armés (y compris des conflits intraétatiques autour des ressources naturelles dans des pays tels que l'Afghanistan, le Sri Lanka et le Soudan) a donné lieu à des situations d'urgence complexes plus fréquentes dans les zones de conflit (**Tableau 1**).

Un large éventail d'approches à la recherche, des modèles de théorie des jeux aux statistiques, ainsi que la micro- et la macroéconomie, se sont concentrées sur le rôle potentiel de divers facteurs dans les conflits et la consolidation de la paix. Malgré l'identification de lacunes et de biais dans les données empiriques comme dans les études de cas (Collier et alii, 2008), les chercheurs ont révélé de nouvelles tendances et sont sortis des sentiers battus en se focalisant sur les causes de conflit.

Pénurie de ressources et ressources de grande valeur

Bien que la plupart des risques que représente le

Tableau 1 : Conflits armés intraétatiques liés aux ressources

PAYS	DUREE	RESSOURCES
Afghanistan	1978 à 2001	Pierres précieuses, bois, opium
Angola	1975 à 2002	Pétrole, diamants
Birmanie	1949 à	Bois, étain, pierres précieuses, opium
Cambodge	1978 à 1997	Bois, pierres précieuses
Colombie	1984 à	Pétrole, or, coca, bois, émeraudes
Congo, Rép. dém. du	1996 à 1998, 1998 à 2003, 2003-à 2008	Cuivre, coltan, diamants, or, cobalt, bois, étain
Congo, Rép. du	1997 à	Pétrole
Côte d'Ivoire	2002 à 2007	Diamants, cacao, coton
Indonésie – Aceh	1975 à 2006	Bois, gaz naturel
Indonésie – Papouasie	1969 à	Cuivre, or, bois
Libéria	1989 à 2003	Bois, diamants, fer, huile de palme, cacao, café, caoutchouc, or
Népal	1996 à 2007	Yarsagumba (champignon médicinal)
Papouasie-Nouvelle-Guinée – Bougainville	1989 à 1998	Cuivre, or
Pérou	1980 à 1995	Coca
Sénégal – Casamance	1982 à	Bois, noix de cajou
Sierra Leone	1991 à 2000	Diamants, cacao, café
Somalie	1991 à	Poisson, charbon
Soudan	1983 à 2005	Pétrole

Le tableau indique la durée des conflits armés intraétatiques liés aux ressources entre 1975 et 2008. Ces 20 conflits sont survenus dans 18 pays et impliquaient des ressources telles que le pétrole, les récoltes, le bois, les pierres précieuses et les minerais.

Source : adaptation du PNUE (2009a)

changement environnemental pour la sécurité humaine aient été identifiés, ils n'ont pas été correctement pris en charge en raison d'une mauvaise gestion des ressources naturelles. L'ampleur de la consommation et de la pollution dans les sociétés modernes et gourmandes en énergie a ainsi contribué à la déforestation, à la destruction de la biodiversité, à l'épuisement des stocks de poisson, à la dégradation des terres, à la pénurie et à la pollution des eaux, à la dégradation des écosystèmes marins et côtiers, ainsi qu'à la contamination des personnes, des plantes et des animaux par des substances chimiques et radioactives (Matthew et alii, 2009).

Les sociétés enclines au conflit tendent à dépendre davantage des ressources naturelles lorsqu'une violence de bas niveau et une menace de conflit armé découragent l'investissement, par exemple dans la production (Lujala, 2009). Les sociétés caractérisées par une diversité des moyens de subsistance et une forte croissance économique sont moins susceptibles d'entrer en conflit (Brunnschweiler et Bulte, 2009).

Des études récentes confirment que la pénurie comme l'abondance des ressources peuvent mener à des conflits (Brunnschweiler et Bulte, 2009 ; Buhaug et alii, 2008). Les analyses statistiques des conflits intraétatiques et des types de ressources, tels que pierres précieuses, pétrole, gaz et cultures utilisées pour la fabrication de substances illicites, suggèrent que la localisation et le type de ressources au sein d'un pays influencent considérablement l'intensité et la durée des conflits. Même si les pierres précieuses, le pétrole ou le gaz ne sont pas extraits, leur seule présence dans une zone de conflit peut considérablement prolonger le conflit et pratiquement doubler le nombre de ses victimes. Lorsque les mêmes ressources se situent hors de la zone de conflit, leur impact sur le conflit s'est avéré négligeable (Lujala, 2010 ; Lujala, 2009).

Enfin, les recherches suggèrent que la répartition des ressources, en particulier leur pénurie, est l'un des nombreux facteurs pouvant générer des conflits intraétatiques (Matthew et alii, 2009 ; Buhaug et alii, 2008 ; Theisen, 2008). Le statut économique d'un ménage et son exposition à la violence peuvent expliquer sa participation à des conflits armés intraétatiques. En effet, plus un ménage est pauvre au début d'un conflit, plus ses membres sont susceptibles de soutenir une rébellion armée ; de même, plus le risque de violence est élevé, plus un ménage est susceptible de soutenir les rebelles (Justino, 2009). De nombreuses recherches empiriques ont établi un lien entre un faible revenu par habitant et une répartition inégale du pouvoir et des ressources, d'une part, et le conflit, d'autre part, en raison de l'influence de ces facteurs sur la volonté des personnes de soutenir, voire de rejoindre,

les factions rebelles (Justino, 2009).

La capacité de l'Etat et des institutions à gérer les ressources naturelles est intrinsèquement liée au risque de conflit. Cette capacité étant fréquemment mesurée à l'aide de données indirectes, les rapports entre capacité de gouvernance, ressources et conflits peuvent être difficiles à quantifier. Pour expliquer l'impact de la capacité de l'Etat et des processus politiques sur la paix à la suite du conflit, les experts se basent sur des facteurs tels que le PIB par habitant, le degré de démocratie d'un pays, le délai d'organisation d'élections après le conflit et le degré d'autonomie régionale accordé dans les constitutions (Polity IV, 2009 ; Collier et alii, 2008). Il est également difficile de séparer la capacité de l'Etat de la richesse en ressources naturelles, la capacité d'un Etat pouvant être affectée par sa base de ressources naturelles et les droits perçus sur l'extraction de ressources (Lujala, 2010). Ainsi, un état exportateur de pétrole doté d'un gouvernement central fort peut récolter la majeure partie des bénéfices de sa production pétrolière et les utiliser ensuite pour développer sa capacité institutionnelle.

Conservation, conflit et consolidation de la paix

Selon le contexte, les programmes de conservation peuvent déclencher, prolonger ou être interrompus par un conflit (Hammill et alii, 2009). Ils peuvent involontairement engendrer un conflit s'ils exacerbent les tensions sociales ou économiques émanant d'une marginalisation politique, de problèmes d'égalité ou de tensions ethniques. Les programmes de conservation peuvent aussi accidentellement prolonger un conflit en cours lorsqu'ils privent les personnes de leurs moyens de subsistance ou sont manipulés par les acteurs du conflit. A l'est de la République démocratique du Congo, par exemple, des groupes armés se sont révélés cibler les bénéficiaires des programmes de conservation recevant

des dédommagements sous forme d'espèces ou de nourriture. Les conflits violents interrompent fréquemment les activités de conservation existantes, tant directement qu'indirectement : directement par la destruction d'habitats, l'abattage d'animaux et la surexploitation des ressources naturelles et indirectement en rendant le travail de conservation trop dangereux et en éloignant les sources de financement (Hammill et alii, 2009).

Les activités de conservation peuvent être utilisées pour contribuer à la consolidation de la paix lorsqu'elles agissent sur les causes sous-jacentes de conflit ou lorsqu'elles restaurent les écosystèmes et renforcent les moyens de subsistance. L'on a suggéré que la présence de faibles ressources en eau pouvait prévenir les conflits, avec une gestion efficace. En effet, des pays liés par une interdépendance économique ont un intérêt dans leur avenir mutuel et sont encouragés à développer un certain niveau de confiance réciproque (Hammill et alii, 2009 ; Tir et Ackerman, 2009). Le changement climatique mondial et la pression démographique devant, selon les prévisions, augmenter la pression sur les ressources en eau au cours des prochaines décennies, les pays ont tout intérêt à gérer les conflits transfrontaliers liés à l'eau avant qu'ils ne dégénèrent (Tir et Ackerman, 2009 ; Buhaug et alii, 2008).

Les conflits armés, une menace pour l'environnement

Un domaine d'étude en pleine émergence, « l'écologie de guerre », se penche sur les répercussions complexes et en cascade des conflits sur l'environnement, des prémices du conflit à la reconstruction. Une meilleure compréhension de l'impact des activités liées au conflit sur les écosystèmes serait utile aux décideurs à divers égards. Par exemple, elle pourrait être utilisée pour incorporer des mesures de protection des écosystèmes dans la fabrication d'armes, l'entraînement au tir à

Encadré 2 : « L'écologisation » des opérations de consolidation de la paix



Photo : DOMP ONU

Le Département des opérations de maintien de la paix (DOMP) des Nations Unies a chargé des membres du personnel de son quartier général et de ses bases sur le terrain d'étudier des moyens de réduire son empreinte environnementale. En outre, reconnaissant le rôle protecteur des écosystèmes, les troupes de maintien de la paix de l'ONU ont entrepris des projets de reforestation et de restauration écologique. Elles ont également foré des puits d'eau, participé au nettoyage environnemental et sont intervenues dans les cas de catastrophes. Les opposants soulignent le fait que ces troupes, aux effectifs déjà insuffisants, éprouvent fréquemment des difficultés à protéger les civils et ne doivent pas être employés à des projets environnementaux. Les défenseurs de ces projets répliquent que ces activités renforcent les liens avec les communautés locales et contribuent à les protéger contre les dangers environnementaux.

Source : Gronewald (2009)

balles réelles, la planification tactique, le contrôle des mouvements des réfugiés et des personnes déplacées à l'intérieur de leur propre pays et les projets de remise en condition (Machlis et Hanson, 2008) (**Encadré 2**).

Les connaissances émanant de l'écologie de guerre peuvent également renforcer la mise en œuvre d'accords internationaux sur l'environnement pendant des conflits. En raison de lacunes dans les structures juridiques et de la faible application des instruments légaux de protection de l'environnement, les écosystèmes continuent à subir de lourds dommages pendant les conflits, qui pourraient avoir des conséquences durables sur les sociétés. La dégradation des services écosystémiques pendant les conflits est susceptible d'entraver la consolidation de la paix après le conflit et de retarder la reprise économique (PNUE, 2009b ; Machlis et Hanson, 2008).

Une analyse historique des tendances en matière de conflits suggère qu'une application plus stricte des lois environnementales internationales, une gouvernance plus efficace et un plaidoyer pour l'environnement sont indispensables. Au cours de la seconde moitié du 20^e siècle, plus de 90 % des conflits armés majeurs ont eu lieu dans des pays contenant des points névralgiques de biodiversité et plus de 80 % directement dans l'un de ces points névralgiques (Hanson et alii, 2009). Les points névralgiques, qui ne couvrent que 2,3 % de la surface du globe, sont sensibles aux altérations humaines et abritent au moins 50 % des plantes vasculaires connues et 42 % des espèces d'animaux vertébrés. Les conflits constituent donc une menace bien réelle pour la biodiversité (Hanson et alii, 2009).

Davantage de recherches sur l'application des lois environnementales internationales pendant les conflits armés sont nécessaires. En effet, la majeure partie des recherches existantes datent des années 1990, à la suite de la guerre du Golfe de 1990 à 1991. Depuis lors, l'évolution de la législation environnementale internationale et des tendances en matière de conflits, y compris l'augmentation du nombre de conflits intraétatiques, a rendu nécessaire une clarification de l'application de la législation environnementale internationale dans ce nouveau contexte (PNUE, 2009c). Par exemple, les articles 35(3) et 55(1) du Protocole additionnel I aux Conventions de Genève de 1949 (1977) interdisent de causer « des dommages étendus, durables et graves à l'environnement naturel », mais de nouvelles recherches ont démontré que cette interdiction avait échoué à protéger l'environnement pendant les conflits en raison de l'absence de limites nettes et strictes concernant les dommages environnementaux (PNUE, 2009c).

Environnement et consolidation de la paix

Les tendances émergentes en matière d'insécurité brouillent les limites entre conflit armé et crime, ainsi qu'entre sécurité communautaire, nationale et mondiale. De récentes analyses ont confirmé que les sociétés émergent d'un conflit sont plus enclines à la violence armée que les autres et plus susceptibles de souffrir d'une escalade de la violence armée dans les villes en urbanisation rapide. Les acteurs de l'Etat s'associent également plus fréquemment à des entreprises et groupes criminels non étatiques dans les sociétés en situation postconflictuelle (OCDE, 2009). Cela explique pourquoi quelque 40 % de ces sociétés retombent dans des situations de conflit dans les dix ans (Collier et alii, 2008). Les priorités à court terme en matière de gestion des ressources après un conflit sont susceptibles d'être différentes des objectifs en temps de paix. En effet, les délais sont généralement plus courts et les approches normalement adoptées en matière de gestion durable des ressources naturelles sont généralement impossibles à appliquer dans des situations postconflituelles (Bruch et alii, 2009). Les acteurs et sources de financement sont également différents. Par ailleurs, la capacité du gouvernement est généralement particulièrement faible. En raison de ces distinctions, les gouvernements, ONG et communautés touchées par le conflit doivent tenir compte des différences entre les activités de gestion des ressources en temps de paix et après un conflit pour assurer une gestion efficace des ressources naturelles pendant la consolidation de la paix (Bruch et alii, 2009).

Selon des recherches quantitatives sur le retour au conflit dans les sociétés en situation postconflictuelle, la paix repose fréquemment sur une présence militaire extérieure contribuant à une reprise économique progressive plutôt que sur des solutions purement politiques (Collier et alii, 2008). Dans de nombreux pays sortant d'un conflit, tels que le Libéria et la République centrafricaine, la croissance économique est indissociable de la gestion de ressources telles que le bois ou le pétrole. Les chercheurs ont également découvert une forte corrélation entre l'ampleur du risque après un conflit et l'importance des inégalités économiques au sein des communautés. Ils suggèrent donc d'attribuer les ressources de manière inversement proportionnelle aux revenus des personnes au terme d'un conflit (Collier et alii, 2008).

L'importance de l'équité en termes d'attribution et de propriété des ressources naturelles, ainsi que d'accès à ces dernières, pour la consolidation de la paix soulève diverses questions en matière de gouvernance et de transparence, notamment concernant la gestion des concessions officielles et informelles. Elle souligne également le rôle de la gestion durable des

ressources naturelles. Les conflits intraétatiques liés aux ressources naturelles sont deux fois plus susceptibles d'être réactivés que ceux dont l'origine est différente. Seuls 25 % des négociations de paix incorporent des mécanismes de gestion des ressources, bien que des études démontrent que les parties peuvent établir une paix plus solide si la gestion durable des ressources naturelles est explicitement abordée dans les accords négociés (Binningsbø et Rustad, 2009) (**Encadré 3**).

Le rôle joué par les ressources naturelles s'est révélé crucial pour l'efficacité de la consolidation de la paix et de la reprise après un conflit. Dans tous les contextes, elles peuvent intervenir à un ou plusieurs des niveaux suivants : négociation des accords de paix ; programmes de désarmement, de démobilisation et de réintégration (DDR) ; garantie de la subsistance des réfugiés et des PDI ; aide à la gouvernance, à la croissance économique et à la génération de revenus et établissement de rapports de confiance entre les anciens belligérants (Bruch et alii, 2009 ; Conca et alii, 2009). Le gouvernement du Rwanda, par exemple, s'est associé aux gouvernements de l'Ouganda et de la République démocratique du Congo pour lancer une entreprise d'écotourisme permettant aux vacanciers d'observer des gorilles de montagne dans des régions protégées de chaque pays. Ces états ont officialisé leur coopération en signant la Déclaration de Goma en 2005 et la Déclaration ministérielle de Rubavu pour la collaboration transfrontalière dans le Grand Virunga en 2008, démontrant ainsi que la gestion transfrontalière des ressources pouvait servir de véhicule à l'établissement de rapports de confiance régionaux (PNUE, 2009a).

Bien que la gestion coopérative des ressources puisse contribuer à la consolidation de la paix en renforçant la confiance entre les acteurs du conflit, cette approche est adoptée trop rarement ou sans disposer de la compréhension nécessaire (Binningsbø et Rustad, 2009 ; Conca et alii, 2009). La plupart des institutions juridiques et politiques n'ont pas encore incorporé la gestion durable des ressources naturelles dans leurs directives ou leurs stratégies opérationnelles. Malgré des décennies d'expérience dans l'utilisation des ressources naturelles pour promouvoir le désarmement, la démobilisation et la réintégration, le *Guide opérationnel* de DDR des Nations Unies n'aborde pas encore le sujet des ressources naturelles (Bruch et alii, 2009).

NOUVEAUX OUTILS DE GESTION DES CATASTROPHES ET CONFLITS

Pour limiter les risques de catastrophe et de conflit, les outils les plus prometteurs sont intégrés dans les

Encadré 3 : concessions forestières du Libéria



La gestion durable des ressources naturelles peut renforcer la gouvernance et la justice dans les sociétés en situation postconflictuelle. A la suite de la guerre civile du Libéria, le gouvernement provisoire national a établi le comité chargé de l'examen des concessions forestières (FCRC). Dans un effort de lutte contre la corruption, ses compétences ont été élargies au contrôle des concessions forestières passées. Résultat d'un partenariat entre le gouvernement, les organisations internationales et des ONG, le FCRC a été créé pour soutenir la restauration et la réforme du secteur forestier libérien et améliorer la coopération et la coordination des activités de promotion de la gestion forestière durable au Libéria. Le FCRC a été à l'avant-plan des efforts de réintroduction de la règle de droit au Libéria. Grâce à son succès initial, des experts l'ont érigé en modèle pour les contrôles d'autres concessions et d'activités similaires dans d'autres pays.

Source : Bruch et alii (2009)

Photo : The Goldman Environmental Prize/ Silas Siakor

structures politiques et institutionnelles existantes.

Plusieurs facteurs et approches communs à la réduction des risques de catastrophe, à la prévention des conflits et à la consolidation de la paix nécessitent une plus grande attention car ils constituent des exemples d'innovations politiques ou d'utilisations novatrices de nouvelles technologies et méthodologies.

Nouveaux paradigmes de gouvernance pour une gestion durable des ressources naturelles

Pour les pays, le moyen le plus efficace de réduire les risques de catastrophe consiste à incorporer une plate-forme de réduction des risques de catastrophe dans leurs stratégies de développement et d'adaptation au changement climatique (SIPC, 2009a). Cette plate-forme reconnaîtrait et exploiterait la capacité de systèmes naturels tels que les zones inondables, les forêts, les mangroves et les récifs coralliens de réduire les conséquences néfastes des dangers naturels. Bien que ces systèmes naturels ne puissent pas assurer une protection totale, ils jouent un rôle dans la réduction du nombre de victimes et des coûts économiques des catastrophes hydrométéorologiques. De nombreuses communautés indigènes comprennent le rapport entre un déclin de la qualité environnementale et leur vulnérabilité accrue aux désastres et utilisent donc la gestion de l'écosystème pour réduire leur risque de catastrophe. Il arrive fréquemment que ces rapports n'aient pas été rendus explicites dans l'aménagement local ou que les gouvernements n'aient pas efficacement contrôlé les causes de la dégradation de l'environnement (Randall et

alii, 2010 ; Mumba, 2008).

Une gouvernance équitable et transparente peut contribuer à prévenir les conflits et les instruments qui encouragent les acteurs de l'Etat dans ce sens méritent d'être examinés de plus près. Par exemple, l'Initiative pour la transparence des industries extractives (EITI) et le programme de certification du processus de Kimberley, adoptés pour empêcher le commerce de « diamants de la guerre », ont amélioré la transparence des gouvernements participants. La participation des gouvernements à ces programmes a permis l'implication accrue d'organisations de la société civile qui assurent une surveillance, contrôlent l'application des règles et identifient les opportunités d'amélioration de la conformité (Global Witness, 2009).

Les programmes tels que l'EITI engagent également les gouvernements participants (fréquemment ceux de pays sortant d'un conflit) à entreprendre des réformes et à appliquer la réglementation. Ces mesures peuvent apporter à leur tour d'autres avantages en renforçant les institutions de l'Etat et en soutenant les politiques de gestion durable. Ces programmes ne fonctionnent pas de manière isolée, mais ils démontrent comment la société civile et le secteur privé peuvent contribuer à la consolidation de la paix (CE, 2005 ; EITI, 2009a). Un exemple plus récent de consolidation de la paix intégrée est offert par le plan de la République centrafricaine, adopté en 2009, qui appelle à gérer les ressources naturelles au sein d'un environnement protégé de manière bénéfique pour les communautés locales. Ce plan incorpore une gestion saine et transparente de l'énergie et des ressources naturelles avec le soutien de la Commission

de consolidation de la paix des Nations Unies, qui assurera la formation et l'assistance technique et soutiendra les efforts du gouvernement visant à créer des agences de protection de l'environnement et à respecter les normes internationales telles que celles de l'EITI (ONU, 2009b).

Protection des moyens de subsistance vulnérables par la gestion du risque financier

Sécheresses, inondations et autres dangers liés au climat ont toujours présenté un défi pour les communautés dont la subsistance dépend de la gestion durable des ressources naturelles, notamment les agriculteurs, éleveurs ou pêcheurs. Il arrive fréquemment que les agriculteurs ne disposent pas des crédits nécessaires pour acheter de meilleurs engrais et semences, en particulier dans les pays en voie de développement, où les sécheresses ou les inondations peuvent provoquer de nombreuses carences. Les régimes d'assurance indexés (généralement basés sur les précipitations, les températures, l'humidité ou le rendement moyen des récoltes plutôt que sur les dégâts), ainsi que d'autres instruments de transfert des risques, peuvent protéger les agriculteurs contre ces pertes et renforcer les moyens de subsistance ruraux vulnérables dans le contexte du changement climatique (Hellmuth et alii, 2009).

Lors de la treizième Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) en décembre 2007, les pays ont adopté le Plan d'action de Bali, qui identifie le transfert et le partage des risques comme un moyen d'adaptation au changement climatique. Depuis lors, des études ont analysé des instruments

nouveaux et existants. Le transfert et le partage des risques peuvent réduire les risques de catastrophe dans certaines conditions, mais ces approches ne constituent qu'une partie de la solution. Leur efficacité est optimale lorsqu'elles sont associées à d'autres mesures de réduction des risques de catastrophe (Warner et alii, 2009 ; CCNUCC, 2008b).

Les instruments de transfert des risques sont limités. Ils n'empêchent pas la perte de vies ou d'actifs et ne constituent pas toujours l'outil de gestion des risques le plus approprié en termes de rentabilité ou d'accessibilité (Warner et alii, 2009). En outre, la plupart des experts s'accordent pour dire que l'expérience disponible à ce jour est encore insuffisante pour définir l'utilisation efficace des instruments de transfert des risques (Hellmuth et alii, 2009 ; Warner et alii, 2009).

En présence d'une coordination entre action publique et privée et d'un soutien international, l'assurance peut constituer un filet de sécurité pour les pays et populations vulnérables. Les systèmes de micro-assurance indexée ont étendu la couverture financière pour les risques de catastrophe aux ménages à faible revenu en Bolivie, en Ethiopie, en Inde, au Malawi, en Mongolie, au Soudan et au Vietnam (Hellmuth et alii, 2009 ; Warner et alii, 2009). L'expérience du premier pool international d'assurance de catastrophe indexée, le Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility (CCRIF), lancé en 2007, suggère que des améliorations substantielles dans la réduction des risques de catastrophe sont possibles, mais qu'il faudra du temps pour les réaliser et satisfaire les besoins des communautés locales. En 2009, les pays membres avaient versé plus de 21 millions de dollars au pool, auxquels s'ajoutaient 65 millions de dollars de pays donateurs (CCRIF, 2009 ; Christian Aid, 2009).

Nouvelles technologies pour des alertes précoces

De nouvelles recherches suggèrent que les systèmes d'alerte précoce pour les catastrophes et les conflits pourraient être plus efficaces en association (Meier, 2010). En particulier, les systèmes d'alerte précoce pour les conflits pourraient être améliorés s'ils incorporent des indicateurs environnementaux pertinents tels que la végétation et l'utilisation des ressources naturelles dans leurs rapports réguliers. En associant ces informations aux données existantes relatives aux pays de la Corne de l'Afrique, une étude pilote a révélé que la végétation existante était directement proportionnelle aux déclencheurs sociaux de conflit parmi les communautés pastorales (Meier, 2010).

De nouvelles recherches confirment l'utilité des systèmes d'information géographique (SIG) pour l'analyse et la prévention des conflits intra-étatiques dans les situations où les facteurs environnementaux,

socio-économiques et démographiques infranationaux jouent un rôle clé (Stephenne et alii, 2009). Les plateformes SIG sont particulièrement utiles pour l'intégration de jeux de données multidisciplinaires (Figure 1). Des concepts géographiques de base tels que la contiguïté, la proximité et la répartition dans l'espace et dans le temps commencent à être employés pour éclairer sous un nouveau jour les relations entre les causes de conflits. L'imagerie satellitaire, par exemple, peut être incorporée pour surveiller les activités illicites

génératrices de revenus, telles que l'extraction de diamants en Sierra Leone ou la récolte du bois au Libéria, ou les mouvements de population, la couverture végétale et l'évolution des grilles des précipitations (Stephenne et alii, 2009 ; PNUE, 2009d).

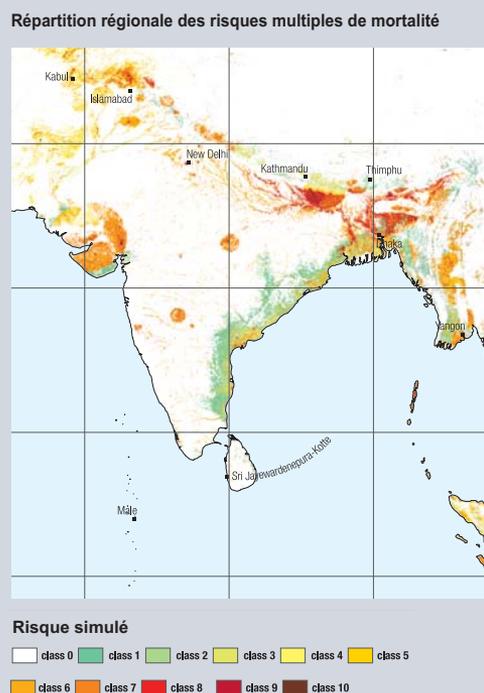
L'analyse SIG multi-risques peut également intégrer les données de modèles climatiques afin de développer des profils de risques futurs. Ces connaissances peuvent être employées pour informer la conception d'infrastructures clés ou aider les assureurs à évaluer le prix des risques à faible probabilité associés à un potentiel de perte élevé (CCNUCC, 2008b). De nouvelles études incorporant les prévisions de modèles climatiques dans un SIG ont signalé un risque de crises de la sécurité alimentaire dans les prochaines décennies (Battisti et Naylor, 2009 ; Liu et alii, 2008).

Malgré les propositions d'améliorations des systèmes d'alerte précoce, les spécialistes indiquent que ces outils doivent devenir plus conviviaux (Nerlander, 2009). La planification et la préparation en vue des catastrophes doivent tenir compte des exigences du public cible, de manière à ce que les signes avant-coureurs détectés par satellite, par les modèles informatiques ou par d'autres technologies soient reçus par les communautés concernées et fassent l'objet de mesures (FICR, 2009b) (Encadré 4). Citant l'échec des alertes précoces à assurer une intervention humanitaire adéquate pour les catastrophes à évolution lente, tant récentes, telles que la crise alimentaire du Niger de 2004 à 2006, que plus anciennes, telles que la sécheresse et la famine du Sahel de 1972 à 1974, certaines études suggèrent que les systèmes d'alerte précoce sont adaptés aux exigences des donateurs plutôt qu'aux besoins des communautés frappées par les catastrophes (Glenzer, 2007). En raison de failles structurelles inhérentes qui diluent et déplacent l'autorité et la responsabilité, les systèmes d'alerte précoce n'ont rencontré qu'un succès partiel. Il arrive trop fréquemment qu'une assistance insuffisante soit apportée trop tard pour aider les communautés touchées (Glenzer, 2007).

Utilisation du savoir local

Un développement prometteur des systèmes d'alerte précoce, ainsi que des approches à l'adaptation au changement climatique de manière générale, résulte de l'intégration de nouvelles technologies, des connaissances indigènes et des systèmes de communication. Les chercheurs qui soutiennent le projet d'Analyse multidisciplinaire de la mousson africaine collaborent avec des agriculteurs afin d'améliorer leur capacité d'adaptation en associant leur savoir avec de meilleurs modèles climatiques régionaux et en modifiant leurs stratégies agricoles (Mertz et alii, 2009). Une

Figure 1 : Utilisation du SIG pour la cartographie de risques multiples



Source : PNUE/GRID-Europe (2009)

Cette carte présente un gros plan de l'analyse des risques multiples de mortalité mondiaux produite par le PNUE pour le *Rapport d'évaluation mondial sur la réduction des risques de catastrophe*. Elle repose sur une modélisation SIG des risques d'inondations, de cyclones tropicaux, de glissements de terrain et de tremblements de terre, utilisant des données géophysiques et météorologiques et un modèle d'intersection de répartition de la population à une résolution de 1 x 1 km. Les catégories de risque simulées vont du risque le plus faible (classe 0) au plus élevé (classe 10). L'analyse de vulnérabilité englobe des paramètres tels que la gouvernance, la pauvreté et la croissance urbaine identifiés à l'aide d'une analyse statistique de régression multiple.

Sources : SIPC (2009a), Peduzzi et alii (2009)

Encadré 4 : Projet d'analyse et de cartographie des risques et menaces au Soudan

En juillet 2009, le projet d'analyse et de cartographie des risques et menaces du Programme des Nations Unies pour le développement (UNDP) a étendu ses activités à tous les Etats du sud du Soudan, après avoir établi des opérations avec succès dans l'ensemble de l'est du pays, ainsi que dans les zones de transition et au Darfour. Lancé en décembre 2007 avec un financement du Département britannique du développement international et du Bureau de prévention des crises et relèvement de l'UNDP, il soutient des projets de développement et de relèvement et a créé une unité de gestion des informations qui permet de partager les données entre les gouvernements des Etats, les ONG et 12 agences de l'ONU. A l'été 2009, les gouvernements des Etats du Soudan avaient commencé à utiliser les analyses du projet pour mettre en œuvre un aménagement basé sur des preuves et tenant compte des conflits dans les communautés frappées par la guerre et préalablement négligées. Voici quelques exemples d'initiatives : la stratégie de relèvement rapide pour le Darfour, la réduction des conflits liés aux ressources dans les trois zones et plusieurs mesures de réduction des risques de catastrophe dans l'est du Soudan et les trois zones.

Le projet d'analyse et de cartographie des risques et menaces invite les parties intéressées, à tous les niveaux de la société, à participer au processus de cartographie par le biais de groupes de discussion de deux jours aux niveaux communautaire et étatique. Les participants de ces groupes identifient et cartographient les principaux facteurs de crise dans leur région, tels que l'emplacement de ressources naturelles clés. Ensuite, l'équipe de projet rassemble les données en temps réel par téléphonie mobile et compare les changements aux cartes de référence initiales. Les cartes sont de nouveau partagées avec les participants initiaux et analysées pour détecter des schémas de conflit masqués pouvant servir de signes d'alerte précoce à l'avenir.

Sources : Meier (2009), PNUD (2009a), PNUD (2009b)



Les parties intéressées participent à un atelier du projet d'analyse et de cartographie des risques et menaces au Soudan.

Photo : PNUD

analyse de suivi du tremblement de terre et du tsunami qui ont frappé les îles Salomon en 2007 a révélé que la communauté indigène de Tapurai déplorait moins de victimes que les groupements d'immigrants, bien que la vague ait été plus puissante à Tapurai. Les meilleurs résultats de la communauté sont principalement dus au fait qu'elle a rapidement identifié des indicateurs naturels, tels que le retrait rapide des eaux du lagon, et a pris les mesures nécessaires. Les enfants de Tapurai étaient également plus nombreux à savoir nager (McAdoo et alii, 2009). La compréhension de l'environnement et les connaissances indigènes pourraient réduire les risques de catastrophe si elles étaient intégrées dans les systèmes d'alerte précoce pour les tsunamis (McAdoo et alii, 2009).

PERSPECTIVES

En 2009, nous avons beaucoup appris sur les causes environnementales des risques de conflits et de catastrophes, ainsi que sur la gestion ou la réduction de ces risques. Toutefois, plusieurs questions importantes se posent encore. Par exemple, quel est le coût environnemental des catastrophes ? Comment évaluer les dégâts causés aux écosystèmes par une catastrophe ? Il n'existe pas encore vraiment de consensus sur la façon de mesurer la valeur des services écosystémiques (voir le chapitre Gestion des écosystèmes). En raison de cette absence de consensus, il est difficile de répondre aux questions relatives au véritable coût environnemental des catastrophes ou à la valeur protectrice des services écosystémiques en termes de

réduction des risques de catastrophe.

La CCNUCC a établi une base de données de stratégies locales d'adaptation au changement climatique, ainsi qu'un recueil de méthodes et outils (CCNUCC, 2009a ; CCNUCC, 2008c). Il est encore nécessaire d'analyser des études de cas concrètes pour identifier les bonnes pratiques et déterminer les moyens les plus efficaces d'utilisation des ressources naturelles pour réduire les risques de catastrophe, prévenir les conflits et soutenir les processus de consolidation de la paix.

En 2010, la Banque mondiale publiera son rapport complet d'évaluation de l'économie de réduction des risques de catastrophe, qui devrait fournir un cadre normatif permettant de faciliter les tentatives de calcul des coûts des catastrophes et de la valeur des biens et services des écosystèmes. Parmi les problèmes cruciaux qui seront abordés, citons la vraie valeur des mesures « ex ante » de réduction des catastrophes, en comparaison avec les coûts d'intervention en cas de catastrophe. Ce rapport très attendu servira probablement d'outil politique et analytique pour les spécialistes et les gouvernements de pays en voie de développement à la recherche de fonds d'adaptation.

En décembre 2009, les Parties de la CCNUCC ont adopté l'Accord de Copenhague. En vertu de cet accord, les pays développés s'engagent à fournir 30 milliards de dollars entre 2010 et 2012, dont environ la moitié seront consacrés à des mesures d'adaptation dans les pays en voie

de développement les plus vulnérables (CCNUCC, 2009b).

A mesure que ces nouveaux fonds d'adaptation sont mis à disposition, les gouvernements commenceront à développer progressivement les initiatives pilotes et locales, dont la plupart luttent contre les dangers environnementaux existants par une gestion attentive des ressources naturelles.

En 2010, les intervenants humanitaires anticipent également la publication par le projet Sphère d'une édition révisée de son manuel *Charte humanitaire et normes minimales pour les interventions lors de catastrophes* pour la fourniture d'aide humanitaire aux communautés frappées par des catastrophes et des conflits (Sphère, 2010).

En 2010 également, le plus grand programme de recherche sur la gestion des ressources naturelles et la consolidation de la paix présentera ses conclusions. Basé sur 130 études de cas provenant de 40 pays sortant d'un conflit et coordonné par l'Environmental Law Institute, l'Union internationale pour la conservation de la nature, le PNUD, l'Institut international de recherche sur la paix d'Oslo et les universités McGill et de Tokyo, ce programme identifiera les bonnes pratiques et les enseignements tirés au cours des 40 dernières années en termes de minimisation des risques de conflit liés aux ressources naturelles et de maximisation des opportunités de subsistance et de développement économique.

RÉFÉRENCES

- Allison, I., Bindoff, N.L., Bindshadler, R.A., Cox, P.M., de Noblet, N., England, M.H., Francis, J.E., Gruber, N., Haywood, A.M., Karoly, D.J., Kaser, G., Le Quéré, C., Lenton, T.M., Mann, M.E., McNeil, B.I., Pitman, A.J., Rahmstorf, S., Rignot, E., Schellnhuber, H.J., Schneider, S.H., Sherwood, S.C., Somerville, R.C.J., Steffen, K., Stoa, E.J., Visbeck, M., et Weaver, A.J. (2009). *The Copenhagen Diagnosis: Updating the World on the Latest Climate Science*. The University of New South Wales Climate Change Research Centre (CCRC), Sydney
- Ban, K.-M. (2009). Video Message for the Second Global Platform for Disaster Risk Reduction, Geneva, 16 June 2009. United Nations, Geneva
- Bathurst, J.C., Bovolo, C.I., et Cisneros, F. (2009). Modelling the effect of forest cover on shallow landslides at river basin scale. *Ecological Engineering*, 9 July 2009
- Battisti, D.S. et Naylor, R.L. (2009). Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat. *Science*, 323(5911), 240-244
- Binns, H.M. et Rustad, S.A. (2009). *Resource Conflicts, Wealth Sharing and Postconflict Peace*. Background paper for the UNEP Expert Advisory Group on Environment, Conflict and Peacebuilding prepared by the Norwegian University of Science and Technology and the Centre for the Study of Civil War. International Peace Research Institute (PRIO), Oslo
- Bruch, C., Jensen, D., Nakayama, M., Urruh, J., Gruby, R. et Wolfrath, R. (2009). Post-Conflict Peace Building and Natural Resources. In: *Yearbook of International Environmental Law 2008* (eds. O.K. Fauchald, D. Hunter and W. X). Oxford University Press, UK
- Brunschweiler, C.N. et Bulte, E.H. (2009). Natural resources and violent conflict: resource abundance, dependence, and the onset of civil wars. *Oxford Economic Papers*, 61(2009), 651-674
- Buhaug, H., Gleditsch, N.P. et Theisen, O.M. (2008). *Implications of Climate Change for Armed Conflict*. Paper commissioned by the World Bank Group for the "Social Dimensions of Climate Change" workshop 5-6 March 2008. World Bank, Washington, D.C.
- CCRIF (2009). The Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility web site. <http://www.ccrif.org>
- Christian Aid (2009). *The potential role of the Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility (CCRIF) as a tool for Social Protection, Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation: A civil society perspective*. Christian Aid, London
- Collier, P., Hoeffler, A. et Söderbom, M. (2008). Post-Conflict Risks. *Journal of Peace Research*, 45(4), 461-478
- Conca, K., Dabelko, G.D. et Weintahl, E. (2009). *Opportunities for Environmental Peacebuilding*. Prepared for the UNEP Post-Conflict and Disaster Management Branch under a grant to the International Institute for Sustainable Development
- Dasgupta, S., Laplante, B., Murray, S. et Wheeler, D. (2009). *Climate Change and the Future Impacts of Storm-Surge Disasters in Developing Countries*. Working Paper 182. Center for Global Development, Washington, D.C.
- EC (2005). Council Regulation (EC) No. 2173/2005 of 20 December 2005 on the establishment of a FLEGT licensing scheme for imports of timber into the European Community. European Commission. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServLexUriServ.do?uri=CELEX:32005R2173:EN:HTML>
- ETI (2009a). *Case Study: Addressing the roots of Liberia's conflict through ETI*. Extractive Industries Transparency Initiative, Oslo
- EM-DAT (2009). The International Disaster Database, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – CRED. <http://www.emdat.be> (Data set of "Natural Disasters" in Africa during 2008)
- Fomby, T., Ikeda, Y. et Loyza, N. (2009). *The Growth Aftermath of Disasters*. Policy Research Working Paper 5002. The World Bank Development Research Group and Global Facility for Disaster Risk Reduction, Washington, D.C.
- Glenzer, K. (2007). *We Aren't the World: The Institutional Production of Partial Success*. In: *Niger 2005: Une catastrophe si naturelle* (eds. X. Crombé and J.-H. Jézéquel). Karthala, Paris
- Global Witness (2009). Credibility of Liberia's forestry reform programme at point of collapse, warns Global Witness. Global Witness, London. http://www.globalwitness.org/media_library_detail.php/808/en/credibility_of_liberias_forestry_reform_programme
- GPDRR (2009). Outcome Document: Chair's Summary of the Second Session: Global Platform for Disaster Risk Reduction, Geneva
- Gronewald, N. (2009). Environmental Demands Grow for U.N. Peacekeeping Troops. *The New York Times*, 11 August 2009. <http://www.nytimes.com/gwire/2009/08/11/11greenwire-environmental-demands-grow-for-un-peacekeeping-40327.html>
- Hamill, A., Crawford, A., Craig, R., Malpas, R. et Matthew, R. (2009). *Conflict-Sensitive Conservation*. International Institute for Sustainable Development (IISD), Winnipeg
- Hanson, T., Brooks, T.M., da Fonseca, G.A.B., Hoffmann, M., Lamoreux, J.F., Machlis, G., Mittermeier, C.G., Mittermeier, R.A. et Pilgrim, J.D. (2009). Warfare in Biodiversity Hotspots. *Conservation Biology*, 23(3), 578-587
- Hellmuth, M.E., Osgood, D.E., Hess, U., Moorhead, A. et Bhowani, H. (eds.) (2009). *Index insurance and climate risk: Prospects for development and disaster management*. International Research Institute for Climate and Society (IRI), Columbia University, New York
- HIK (2009). *Conflict Barometer 2009*. Heidelberg Institute for International Conflict Research, Heidelberg
- Huggel, C., Encinas, C., Eugster, S. et Robledo, C. (2008). The SDC climate change adaptation programme in Peru: disaster risk reduction with an integrative climate change context. In: *Proceedings of the International Disaster and Risk Conference (IDRC)*, Davos, Switzerland, 25-29 August 2008
- IFRC (2009a). Italy: Earthquake DREF Operation No. MDRIT001, Update No. 3, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva. http://www.reliefweb.int/rw/rwb.nsf/retreiveattchments?openagent&shortid=AMMF-75&LPU&file=Full_Report.pdf
- IFRC (2009b). *World Disasters Report: Focus on early warning, early action*. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007* (eds. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller). Cambridge University Press, UK
- IRIN (2009a). Philippines: Pregnant women vulnerable in evacuation camps. Integrated Regional Information Networks, UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. <http://www.irinnews.org/Report.aspx?ReportID=86545>
- IRIN (2009b). Africa: Climate change could worsen displacement. Integrated Regional Information Networks, UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. <http://www.irinnews.org/report.aspx?ReportID=86716>
- ISDR (2009a). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Risk and poverty in a changing climate*. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva
- Justino, P. (2009). Poverty and Violent Conflict: A Micro-Level Perspective on the Causes and Duration of Warfare. *Journal of Peace Research*, 46(3), 315-333
- Karsli, F., Atasoy, M., Yalcin, A., Reis, S., Demir, O. et Gokceoglu, C. (2009). Effects of land-use changes on landslides in a landslide-prone area (Ardesen, Rize, NE Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 156(1-4), 241-255
- Liu, J., Fritz, S., van Wesenbeeck, C.F.A., Fuchs, M., You, L., Obersteiner, M. et Yang, H. (2008). A spatially explicit assessment of current and future hotspots of hunger in Sub-Saharan Africa in the context of global change. *Global and Planetary Change*, 64(3-4), 222-235
- López, R. (2009). *Natural Disasters and the Dynamics of Intangible Assets*. Policy Research Working Paper 4874. The World Bank Sustainable Development Network, Global Facility for Disaster Reduction and Recovery Unit, Washington, D.C.
- Lujala, P. (2009). Deadly Conflict over Natural Resources: Gems, Petroleum, Drugs, and the Severity of Armed Civil Conflict. *Journal of Conflict Resolution*, 53(1), 50-71
- Lujala, P. (2010) (forthcoming). The spoils of nature: armed civil conflict and rebel access to natural resources. *Journal of Peace Research*
- Machlis, G.E. et Hanson, T. (2008). Warfare Ecology. *BioScience*, 58(8), 729-736
- Mafian, S., Huat, B.B.K. et Ghiasi, V. (2009). Evaluation on Root Theories and Root Strength Properties in Slope Stability. *European Journal of Scientific Research*, 30(4), 594-607
- Matthew, R.A., Barnett, J., McDonald, B. et O'Brien, K.L. (eds.) (2009). *Global Environmental Change and Human Security*. MIT Press, Cambridge, USA
- McAdoo, B.G., Moore, A. et Baumwoll, J. (2009). Indigenous knowledge and the near field population response during the 2007 Solomon Islands tsunami. *Natural Hazards*, 48(1), 73-82
- Meier, P. (2009). Threat and Risk Mapping and Analysis in Sudan. iRevolution. <http://revolution.wordpress.com/2009/04/09/threat-and-risk-mapping-analysis-in-sudan/>
- Meier, P. (2010) (forthcoming). Networking Disaster and Conflict Early Warning Systems for Environmental Security. Accepted for publication in *Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security—Threats, Challenges, Vulnerabilities and Risks* (eds. H.G. Brauch, J. Grin, P. Kamer-Moote, B. Chourou, P. Dunay and J. Birkmann). Hexagon Series on Human and Environmental Security and Peace, Vol. 5. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York
- Mertz, O., Bouzou, I., Diouf, A., Dabi, D., Nielsen, J. O., Diallo, D., Mbow, C., Ka, A. et Maiga, A. (2009). Perceptions of environmental stress by rural communities in the Sudan-Sahel zone of West Africa. *Earth and Environmental Science*, 6, 41302
- Mumba, M. (2008). Adapting to climate change and why it matters for local communities and biodiversity—the case of Lake Bogoria catchment in Kenya. *Policy Matters*, 16, 157-162.
- Nasset, Y. (2009). *UNFCCC Post-2012 Negotiations and the Nairobi Work Programme on Adaptation. Presentation for IPCC Working Group I Scoping Meeting: Possible Special Report on Extreme Events and Disasters: Managing the Risks*. International Panel on Climate Change, Geneva
- Nerland, L. (2009). *Climate Change and Health*. The Commission on Climate Change and Development, Stockholm
- OECD (2009). *Armed Violence Reduction*. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris
- PaCFA (2009). Fisheries and Aquaculture in our Changing Climate. Global Partnership for Climate, Fisheries and Aquaculture. <http://www.cnn.com/2009/WORLD/asiapcf/03/15/afghan.taibai.threat/index.html>
- Peduzzi, P., Dao, H., Herold, C. et Mouton, F. (2009) Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 1149-1159
- Peduzzi, P. et Deichmann, U. (2009). Global disaster risk: patterns, trends and drivers. In: *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Risk and poverty in a changing climate* (2009). United Nations, Geneva
- Polity IV Project (2009). Polity IV Individual Country Regime Trends, 1946-2008. <http://www.systemicpeace.org/polity/polity4.htm>
- Randall, J., Stolton, S. et Dolcemascolo, G. (2010) (forthcoming). Natural Security: Protected areas and hazard mitigation. In: *Arguments for Protected Areas: Multiple benefits for conservation and use* (eds. S. Stolton and N. Dudley). Earthscan, London
- Salzmann, N., Huggel, C., Calanca, P., Diaz, A., Jonas, T., Jurt, C., Konzelmann, T., Lagos, P., Rohrer, M., Silverio, W. et Zappa, M. (2009). Integrated assessment and adaptation to climate change impacts in the Peruvian Andes. *Advances in Geosciences*, 22, 35-39
- SDC (2009). Climate change in Peru: Maximising resilience to minimise vulnerability. Swiss Development Corporation, Berne. http://www.sdc.admin.ch/en/Home/Projects/Climate_change_in_Peru
- Sphere (2010). Humanitarian Charter and Minimum Standards in Disaster Response. www.sphereproject.org
- Stephenn, N., Burnley, C. et Ehrlich, D. (2009). Analyzing Spatial Drivers in Quantitative Conflict Studies: The Potential and Challenges of Geographic Information Systems. *International Studies Review*, 11, 502-522
- Theisen, O.M. (2008) Blood and Soil? Resource Scarcity and Internal Armed Conflict Revisited. *Journal of Peace Research*, 45(6), 801-818
- Tir, J. et Ackerman, J.T. (2009). Politics of Formalized River Cooperation. *Journal of Peace Research*, 46(5), 623-640
- UN (2009a). *Report of the Secretary-General on peacebuilding in the immediate aftermath of conflict*. United Nations General Assembly/Security Council, New York. Document A/63/881-S/2009/304
- UN (2009b). *Strategic framework for peacebuilding in the Central African Republic 2009-2011*. United Nations General Assembly/Peacebuilding Commission, New York. Document PBC/3/CAF/7
- UNDP (2009a). Enhancing National Capacities for Conflict Mapping, Analysis and Transformation in Sudan. United Nations Development Programme Sudan. <http://www.sd.undp.org/projects/dg13.htm>
- UNDP (2009b). Sudan Threat and Risk Mapping and Analysis Project. United Nations Development Programme Sudan. <http://www.sd.undp.org/projects/crisis/documents/TRMA%20brief%20June%202009.doc>
- UNEP (2009a). *From Conflict to Peacebuilding: The Role of Natural Resources and the Environment*. United Nations Environment Programme, Nairobi
- UNEP (2009b). *Climate Change Science Compendium 2009*. United Nations Environment Programme, Nairobi
- UNEP (2009c). *Protection of the Environment During Armed Conflict: An Inventory and Analysis of International Law*. United Nations Environment Programme, Nairobi
- UNEP (2009d). *Mapping Environment and Security Issues in the Southern Mediterranean Region*. United Nations Environment Programme, Geneva
- UNFCCC (2008a). *Integrating practices, tools and systems for climate risk assessment and management and strategies for disaster risk reduction into national policies and programmes. A technical paper prepared for the Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice (SBSTA) under the Nairobi work programme on impacts, vulnerability and adaptation to climate change*. FCCC/TP/2008/4. 21 November 2008. United Nations Framework Convention on Climate Change secretariat, Bonn
- UNFCCC (2008b). *Mechanisms to manage financial risks from direct impacts of climate change in developing countries. A technical paper prepared for the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention*. FCCC/TP/2008/9. 21 November 2008. United Nations Framework Convention on Climate Change secretariat, Bonn
- UNFCCC (2008c). Compendium on methods and tools to evaluate impacts of, and vulnerability and adaptation to, climate change. United Nations Framework Convention on Climate Change secretariat, Bonn. http://unfccc.int/adaptation/nairobi_work_programme/knowledge_resources_and_publications/items/2674.php
- UNFCCC (2009a). Database on local coping strategies. United Nations Framework Convention on Climate Change secretariat, Bonn. <http://maindb.unfccc.int/public/adaptation/>
- UNFCCC (2009b). Copenhagen Accord. United Nations Framework Convention on Climate Change secretariat, Bonn. http://unfccc.int/files/meetings/cop_15/application/pdf/cop15_cph_aup.pdf
- Vergara, W., Deeb, A., Valencia, A., Haeussling, S., Zarrar, A., Bradley, R. S. et Francou, B. (2009). The Potential Consequences of Rapid Glacier Retreat in the Northern Andes. In: *Assessing the Potential Consequences of Climate Destabilization in Latin America* (ed. W. Vergara). Latin America and Caribbean Region Sustainable Development Working Paper 32, The World Bank, Washington D.C.
- Warner, K., Ranger, N., Surminski, S., Arnold, M., Linnerooth-Bayer, J., Michel-Kerjan, E., Kovacs, P. et Henweiger, C. (2009). *Adaptation to Climate Change: Linking Disaster Risk Reduction and Insurance*. United Nations International Strategy for Disaster Reduction Secretariat, Geneva
- Yeh, B. (2009). Taiwan rethinks land use after killer Typhoon. Agence France-Presse, 24 November 2009. <http://reliefweb.int/rw/rwb.nsf/db900SID/SNAA-7Y58FL?OpenDocument&cr=3&emid=TC-2009-00150-TWN>

Rendement des ressources

L'étude des modèles de production et de consommation est la première étape d'une gestion visant à optimiser le rendement des ressources. Relever les défis associés à la croissance économique, à la destruction des habitats, à la pollution et au changement climatique passe par une meilleure compréhension des flux énergétiques et de matières.



Des matières premières précieuses extraites dans les mines du monde entier, y compris dans celles de la République démocratique du Congo, sont utilisées pour fabriquer des produits électroniques tels que les téléphones mobiles, les lecteurs MP3, les appareils photographiques numériques et les ordinateurs portables.

Photo : Mark Craemer

INTRODUCTION

Au cours de ces dernières décennies, il est devenu de plus en plus manifeste que notre société axée sur la croissance pouvait dépasser la capacité de charge de la planète. Au travers du développement de perspectives interdisciplinaires telles que la science de la durabilité et la science des systèmes terrestres, les effets environnementaux cumulés de l'activité humaine sont de plus en plus évidents.

La question fondamentale que le rendement des ressources tente de résoudre est celle de l'amélioration de la gestion de la production et de la consommation. Une gestion de mauvaise qualité contribue à l'épuisement des ressources naturelles, à la destruction des écosystèmes, à la pollution, au changement climatique et au gaspillage des matières. Le rendement des ressources s'appuie sur une variété d'approches afin de réduire l'utilisation des ressources et l'impact

environnemental par unité de production, de commerce ou de consommation sur le cycle de vie total des marchandises, des services et des matières.

Les écologistes industriels et les analystes de chaînes de matières premières examinent les processus à différents niveaux. Certains comparent la fourniture et la consommation de matières premières industrielles et l'accumulation de sous-produits au métabolisme des êtres vivants (Krausmann et alii, 2009). Les perspectives analytiques en constante évolution sur l'appropriation humaine de la production primaire nette (HANPP) et sur les empreintes écologiques des produits, des personnes, des entreprises, des pays et de notre civilisation dans son ensemble font également référence au concept de métabolisme de cette manière (Ayres 2008, Haberl et alii, 2008). Selon cette approche, la croissance du métabolisme industriel est un vecteur

majeur du changement environnemental mondial (Ayres et Warr, 2009).

UTILISATION DES MATIÈRES

Les principes conceptuels et méthodologiques de l'analyse des flux de matières (AFM) ont été utilisés comme fondement d'une évaluation récente de l'utilisation mondiale des matières depuis le début du 20^e siècle. Cette évaluation a permis de donner une estimation quantitative de l'extraction annuelle mondiale de biomasse, de combustibles fossiles, de minerais métalliques, de minéraux industriels et de minéraux de construction entre 1900 et 2005 (Krausmann et alii, 2009) (**Figure 1**).

Au cours du 20^e siècle, l'utilisation mondiale des matières a été multipliée par huit. La quantité annuelle totale de matières utilisées, tous types confondus, se chiffre actuellement à 60 milliards de tonnes métriques (ou gigatonnes, Gt). Aujourd'hui, le niveau de consommation anthropique de matières est comparable aux principaux flux de matières observés dans les écosystèmes du monde entier, tels que la quantité de biomasse produite chaque année par les plantes vertes (Krausmann et alii, 2009).

La période qui s'est écoulée depuis la fin de la seconde guerre mondiale s'est caractérisée par une croissance rapide des infrastructures physiques en réponse à la croissance économique et de la population. Durant cette période, on a observé un déclin relatif du recours à la biomasse renouvelable au profit des matières minérales. Aucune donnée ne permet d'affirmer que la croissance de l'utilisation des matières ralentit ou finira éventuellement par ralentir (Krausmann et alii, 2009).

Au 20^e siècle, l'utilisation mondiale de matières était liée en partie à la croissance de la population. Une large proportion de la consommation et de la production était imputable à la hausse, puis à la stabilisation, de l'utilisation de matières par personne dans les pays

Figure 1 : Utilisation mondiale des matières, de 1900 à 2005



Les graphiques indiquent, de haut en bas : le développement de l'utilisation des matières (CDM), CDM par personne, population et revenu ; production totale d'énergie primaire (TPES), taux métaboliques (utilisation des matières et TPES par personne et par an) ; intensité en matériaux et intensité énergétique ; et intensité des matériaux pour la biomasse et les matières minérales (vecteurs d'énergie fossile, minerais métalliques et minéraux industriels, minéraux de construction).

Source : adaptation de Krausmann et alii (2009)

développés. Toutefois, au cours des quelque dix dernières années, on a constaté une augmentation de l'utilisation des ressources par personne et de l'impact environnemental associé dans les économies émergentes telles que le Brésil, la Chine, l'Inde et le Mexique (SERI, 2008). Les pays moins développés commencent eux aussi à afficher des niveaux plus élevés d'utilisation des ressources par personne. Etant donné que le développement économique mondial se poursuit comme si de rien n'était et que l'on estime que la population mondiale va augmenter de 15 à 51 pour cent d'ici 2050, une autre forte hausse du niveau mondial d'extraction des matières est inéluctable (Krausmann et alii, 2009 ; ONU, 2009 ; SERI, 2008).

La gestion de l'offre et de la demande prévues vise à atteindre l'objectif de la consommation et de la production durables et des stratégies de rendement des ressources (Jackson, 2009). La réduction de l'utilisation mondiale de matières, ou tout au moins sa stabilisation au niveau actuel, passe par une forte réduction des taux métaboliques, surtout dans les pays industrialisés. Les gains réalisés grâce à une meilleure utilisation des matières pourraient contribuer à dissocier la croissance économique de l'utilisation des matières et de l'énergie, mais, à cet effet, des stratégies de gestion efficaces et innovatrices sont requises si l'on veut éviter les effets de rebond (Bleischwitz et alii, 2009 ; Jackson, 2009 ; Krausmann et alii, 2009 ; OECD, 2009 ; Lutz et alii, 2004) (**Encadré 1**).

QUESTIONS RELATIVES A L'ENERGIE

En particulier, la recherche se concentre sur les innovations susceptibles de réduire la consommation d'énergie et l'utilisation des combustibles fossiles

Encadré 1 : L'effet de rebond

En règle générale, les économies d'énergie escomptées grâce à l'amélioration du rendement sont estimées à l'aide de principes et modèles d'ingénierie élémentaires. Cependant, les économies d'énergie prévues sont rarement réalisées. Le fait que les améliorations du rendement énergétique incitent les consommateurs à utiliser plus les services que l'énergie aide à fournir est une explication généralement admise de ce phénomène. Par exemple, si l'éclairage est moins cher en raison de l'amélioration du rendement énergétique, il est probable que son utilisation s'intensifie. Cette réponse comportementale est ce que l'on désigne par l'expression « effet de rebond ». Bien que l'ampleur de l'effet de rebond varie grandement, il peut entraîner une augmentation de la consommation d'énergie ; c'est ce que l'on appelle le « retour de flamme ».

Source : Herring et Cleveland (2008), Sorrell (2007)

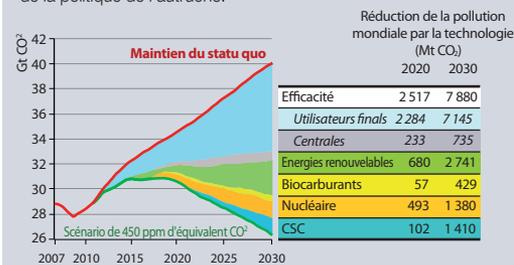
Encadré 2 : World Energy Outlook 2009

Le rapport *World Energy Outlook 2009* publié en novembre par l'Agence internationale de l'énergie (AIE) a entériné les prévisions antérieures selon lesquelles la consommation d'énergie continuera à suivre la production économique.

La crise économique et financière a eu un impact considérable sur le secteur de l'énergie dans le monde entier. En 2009, la baisse des émissions de CO₂ a atteint jusqu'à 3 pour cent. Le report des investissements dans les technologies polluantes est imputable à la crise. Alliée à une bonne gouvernance environnementale, cette interruption des investissements pourrait être mise à profit pour empêcher la construction ou l'expansion des installations fortement émettrices de carbone et répondre à la demande satisfaite par ces installations à l'aide de sources d'énergie renouvelables.

En dépit de l'impact de cette crise, on estime que les émissions de CO₂ liées à l'énergie augmenteront de 28,8 milliards de tonnes en 2007 à 34,5 milliards de tonnes en 2020 et 40,2 milliards en 2030 si l'on adopte la politique de l'autruche. Selon les prévisions, les émissions mondiales de gaz à effet de serre, y compris les émissions de CO₂ sans rapport avec l'énergie et les émissions de tous les autres gaz à effet de serre (GES), augmenteront d'un tiers entre 2005 et 2030, soit de 42,4 à 56,5 milliards de tonnes équivalent CO₂.

Le rapport *World Energy Outlook 2009* présente le scénario de 450 parties par million (ppm) d'équivalent CO₂, dans lequel il est supposé que 50 pour cent des réductions d'émissions prévues seront imputables aux économies réalisées par les utilisateurs finaux, avec des mesures supplémentaires telles que les accords sectoriels et les mesures nationales. Pour atteindre cet objectif, il faudrait que les émissions mondiales de CO₂ liées à l'énergie atteignent le maximum de 30,9 milliards de tonnes avant 2020, pour ensuite retomber à 26,4 milliards de tonnes en 2030. Au-delà des améliorations du rendement, cette prévision présuppose une mise à la réforme anticipée des vieilles centrales à charbon, dont le rendement est insuffisant, et leur remplacement par des centrales plus rentables, ce qui donnerait lieu à une réduction supplémentaire de 5 pour cent des émissions mondiales. L'intensification du déploiement des énergies renouvelables permettrait de réduire les émissions de CO₂ de 20 pour cent supplémentaires, tandis qu'une utilisation accrue des biocarburants dans le secteur des transports pourrait générer une baisse de 3 pour cent. Enfin, dans le scénario de 450 ppm de l'AIE, les installations de captage et de stockage du carbone (CSC) et l'énergie nucléaire représenteraient respectivement une baisse de 10 pour cent du niveau d'émissions de 2030, par rapport à celui qui serait enregistré en cas d'adoption de la politique de l'autruche.



Dans le scénario de 450 ppm équivalent CO₂, les mesures d'amélioration du rendement sont responsables des deux tiers de la réduction de 3,8 Gt de CO₂ en 2020, pratiquement un cinquième étant imputable aux énergies renouvelables.

Sources : GCP (2009), AIE (2009a), Le Quéré et alii (2009), AIE (2008)

(Encadré 2). La dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles est associée à des problèmes sanitaires et environnementaux, tels que les effets des fortes concentrations de dioxyde de carbone (CO₂) présentes dans l'atmosphère, qui provoquent des changements climatiques et l'acidification des océans.

Energie solaire

Le secteur des énergies renouvelables enregistrant la plus forte croissance au monde repose sur l'énergie solaire, la source d'énergie la plus abondante. Bientôt, le solaire pourra même faire concurrence au charbon (Carr, 2009). On distingue deux technologies solaires principales. La plus connue est basée sur les systèmes photovoltaïques, qui convertissent l'énergie solaire directement en électricité à des taux de rendement compris entre 12 et 18 pour cent. En comparaison, les plantes utilisent la lumière du soleil à un taux de rendement de 1 pour cent lors du processus naturel de photosynthèse (US DOE, 2009 ; Schiermeier et alii, 2008).

Il existe un autre système : l'énergie solaire concentrée. Dans ce cas, on utilise des miroirs pour concentrer le rayonnement solaire sur un fluide, qui génère de la vapeur afin d'alimenter des turbines classiques. Bien que l'énergie solaire concentrée soit la technologie la moins onéreuse et la plus prometteuse en tant qu'énergie de base et alternative aux centrales basées sur les combustibles fossiles, elle nécessite des quantités significatives d'eau de refroidissement. Ceci

constitue une contrainte dans les régions arides où les installations solaires sont généralement érigées (Banque mondiale, 2009a ; Schiermeier et alii, 2008).

Le sel fondu est utilisé comme fluide dans une technologie développée il y a plus de dix ans et abandonnée temporairement en raison du prix comparativement bas des combustibles fossiles. Les turbines sont entraînées par la vapeur produite à l'issue du chauffage du sel. Ce système nécessite seulement un dixième de la quantité d'eau de refroidissement requise par les autres types. Le sel emmagasine l'énergie solaire et continue d'alimenter la turbine la nuit ou lorsque le ciel est nuageux (AE, 2009 ; Woody, 2009).

Il est vrai que les grands miroirs qui focalisent le rayonnement solaire sont chers, mais un film réfléchissant mince et peu onéreux capable de réduire le poids et la masse de l'installation a été développé (The Economist, 2009).

Les systèmes solaires photovoltaïques peuvent être personnalisés pour répondre à des besoins spécifiques, se construisent rapidement et conviennent aussi bien à la production d'électricité réinjectée dans le réseau de distribution qu'aux applications hors réseau. En particulier, les chauffe-eau solaires peuvent réduire la consommation d'électricité ou de gaz de réseau utilisé à cette fin. La Chine domine le marché des chauffe-eau solaires et produit plus de 60 pour cent de la capacité mondiale (REN21, 2009 ; Banque mondiale 2009b).

Energie hydraulique

Avec une capacité de production globale de 800 GW, les centrales hydroélectriques fournissent pratiquement 20 pour cent de la quantité totale d'électricité consommée dans le monde. A grande échelle, les installations d'énergie hydraulique peuvent répondre rapidement aux variations de la demande, quelles que soient les conditions météorologiques, et sont utilisées en appoint des autres sources d'énergie renouvelables. L'un des avantages de ce type d'installations est qu'elles sont capables de stocker l'énergie produite ailleurs en pompant l'eau en amont pour l'amener dans des réservoirs lorsque l'énergie est abondante. L'eau de ces réservoirs peut servir à l'irrigation et à la maîtrise des crues (Schiermeier et alii, 2008).

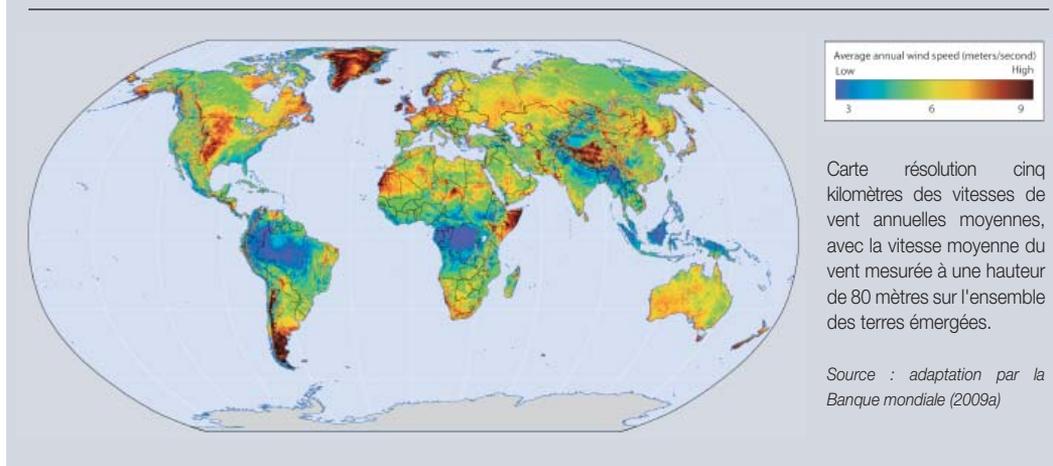
L'énergie hydraulique à petite échelle est de plus en plus couramment utilisée pour alimenter les réseaux locaux. En Chine, elle s'est répandue rapidement pour plusieurs raisons : courtes périodes de construction ; impacts limités en termes de déplacement des populations et de dommages environnementaux ; courtes distances pour atteindre les usagers ; faible coût des lignes de transport et faibles pertes d'électricité. En 2007, la Chine a construit 45 317 petites centrales hydrauliques, dont la puissance installée totale représentait environ 32 pour cent de la puissance hydraulique du pays construite cette année-là. Ceci équivaut approximativement à la puissance hydraulique installée de toutes les petites centrales hydrauliques du reste du monde (REN21, 2009).

Les grands barrages et réservoirs nécessitent une planification et une construction fastidieuses et onéreuses, ainsi que le déplacement des populations qui vivent dans la surface de retenue. Au cours de ces dernières décennies, des millions de personnes en Chine et en Inde ont été relogées pour laisser la place à de grands barrages (Schiermeier et alii, 2008 ; CMB 2000). Les barrages ont un impact sur les écosystèmes en amont comme en aval. On peut citer notamment le fait qu'ils empêchent la migration des poissons et perturbent la distribution des sédiments aux zones agricoles et aux deltas (voir le chapitre Gestion des écosystèmes). Dans certaines régions tropicales et subtropicales, la biomasse qui se décompose dans les réservoirs libère du méthane et du CO₂ en quantités pratiquement équivalentes aux émissions de carbone évitées en ne brûlant pas de combustibles fossiles. De nombreuses grandes centrales hydrauliques sont menacées par les effets du changement climatique, y compris par une réduction du débit des eaux de fonte et par les inondations dues aux débâcles glaciaires (Banque mondiale, 2009a ; Schiermeier et alii, 2008).



En Espagne, une nouvelle centrale solaire baptisée PS20 est en cours de construction près de la centrale PS10. Du haut de ses 115 mètres, la centrale PS10 est alimentée par 624 héliostats. La tour de la centrale PS20 s'élève à 165 mètres et est alimentée par 1 255 héliostats. La centrale PS20 a été conçue pour produire deux fois plus d'énergie que sa voisine de 11 MW. Bien qu'il ne s'agisse pas des premières centrales à tour, ce sont les premières d'une telle envergure. *Photo : Abengoa Solar*

Figure 2 : Vitesses annuelles moyennes du vent



Energie éolienne

L'énergie éolienne est renouvelable, largement répandue et peu polluante. En 2000, le potentiel énergétique éolien mondial a été estimé à 72 000 GW (maximum), soit pratiquement cinq fois la demande totale en énergie, avec des régimes de vent optimaux à 80 mètres et une vitesse du vent de 6,9 mètres par seconde (**Figure 2**). Il est probable qu'on soit en mesure de capter jusqu'à 20 pour cent de ce potentiel énergétique dans l'avenir, ce qui représenterait 15 000 GW (Archer et Jacobson, 2005).

Au cours de ces cinq dernières années, la capacité mondiale de production d'énergie éolienne installée a augmenté à hauteur de 25 pour cent par an. Elle a atteint 120 GW en 2008. En Europe, la capacité de production d'énergie éolienne installée cette année-là a dépassé celle de toutes les autres technologies de production d'électricité (Banque mondiale, 2009a). Aux Etats-Unis, la puissance installée a été estimée à 31 GW fin 2009. De plus, la capacité de production d'énergie éolienne qui y est prévue dépasse la capacité combinée des centrales à charbon et à gaz (AWEA, 2009 ; Schiermeier et alii, 2008).

En Chine, où les programmes d'énergie éolienne sont les plus ambitieux au monde, la puissance installée a pratiquement doublé chaque année depuis 2004. La Chine est le quatrième plus grand producteur d'énergie éolienne après les Etats-Unis, l'Allemagne et l'Espagne, avec une puissance qui, selon les estimations, devrait atteindre environ 20 GW d'ici fin 2010. Elle s'est fixé pour objectif une puissance installée de 100 GW d'ici 2020. En supposant un prix au kilowattheure garanti dans le temps pour la fourniture d'électricité au réseau sur une période initiale moyenne convenue de dix ans, l'électricité produite par l'énergie éolienne pourrait remplacer 23 pour cent de

celle produite par les centrales au charbon chinoises (Carr, 2009 ; McElroy et alii, 2009 ; Banque mondiale, 2009b).

Bioénergie

A l'orée du 20^e siècle, les arbres et l'herbe étaient les sources d'énergie les plus utilisées par l'humanité. Aujourd'hui, la biomasse est toujours la deuxième plus importante source d'énergie, surpassée uniquement par les combustibles fossiles. Le bois, les résidus de cultures et d'autres formes de biomasse sont des sources d'énergie significatives pour plus de deux milliards de personnes. Bien que la biomasse soit principalement brûlée dans des feux et des cuisinières, ces dernières années elle a aussi été utilisée comme source de production d'électricité dans les centrales électrocologènes (Hackstock, 2008).

La combustion avancée du bois, qui permet à la Scandinavie de satisfaire ses besoins énergétiques depuis des décennies, se développe en Autriche, en France, en Allemagne et dans d'autres pays européens. En utilisant du bois massif comme combustible dans les installations de combustion avancée, il est possible de couvrir une proportion significative des besoins en chaleur et en électricité à partir de ressources renouvelables cultivées localement. La combustion de bois à des fins énergétiques à l'échelle d'une communauté peut conférer une valeur financière aux forêts locales, assister la restauration et l'amélioration des forêts au travers de la récolte sélective et créer des emplois locaux. Une surveillance minutieuse de la durabilité de l'utilisation des forêts locales est néanmoins nécessaire pour assurer que les extrants énergétiques forestiers enrichissent les écosystèmes au lieu de les épuiser. Dans l'idéal, les avancées techniques dans le domaine de l'énergie provenant du bois devraient permettre

de contrôler la combustion et la pollution. Grâce à l'excellent contrôle de la combustion et à la faible teneur en polluants du bois par rapport à la plupart des combustibles fossiles, le niveau de polluants émis par les milliers d'installations de combustion avancée du bois autrichiennes est minimal (Richter et alii, 2009 ; Hackstock, 2008).

On estime la capacité de production d'énergie de la biomasse à pas moins de 40 GW. Grâce à la biomasse, les centrales de cogénération peuvent capturer 85 à 90 pour cent de l'énergie disponible, en exploitant non seulement l'énergie électrique produite, mais aussi la chaleur résiduelle (Schiermeier et alii, 2008).

Le plus grand problème auquel sont confrontées les nouvelles centrales de production d'énergie par biomasse est de trouver une source de produits de départ locale, abondante et fiable. Pour maintenir les coûts de transport à un niveau bas, les centrales doivent pouvoir s'approvisionner localement en combustibles et doivent donc être relativement petites, ce qui augmente le coût d'investissement par mégawatt (Banque mondiale, 2009a). Desservir les réseaux locaux peut aider à assurer leur sécurité, ainsi qu'à contrôler localement l'approvisionnement en énergie.

L'utilisation des déchets et des résidus risque d'éliminer le carbone qui enrichirait normalement le sol. Par ailleurs, les populations pauvres qui, par tradition, détiennent des droits vis-à-vis des résidus, pourraient se retrouver privées d'une source importante de combustibles, ce qui ne leur laisserait d'autre alternative que de détruire les terres boisées (PNUE, 2008). A grande échelle, la dépendance vis-à-vis de la bioénergie peut conduire à une extraction excessive des ressources en eau ou à des infestations par insectes. A cela viennent s'ajouter les effets climatiques généralement associés aux changements dans l'exploitation des sols. Par exemple, le défrichage à des fins de cultures énergétiques peut produire une telle quantité d'émissions de gaz à effet de serre qu'il serait difficile de compenser ces émissions par l'utilisation des cultures en question comme biocarburants. Là encore, il semblerait que l'utilisation optimale des sources d'énergie verte soit dans les systèmes à petite échelle répondant à des besoins locaux (Schiermeier et alii, 2008 ; PNUE, 2008).

La production et la fourniture de grandes quantités de biocarburants à l'échelle mondiale sont largement reconnues comme solution de remplacement à l'utilisation des carburants fossiles dans les transports (**Encadré 3**). En 2009, un certain nombre de rapports sur les biocarburants ont néanmoins mis en garde contre le

soutien excessivement enthousiaste dont jouit cette source d'énergie. Parmi ceux-ci, un rapport complet, basé sur une évaluation comparativement rapide réalisée par des scientifiques travaillant pour le Comité scientifique sur les

Encadré 3 : Un changement radical dans les transports

La croissance de la production de biocarburants est alimentée par la nécessité de réduire les émissions de GES dans le secteur des transports. Environ 19 pour cent de la consommation mondiale d'énergie et 23 pour cent des émissions mondiales de CO₂ liées à l'énergie sont imputables aux transports. Si l'on se base sur les tendances actuelles, la consommation énergétique et les émissions de CO₂ du secteur des transports devraient augmenter de 50 pour cent d'ici 2030 et de plus de 80 pour cent d'ici 2050.

Une grande étude sur les transports réalisée par l'Agence internationale de l'énergie (AIE) et publiée en 2009 décrit les voies que nous pouvons emprunter à l'horizon 2050 suivant différents scénarios. Cette étude indique que si la transition vers des transports plus efficaces commençait dès aujourd'hui, de réels progrès pourraient être réalisés au cours des quatre prochaines décennies en termes de réduction de la croissance des émissions. Néanmoins, pour réduire les émissions de CO₂ des transports de manière significative, des changements radicaux sont nécessaires.

L'étude de l'AIE révèle qu'en adoptant les modes de déplacement les plus efficaces, en améliorant la consommation de carburant des véhicules de 50 pour cent au moyen de technologies incrémentales rentables et en remplaçant les carburants actuels par l'électricité, l'hydrogène et les biocarburants avancés, il serait possible de réduire la croissance des émissions en CO₂ dues aux transports jusqu'à des niveaux bien inférieurs aux niveaux actuels d'ici 2050, à un coût moins important que ce qui a été supposé. Un tel scénario nécessiterait la mise en œuvre de politiques gouvernementales robustes.

Les réductions qu'un tel scénario permettrait d'obtenir supposent une croissance lente des déplacements motorisés et la stabilisation des niveaux d'émissions de CO₂. Pour réduire les émissions de CO₂ de moitié d'ici 2050 d'une part et réduire les émissions du secteur des transports jusqu'à un niveau inférieur à celui de 1990 d'autre part, des changements technologiques radicaux impliquant le recours à l'électricité, aux biocarburants et à l'hydrogène seraient nécessaires. Des obstacles considérables s'opposent à la réalisation de ces changements à l'échelle requise. On peut citer notamment les besoins en infrastructures, les coûts et la nécessité d'avoir des produits de départ durables.

Une transition technologique radicale passerait par un changement drastique d'orientation des politiques gouvernementales et un investissement sans précédent dans les nouvelles technologies, y compris dans le soutien à l'infrastructure, tels les systèmes de recharge pour les véhicules électriques. Les pays devraient travailler en collaboration avec une variété d'acteurs afin d'assurer que tous les organismes de prise de décision agissent de concert. Etant donné que pour la plus grande part, la croissance des déplacements, de la consommation énergétique et des émissions de CO₂ sera imputable aux pays en voie de développement, ceux-ci doivent contribuer à l'effort mondial visant à créer les transports durables à faibles émissions de carbone de demain.

Sources : AIE (2009b), Jackson (2009), AIE (2008)

problèmes de l'environnement (CSPE), a tenté de présenter les nombreuses facettes du problème des biocarburants sans émettre de jugements (Howarth et Bringezu, 2009).

Un autre rapport, publié par le PNUE et sous-tendu par une étude minutieuse de la littérature, s'est prononcé en faveur de la poursuite des recherches et du développement pour certains carburants issus de cultures, sur la base d'analyses des coûts et avantages environnementaux. L'utilisation d'autres carburants issus de cultures a été rejetée. Par exemple, le rapport soutenait la production d'éthanol à partir de cannes à sucre si les avantages du piégeage du CO₂ dans l'atmosphère étaient optimisés. Suivant cette même approche analytique, le rapport a envisagé l'huile de palme issue de zones tropicales déforestées ; dans ce cas, il conclut que l'effet net serait une augmentation des émissions de gaz à effet de serre, particulièrement si les zones défrichées étaient des tourbières (Bringezu et alii, 2009) (voir le chapitre Changement climatique).

Mais surtout, le rapport a démontré que le calcul et la comparaison des émissions de gaz à effet de serre ne permettaient pas à eux seuls de déterminer comment transférer la charge environnementale. Les évaluations des coûts et avantages des biocarburants ne tiennent généralement pas compte des effets de l'acidification et de la charge en éléments nutritifs des voies navigables. De plus, elles s'intéressent rarement aux effets potentiels sur la qualité de l'air, l'appauvrissement en ozone ou même la biodiversité, par exemple (Bringezu et alii, 2009).

Les ressources en eau requises pour la production de biocarburants ont fait l'objet d'une autre étude récente (Figure 3). Les auteurs, qui ont examiné les effets de l'irrigation, de l'utilisation des engrais, du transport et

d'autres facteurs de production agricole, ont mis en garde contre le fait que la maximisation du rendement des ressources mises en œuvre pour la production de biocarburants nécessitait des compétences en gestion spécifiques qui en sont encore au stade de développement. Ici, les effets néfastes potentiels des déversements d'engrais et de pesticides sur l'aquifère superficiel et les masses d'eau souterraines sont particulièrement préoccupants (Dominguez-Faus et alii, 2009).

RECENSEMENT DE L'EAU DOUCE

Dans de nombreuses régions du monde, l'eau douce est une denrée de plus en plus rare. La croissance de la population, le changement climatique, la pollution, le manque d'investissement dans l'assainissement et les échecs de gestion ont tous un impact négatif sur la quantité d'eau disponible par rapport à la demande. A l'heure actuelle, 2,8 milliards de personnes vivent dans des conditions de stress hydrique ; sans mise en place de nouvelles politiques efficaces, environ la moitié de la population mondiale vivra dans de telles conditions d'ici 2030 (UNESCO, 2009a ; Bates et alii, 2008 ; OECD, 2008).

Le concept d'« empreinte eau » mentionné pour la première fois en 2002 est basé sur le concept familier d'empreinte écologique. L'empreinte écologique indique la surface bioproductive requise pour subvenir aux besoins d'une population. L'empreinte eau correspond au volume d'eau douce requis. Le développement du concept d'empreinte eau en indicateur quantifiable clairement défini permet de résoudre un certain nombre de problèmes méthodologiques similaires à ceux solutionnés pour l'empreinte écologique (Hoekstra, 2009).

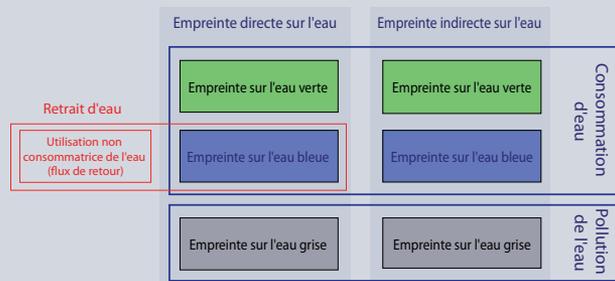
Figure 3 : Ressources en eau requises pour la production d'énergie

	litres par mWh
Extraction de pétrole	10-40
Raffinage du pétrole	80-150
Traitement à l'air libre du schiste bitumineux	170-681
Centrale CCGN,* refroidissement en circuit fermé	230-30 300
Gazéification intégrée, cycle combiné	~900
Centrale nucléaire, refroidissement en circuit fermé	~950
Centrale géothermique, refroidissement en circuit fermé	1900-4200
Récupération assistée du pétrole	~7600
CCGN,* refroidissement en circuit ouvert	28 400-75 700
Centrale nucléaire, refroidissement en circuit	94 600-227 100
Irrigation à l'éthanol de maïs	2 270 000-8 670 000
Irrigation au biodiesel de soja	13 900 000-27 900 000
*Cycle combiné de gaz naturel	

Le rendement énergétique de certaines cultures en termes de biocarburants est supérieur à celui d'autres cultures, qui nécessitent une superficie de culture, et une quantité d'engrais et d'eau supérieures. La consommation absolue d'eau (évapotranspiration) a tendance à augmenter avec les superficies requises. D'importants volumes d'eau sont utilisés pour produire de l'énergie à partir d'autres sources, par exemple pour extraire le pétrole du sous-sol, générer la vapeur qui alimente les turbines ou refroidir les centrales nucléaires. Toutefois, le volume d'eau requis pour produire une quantité équivalente d'énergie à partir de biocarburants est comparativement important et l'évapotranspiration associée plus élevée.

Source : Dominguez-Faus et alii (2009)

Figure 4 : Composantes d'une empreinte eau



Source : Hoekstra (2009)

Représentation schématique des composantes d'une empreinte eau. L'empreinte eau directe d'un consommateur ou d'un produit correspond à la consommation d'eau douce et à la pollution associée à l'utilisation de l'eau. L'empreinte eau indirecte désigne la consommation d'eau et la pollution associées aux biens et services consommés par le consommateur ou pendant la production. L'eau verte est le terme qui désigne l'eau de pluie emmagasinée dans les sols sous forme d'humidité ou présente sur la végétation. L'eau bleue correspond aux eaux souterraines et de surface. L'eau grise désigne l'eau douce polluée et englobe la quantité d'eau requise pour diluer les polluants rejetés dans le système hydrographique naturel. La consommation d'eau hors évapotranspiration, à savoir l'écoulement restitué, n'est pas prise en compte dans l'empreinte eau.

Les empreintes eau tiennent compte de la source des produits et des circonstances liées à leur production. Elles évaluent la consommation effective d'eau plutôt que de s'intéresser aux moyennes globales. Ainsi, il est possible de localiser la distribution spatiale de l'empreinte eau d'un pays. La consommation alimentaire contribue de manière significative à l'empreinte écologique comme à l'empreinte

eau. La mobilité et l'énergie associée consommée sont des facteurs très importants uniquement pour l'empreinte écologique. Du point de vue de la durabilité, l'empreinte eau donne une autre image de la situation et, parfois, révèle certaines stratégies de développement sous une autre lumière (Hoekstra, 2009). En 2009, l'Organisation internationale de normalisation (ISO) s'est lancée dans le

développement d'une norme d'empreinte eau pour les produits (ISO, 2009).

L'empreinte eau d'un produit, qu'il s'agisse de marchandises ou de services, correspond au volume d'eau douce total utilisé à tous les stades de la chaîne de production. L'eau utilisée est mesurée en termes de volumes d'eau consommée et/ou polluée. L'empreinte eau est un indicateur explicite sur le plan géographique. Il procure des informations non seulement sur l'utilisation et la pollution de l'eau, mais aussi sur le lieu et le rythme d'utilisation de l'eau (Figure 4).

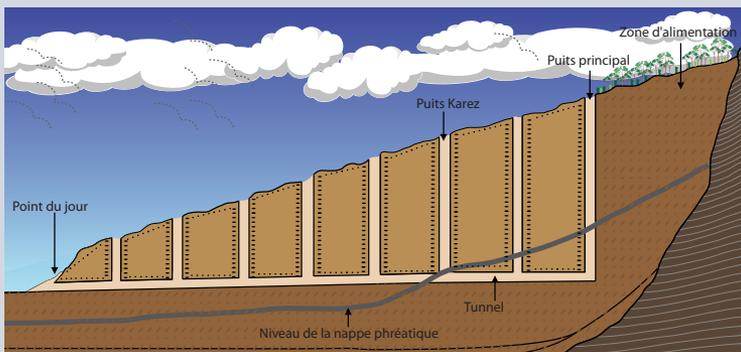
Le concept d'« eau virtuelle » est également pris en compte dans l'évaluation de la quantité d'eau nécessaire à la production d'un produit consommable ou négociable. Les pays peuvent conserver leur eau s'ils importent des produits avec une importante composante d'eau virtuelle, tels que les denrées alimentaires, plutôt que de les produire eux-mêmes. Par exemple, les importations de la Jordanie, qui comprennent du blé et du riz des Etats-Unis, ont une teneur en eau virtuelle de 5 à 7 milliards de mètres cubes par an. A titre de comparaison, la consommation nationale d'eau

Encadré 4 : Nouvelles applications pour d'anciennes technologies

Parmi les approches innovantes visant à lutter contre la pénurie d'eau, les karez, ou qanats, jouissent d'un regain d'intérêt. Le karez est utilisé dans les régions arides. Il distribue les eaux souterraines par voie d'un tunnel souterrain, ou d'une série de tunnels, percé dans une falaise ou un éboulis au pied d'une montagne. Le système de tunnels suit une formation aquifère et émerge à une certaine distance pour procurer de l'eau, à un oasis par exemple. Grâce à plusieurs systèmes de tunnels de ce type, il est possible d'apporter de l'eau sur de grandes superficies à des fins domestiques ou d'irrigation.

Le karez, un système basé sur la gravité, récolte les eaux souterraines sans dispositif mécanique. Un puits vertical est creusé afin de capter les eaux souterraines à quelque 30 mètres de profondeur. Au lieu d'amener l'eau à la surface au niveau du puits, on creuse un tunnel horizontal en pente douce afin de l'amener à la surface à plusieurs kilomètres de là.

Il est important de veiller à ne pas creuser le tunnel trop en pente. En effet, le débit serait alors entravé, entraînant la formation de mares au niveau desquelles les parois risqueraient de s'effondrer. Si la pente est insuffisante, l'eau stagne. Les tunnels de karez ont une hauteur d'environ 1,5 mètre et une largeur d'approximativement 0,75 mètre. Des voies d'accès creusées à la verticale facilitent leur entretien. Le tunnel le plus profond recensé se trouvait à 60 mètres de profondeur et la série de tunnels la plus longue s'étendait sur 70 kilomètres.



Un karez est un tunnel en pente, avec des puits et voies d'accès verticaux qui permettent d'effectuer des activités telles que l'excavation et le dragage.

Source : Hussain et alii (2008)

Les karez sont généralement exploités et entretenus collectivement. La distribution et la gestion de l'eau se font suivant des relations complexes qui ont évolué avec le temps et sont basées sur la contribution de chaque participant en terre, en main-d'œuvre, en outils et en argent. Par ailleurs, de nombreuses lois ont été développées pour réglementer leur construction, leur entretien et leur exploitation.

Dans certaines régions d'Asie occidentale, on les appelle qanats. On les trouve aussi à Chypre, où la construction d'un nouveau qanat a été proposée pour répondre aux besoins en eau de la côte nord-est de l'île.

Le renouveau dont jouissent l'utilisation et l'entretien des karez et des qanats dans toute la région et dans d'autres régions arides s'est fait à l'initiative de l'UNESCO et de la FAO. Un centre de formation a été établi à Yazd, en Iran.

Sources : Walther (2009), Endreny et Gokcekus (2008), Hussain et alii (2008)



Qanat irrigant un jardin. Photo : Livius.org

se monte à environ 1 milliard de mètres cubes. Cette politique d'importation permet à la Jordanie de faire d'énormes économies d'eau, mais augmente aussi sa dépendance vis-à-vis des produits alimentaires. La plupart des pays d'Amérique du Nord et du Sud, d'Asie et d'Afrique centrale, ainsi que l'Australie, sont exportateurs nets d'eau virtuelle. La plupart des pays d'Europe, d'Afrique du Nord et du Sud et du Moyen-Orient, ainsi que l'Indonésie, le Japon et le Mexique, sont importateurs nets (Chapagain et Hoekstra, 2008).

Les moyens de recensement de l'eau et de gestion de sa distribution et de son utilisation, dans un contexte de rendement des ressources et de développement durable, comprennent des méthodes traditionnelles de conservation et de distribution. L'intérêt suscité par la possibilité d'actualiser et d'élargir les méthodes et techniques locales et autochtones de gestion de l'eau, et d'appliquer des techniques modernes de rendement ne cesse de croître. A titre d'exemple, on peut citer ici les systèmes de gestion de l'eau en Inde, les terrasses de riz de la région de Cordillère, Philippines, et les qanats ou karez de la ceinture aride nord-africaine et eurasiennne (UNESCO, 2009b ; Walther, 2009 ; Jacob, 2008) (**Encadré 4**).

MODIFICATION DES SYSTEMES NATURELS

Le défaut de réponse des politiques face à la menace posée par les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère a incité certains scientifiques, entre autres, à considérer la possibilité d'intervenir sur les écosystèmes de la Terre pour empêcher ou retarder l'impact de plus en plus dommageable du changement climatique (Blackstock et alii, 2009 ; Lenton et Vaughan, 2009 ; Robock et alii, 2009 ; Royal Society, 2009 ; Lunt et alii, 2008 ; Robock, 2008a ; Robock, 2008b ; Tilmes et alii, 2008 ; Matthews et Caldeira, 2007 ; Trenbeth et Dai, 2007).

Les interventions visant à contrer les effets de la surcharge de GES varient, de la myriade d'activités locales, telles que la plantation et la préservation des écosystèmes forestiers, aux propositions d'interventions technologiques à grande échelle généralement regroupées sous l'appellation « géo-ingénierie ».

Les solutions technologiques à grande échelle sont réparties en deux catégories. Les techniques d'élimination du dioxyde de carbone (CDR) consistent à extraire le CO₂ de l'atmosphère. Les techniques de gestion du rayonnement solaire (SRM) consistent à réfléchir une partie de la lumière du soleil pour la renvoyer dans l'espace. L'élimination du dioxyde de carbone se fonde sur le piégeage biologique ou géologique du carbone. La gestion du rayonnement solaire est basée sur les effets naturels observés dans l'atmosphère suite aux éruptions volcaniques (Lenton et Vaughan, 2009 ; Robock et alii, 2009 ; Royal Society, 2009 ; Robock, 2008a) (**Figure 5**).

Elimination du dioxyde de carbone

La fertilisation par éléments nutritifs est l'une des méthodes proposées pour éliminer le CO₂ de l'atmosphère. Cette méthode permettrait d'exploiter le potentiel de piégeage du CO₂ de certaines parties de l'océan riches en éléments nutritifs, mais qui ne favorisent pas la croissance du plancton parce qu'un élément nutritif particulier, tel que le fer, y est absent. Depuis des dizaines d'années, il est suggéré qu'en ajoutant de grandes quantités de fer dans ces zones, on pourrait stimuler la prolifération du plancton en fixant les molécules de carbone pour, finalement, les piéger dans les grands fonds marins. De nombreuses expériences à petite échelle ont été réalisées à l'aide de limaille de fer et d'autres sources d'éléments nutritifs et, dans une certaine mesure, ont réussi à donner lieu à une prolifération du plancton. La préoccupation principale associée à cette approche est la possibilité de perturbation des cycles des éléments nutritifs dont dépend la vie des océans (voir les chapitres Gestion des écosystèmes et Substances nocives et déchets dangereux). Les écosystèmes marins sont déjà surexploités et menacés par les activités humaines. En novembre 2007, la Convention sur la prévention de la pollution marine a publié une déclaration stipulant que « les opérations de fertilisation à grande échelle ayant recours aux micronutriments (par exemple au fer) afin de piéger le dioxyde de carbone sont actuellement injustifiées » (PNUE, 2008 ; OMI, 2007).

La manipulation du renversement des océans dans le but d'augmenter le taux de piégeage du carbone atmosphérique dans les fonds marins est une autre méthode d'élimination du CO₂ envisagée et impliquant les océans. Des tubes verticaux seraient utilisés pour pomper l'eau des grands fonds vers la surface, améliorant les débits de remontée et favorisant la descente des eaux denses dans les océans des latitudes subpolaires (Lovelock et Rapley, 2007). Les effets possibles de la modification des schémas de circulation naturels sur l'équilibre d'ensemble du carbone sont inconnus. Cette remontée pourrait très bien provoquer une libération plutôt qu'un piégeage du carbone (Royal Society, 2009).

Dans le cadre d'une approche terrestre, des collecteurs artificiels de CO₂ imitant les propriétés de piégeage des plantes vertes seraient utilisés. Selon ce processus, basé sur une technologie utilisée dans les filtres des aquariums, développée par des scientifiques de l'Institut de la Terre de l'université de Columbia et baptisée « capture aérienne », le CO₂ serait éliminé de l'air ou des cheminées et réinjecté dans des formations géologiques particulières. L'objectif serait de reproduire les effets de deux processus naturels combinés : l'extraction du CO₂ de l'air, comme dans la photosynthèse des plantes, et la formation de dépôts de

calcite et de dolomie afin de fixer les molécules de carbone pour des millions d'années. Les formations de ce type sont courantes dans le monde entier (Lackner et Liu, 2008 ; Gislason et alii, 2007 ; Morton, 2007). D'autres méthodes prévoient le stockage du carbone dans des réservoirs ou dans les grands fonds (**Encadré 5**).

Il est possible d'améliorer les grands écosystèmes considérés comme puits de carbone potentiels par le biais de la « gestion des stocks de carbone de la biosphère » (Fahey et alii, 2009 ; Read, 2008). Cette technique de gestion durable se concentre sur la capacité de piégeage à long terme, tout en préservant les cycles de fonctionnement des écosystèmes à court terme afin d'assister les communautés locales et leurs interactions. Comme certains chercheurs l'ont fait remarquer, les pratiques de gestion durable des forêts peuvent permettre de maximiser les taux de piégeage du carbone et ensuite procurer des récoltes, au fur et à mesure que la quantité de carbone accumulée pour l'exploitation en tant que combustible à faibles émissions de GES baisse, grâce à la combustion avancée, ou en tant que matériau de construction durable en remplacement du béton et de l'acier à forte teneur en carbone (Fahey et alii, 2009 ; Liu et Han, 2009 ; Canadell et Raupach, 2008 ; Read, 2008). Les approches innovatrices de piégeage dans le sol peuvent maintenir le carbone hors de l'atmosphère pendant des millénaires, tout en atténuant

Encadré 5 : Captage et stockage du carbone

Le captage et le stockage du carbone (CSC) sont une méthode de piégeage géologique du CO₂. Les systèmes de CSC sont prévus pour piéger les émissions là où leur concentration est la plus élevée, c.-à-d. aux sources industrielles ponctuelles telles que les centrales au charbon, et pour les transporter jusqu'à des réservoirs de stockage.

En théorie, le CO₂ piégé serait compressé, puis pompé dans un pipeline ou transporté par voie maritime ou terrestre jusqu'au site où il serait injecté dans le réservoir prévu à cet effet. La technologie d'injection existe déjà et est utilisée sur les champs de pétrole afin d'optimiser la production de pétrole brut. Les gisements de pétrole et de gaz vides ont été suggérés comme réservoirs adaptés pour le stockage du CO₂, à l'instar des formations salines profondes et des veines de charbon inexploitées.

Parmi les autres méthodes de stockage à l'étude, on peut citer l'injection directe de CO₂ dans les grands fonds, dans lesquels on suppose que la forte pression empêcherait le CO₂ de remonter à la surface, ou dans l'océan même, ce qui contribuerait à l'acidification des océans et mettrait les écosystèmes marins en péril ou entraînerait une remontée vers la surface. Toutes ces méthodes sont considérées comme expérimentales en vue du stockage de grandes quantités de CO₂. Leur efficacité est inconnue et leur impact potentiel sur l'environnement n'a pas été déterminé.

Source : Blackford et alii (2009)

les problèmes de dégradation du sol qui touchent 84 pour cent des terres arables du monde (Bruun et alii, 2009 ; PNUE, 2009a ; Montgomery, 2008). Un effort de reforestation intensive, avec pour objectif à long terme le piégeage du carbone dans les écosystèmes, pourrait se concrétiser d'ici dix ans et, dans l'idéal, piéger quatre fois plus de carbone que les puits terrestres actuels d'ici 2050 (Lenton et Vaughan, 2009 ; Canadell et Raupach, 2008).

Le charbon vert, ou biochar, est un moyen potentiel efficace et peu risqué d'atténuer le changement climatique et d'améliorer la fertilité des sols. Cette approche implique la production de charbon (le biochar) pour l'incorporer dans les sols. Pour l'essentiel, le biochar est le produit de la combustion de la biomasse à basse température en l'absence d'oxygène dans le but d'obtenir du charbon. Les recherches préliminaires suggèrent que le piégeage dans le biochar pourrait non seulement empêcher le CO₂ de contaminer l'atmosphère, mais aussi l'extraire de l'atmosphère (Bruun et alii, 2009 ; Gaunt et Lehmann, 2009 ; McHenry, 2009). De plus, la décomposition prolongée du biochar, qui prendrait des siècles, voire des millénaires, améliorerait la fertilité des sols et s'accompagnerait d'autres avantages, notamment l'augmentation des capacités

de rétention et d'échange d'ions (Bruun et alii, 2009).

Grâce à de récentes études, on comprend désormais mieux comment le biochar minéralise le carbone. La vitesse de la déminéralisation qui s'en suit par décomposition chimique n'est, quant à elle, pas encore bien comprise (Bruun et alii, 2009 ; Gaunt et Lehmann, 2008). Toutefois, de plus en plus d'agriculteurs adoptent le biochar car il est capable de revigorer les sols appauvris. Le biochar fabriqué en Australie selon un processus de pyrolyse breveté est commercialisé dans le monde entier comme produit d'amendement du sol.

Selon une étude sur la viabilité de 17 options de gestion du carbone et de géo-ingénierie, le biochar pourrait piéger pratiquement 400 milliards de tonnes de carbone au cours du 21^{ème} siècle, réduisant les concentrations atmosphériques de CO₂ de 37 parties par million (Lenton et Vaughan, 2009). Certains chercheurs mettent en garde contre l'optimisme excessif de ces chiffres. Cependant, même les estimations les plus conservatrices prévoient le piégeage de 20 milliards de tonnes de carbone d'ici 2030, ce qui pourrait avoir un effet significatif sur les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (Kleiner, 2009 ; Lehmann, 2007).

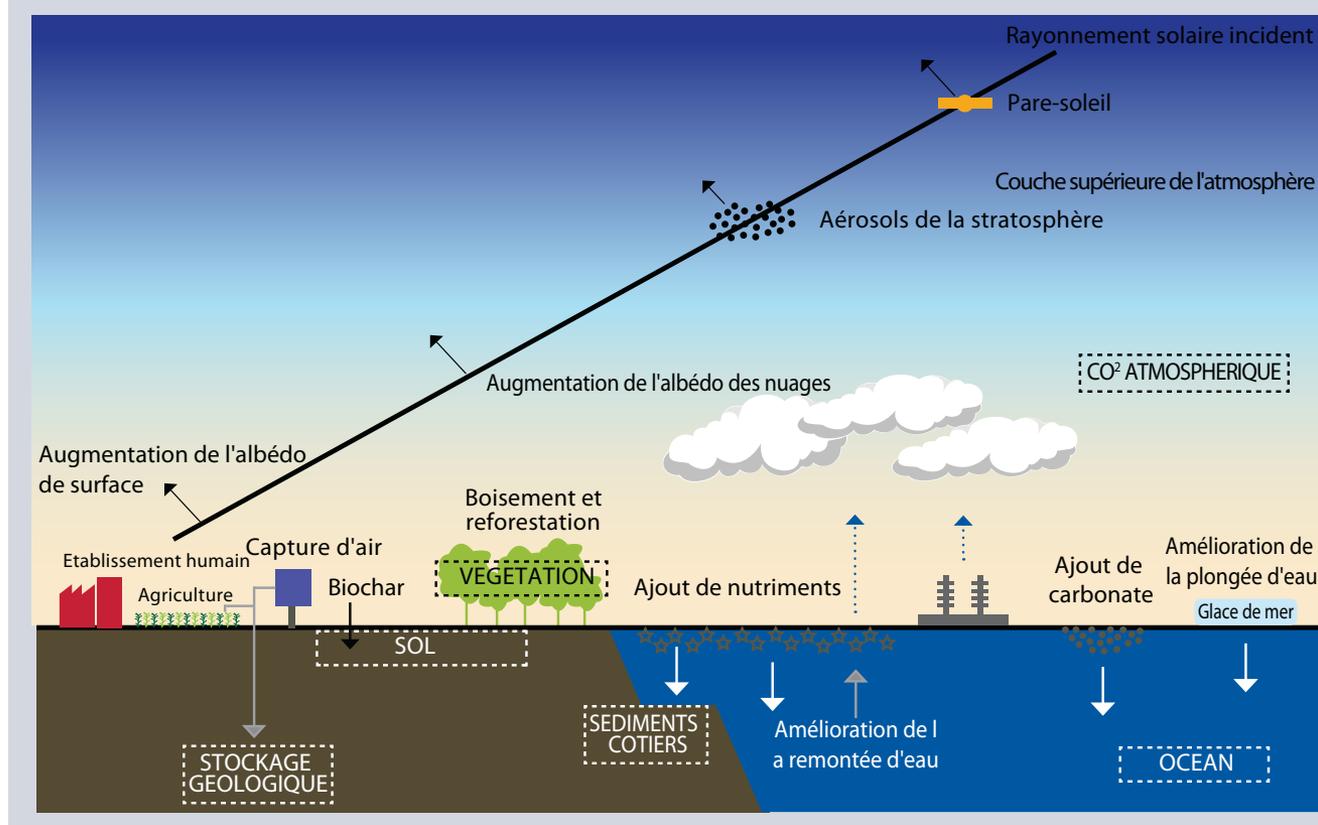
Gestion du rayonnement solaire

La gestion du rayonnement solaire est une approche de lutte contre le changement climatique très différente de l'élimination du dioxyde de carbone. Les projets d'injection d'aérosols ont pour but d'augmenter artificiellement les niveaux d'aérosols de la stratosphère afin d'augmenter la réflectivité de la planète. L'une de ces méthodes consiste à utiliser des aérosols sulfatés pour simuler l'effet des grandes éruptions volcaniques sur le climat mondial en réduisant le rayonnement solaire. Cette méthode fait l'objet de propositions de géo-ingénierie du climat depuis un certain temps (Royal Society, 2009 ; Robock et alii, 2009 ; Robock, 2008a).

Parmi les moyens proposés pour envoyer la quantité d'aérosols sulfatés requise dans la stratosphère, on peut citer les avions, les combinaisons avion/fusée, l'artillerie et les ballons. Le coût annuel pourrait s'élever à des dizaines de milliards de dollars (Blackstock et alii, 2009). L'impact environnemental des systèmes d'injection devra être pris en compte dans les analyses de faisabilité de tels projets (Robock et alii, 2009 ; Royal Society, 2009).

L'augmentation de la réflectivité de la stratosphère qui a suivi l'éruption du Mont Pinatubo aux Philippines en

Figure 5 : Propositions de géo-ingénierie



Représentation schématique des propositions de géo-ingénierie. Les flèches noires représentent les radiations à onde courte ; les flèches blanches correspondent à l'amélioration des flux naturels de carbone ; la flèche vers le bas grise indique un flux de carbone d'ingénierie ; la flèche vers le haut grise indique un flux d'eau d'ingénierie ; les flèches verticales en pointillés représentent des noyaux condensés sources de nuages ; les encadrés en pointillés indiquent le stockage de carbone.

Source : Adaptation de Lenton et Vaughan (2009)

1991 a eu un impact sur le cycle hydrologique, provoquant des sécheresses suite à la baisse des niveaux mondiaux de précipitations en 1992 (Trenberth et Dai, 2007). La modélisation détaillée du système océan-atmosphère indique que l'augmentation des aérosols sulfatés stratosphériques réduirait les précipitations pendant la saison des moussons estivales en Asie et en Afrique, affectant potentiellement plus d'un milliard de personnes (Robock et alii, 2009). Une couche d'aérosols sulfatés enrichie réduirait également les niveaux d'ozone dans la stratosphère. Après l'éruption du Mont Pinatubo, les niveaux d'ozone mondiaux étaient inférieurs de 2 pour cent aux prévisions (Robock et alii, 2009). Le recours aux aérosols sulfatés stratosphériques pourrait entraîner un appauvrissement substantiel en ozone arctique et retarder la reconstitution de cette couche de 70 ans (Tilmes et alii, 2008).

L'une des propositions de géo-ingénierie prévoit l'installation dans l'espace de pare-soleil, ou miroirs réfléchissants, dans le but de dévier une partie du rayonnement solaire entrant avant qu'il n'atteigne l'atmosphère. Des déflecteurs de lumière du soleil seraient placés en orbite à proximité de la Terre ou près du point de Lagrange, à environ 1,5 million de kilomètres au-dessus de la planète, où l'attraction gravitationnelle de la Terre est égale à celle du soleil. L'installation d'une multitude de pare-soleil à cette position poserait un risque moindre pour les satellites en orbite que des objets à proximité de la Terre. Une récente modélisation a démontré que l'ingénierie de pare-soleil pourrait réussir (Lunt et alii, 2008).

Certains projets relativement modestes proposés pour augmenter la réflectivité à la surface de la planète impliquent de couvrir les déserts de film réfléchissant, de peindre les toits en blanc ou de créer une couverture nuageuse basse au-dessus des océans. La plupart de ces idées s'accompagnent d'effets indésirables dangereux ou ne produisent qu'un effet localisé (Royal Society, 2009).

Bien que la mise en œuvre d'une quelconque proposition de gestion du rayonnement solaire puisse prendre des dizaines d'années, l'effet de refroidissement qu'elles ont pour objectif serait observable relativement rapidement, les températures atmosphériques baissant en l'espace de quelques années seulement (Matthews et Caldeira, 2007). Ainsi, les méthodes de gestion du rayonnement solaire pourraient s'avérer utiles pour réduire les températures mondiales en cas de changement climatique catastrophique. Les systèmes de ce type impliqueraient des ressources énormes, étant donné l'entretien constant requis pendant leur phase de mise en œuvre. Toute défaillance ou tout arrêt d'un projet de gestion du rayonnement solaire pourrait se traduire par un réchauffement rapide (Robock, 2008a). De plus, sans réduction des émissions rejetées dans

l'atmosphère, un tel projet ne permettrait pas de contrer les effets directs de l'augmentation des concentrations de CO₂, notamment l'acidification des océans et l'effondrement des écosystèmes marins. Les difficultés logistiques et techniques de la géo-ingénierie spatiale signifient que ces propositions ne peuvent pas être considérées comme solutions à un changement climatique dangereux à court terme. De plus, leur coût, les risques dont elles s'accompagnent, leur efficacité et le temps requis pour leur mise en œuvre demeurent largement inconnus (Royal Society, 2009).

Étant donné la complexité des systèmes de la Terre et les incertitudes quant aux interactions entre les composants contraints par les « limites planétaires » (voir le chapitre Gestion des écosystèmes), nombreux sont ceux qui craignent qu'une perturbation supplémentaire des cycles biophysiques au moyen de solutions technologiques à grande échelle visant à réduire partiellement les effets de la surcharge de GES dans l'atmosphère ne soit imprudente (Rockström et alii, 2009).

Des évaluations approfondies réalisées sur les technologies proposées et leur impact sur l'environnement devront indiquer la possibilité de transfert de la charge environnementale résultant de ces solutions technologiques. Les transferts de la charge environnementale des pays industrialisés vers les pays en voie de développement au travers de la mondialisation ont été documentés au cours de ces dix dernières années (Schutz et alii, 2004). On commence seulement à comprendre ce que signifient les transferts de la charge d'un système environnemental vers un autre (Bringezu et alii, 2009). Le transfert possible de la charge du forçage radioactif vers d'autres charges susceptibles de retarder la reconstitution de la couche d'ozone, de réduire les niveaux de précipitations ou de modifier les saisons des pluies en Asie et en Afrique, sans remédier aux menaces d'acidification des océans, ne peut être considéré comme une véritable solution aux problèmes environnementaux qui touchent le monde entier. La mise en place d'activités de reforestation à grande échelle et les efforts visant à piéger le carbone dans les stocks de biomasse terrestres sont des approches qui devraient produire des résultats rapides et offrir de bonnes opportunités de gestion évolutive, un avantage essentiel dans un contexte changeant (Lenton et Vaughan, 2009 ; Read, 2008).

PERSPECTIVES

L'amélioration du rendement des ressources, qui sous-tend la consommation et la production durables, est aujourd'hui de plus en plus considérée comme l'objectif allant de soi lorsqu'il s'agit de prendre des décisions de gestion, au niveau des ménages comme de la gouvernance environnementale internationale. Les pays développés

reconnaissent que le rendement des ressources et l'innovation visant à minimiser le gaspillage des matières et la consommation énergétique sont des objectifs qui peuvent leur permettre de réduire leurs coûts et de partager les technologies correspondantes avec les pays en voie de développement (Jackson, 2009 ; OECD, 2009).

L'initiative Transformation du marché mondial en vue de l'adoption d'appareils d'éclairage à haut rendement a été lancée en 2009. Elle va accélérer la transformation du marché mondial vers des techniques d'éclairage à haut rendement et le développement d'une stratégie mondiale pour l'abandon progressif des ampoules à incandescence, ce qui se traduira par une réduction des émissions mondiales de gaz à effet de serre (PNUE, 2009b).

En 2010, neuf pays de la Mer du Nord établiront un réseau électrique conçu en vue d'une intégration à grande échelle de l'électricité renouvelable. Ceci est réalisable grâce à de nouveaux câbles c.c. haute tension qui, comparés aux types de câbles utilisés par le passé, perdent beaucoup moins d'énergie pendant le transport (EWEA, 2009).

Les gouvernements, la société civile et le secteur privé pourraient profiter du ralentissement économique mondial pour réorienter leurs plans d'activité et leurs objectifs économiques en vue d'un développement durable et pour accélérer la transformation vers une économie verte et une prospérité durable. Pour réussir la transition dans les secteurs de l'énergie et des transports et opérer le changement comparativement radical des modèles de consommation et de production que les experts jugent nécessaire, les efforts de mise en œuvre doivent débiter dès aujourd'hui (AIE, 2009a ; AIE, 2009b).

Les scientifiques d'un certain nombre de domaines mettent en garde contre le risque de dépassement des seuils qui définissent les « limites de la planète » (Rockström et alii, 2009). Pour comprendre l'importance de ces limites et les moyens qui nous permettront de ralentir et de fonctionner dans des limites sûres, il faudra continuellement perfectionner les outils analytiques en tirant les leçons du passé et développer des solutions durables pour relever les défis environnementaux, telles que la dissociation entre utilisation des ressources et impact environnemental d'une part et croissance économique d'autre part.

C'est en acceptant les limitations qui s'imposent sur l'utilisation des ressources de la planète et en améliorant notre compréhension des interactions entre les systèmes de la Terre que nous pourrions mettre les solutions en œuvre dans le cadre d'une gestion durable des ressources plutôt qu'en ayant recours à des solutions technologiques issues de la géo-ingénierie (Read, 2008).

RÉFÉRENCES

- AE (2009). Molten Salt Solar Plant. Alternative Energy. <http://www.alternative-energy-news.info/molten-salt-solar-plant/>
- AWEA (2009). American Wind Energy Association web site. <http://www.awea.org>
- Archer, C. et Jacobson, M. (2005) Evaluation of global wind power. *Journal of Geophysical Research*, 110, D12110
- Ayers, R.U. (2008). Sustainability Economics: Where do we stand? *Ecological Economics*, 67, 2
- Ayers, R.U. et Warr, B. (2009). *The Economic Growth Engine: How energy and work drive material prosperity*. Edward Elgar Publishing Ltd., UK
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. et Palutikof, J.P. (eds.) (2008). *Climate Change and Water*. IPCC Secretariat, Geneva
- Blackford, J., Jones, N., Proctor, R., Holt, J., Widdicombe, S., Lowe, D. et Rees, A. (2009). An initial assessment of the potential environmental impact of CO₂ escape from marine carbon capture and storage systems. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A. *Journal of Power and Energy*, 223(3), 269-280
- Blackstock, J.J., Battisti, D.S., Caldeira, K., Eardley, D.M., Katz, J.I., Keith, D.W., Patrinos, A.A.N., Schrag, D.P., Soclow, R.H. et Koonin, S.E. (2009). Climate Engineering Responses to Climate Emergencies. Novim, archived online at <http://arxiv.org/pdf/0907.5140>
- Bleichschwitz, R., Gijum, S., Kuhnndt, M. et Schmidt-Bleek, F. (2009). *Eco-innovation—putting the EU on the path to a resource and energy efficient economy*. Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy. European Parliament, Policy Department Economy and Science, Brussels
- Bringing, S., Schütz, H., O'Brien, M., Kauppi, L., Howarth, R. et McNeely, J. (2009). *Assessing Biofuels*. United Nations Environment Programme, Nairobi
- Bruun, S., El-Zahary, T. et Jensen, L. (2009). Carbon sequestration with biochar—stability and effect on decomposition of soil organic matter. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 6, 242010
- Canadell, J.G. et Raupach, M.R. (2008). Managing Forests for Climate Change Mitigation. *Science* 320(5882), 1456-1457
- Carr, G. (2009). The Coming Alternatives. *The World in 2010*. *The Economist*, 13 November 2009
- Chapagain, A. et Hoekstra, A. (2008). The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products. *Water International*, 33, 1, 19-32
- Dominguez-Faus, R., Powers, S., Burken, J. et Alvarez, A. (2009). The Water Footprint of Biofuels: A Drink or Drive Issues? *Environ. Sci. Technol.*, 43 (9), 3005-3010
- Economist (2009). The other kind of solar power. *The Economist*, 4 June 2009
- Erdrely, T. et Gokcokus, H. (2008). Ancient eco-technology of qanats for engineering a sustainable water supply in the Mediterranean Island of Cyprus. *Environmental Geology*, 57, 2
- EWEA (2009). Political declaration on the North Seas Countries Offshore Grid Initiative. European Wind Energy Association, Brussels
- Fahey, T.J., Woodbury, P.B., Battles, J.J., Goodale, C.L., Hamburg, S., Ollinger, S., Woodall, C.W. (2009). Forest carbon storage: ecology, management, and policy. *Frontiers in Ecology and the Environment*. doi:10.1890/080169
- Gaunt, L.J. et Lehmann, J. (2008). Energy Balance and Emissions Associated with Biochar Sequestration and Pyrolysis Bioenergy Production. *Environmental Science and Technology*, 42, 4152-4158
- GCP (2009). Global Carbon Project web site. <http://www.globalcarbonproject.org/>
- Gislason, S.R., Gunnlaugsson, E., Broecker, W.S., Oelkers, E.H., Matter, J.M., Stefánsson, A., Arnórsson, S., Björnsson, G., Fridriksson, T. et Lackner, K. (2007). Permanent CO₂ sequestration into basalt: the Hellisheiði, Iceland project. *Geophysical Research Abstracts*, 9, 07153
- Haberl, H., Erb, K.-H. et Krausmann, F. (lead authors) et McGinley, M. (topic editor) (2008). Global human appropriation of net primary production (HANPP). In: *Encyclopedia of Earth*. Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment, Washington, D.C.
- Hackstock, R. (2008). Renewable Energy—The Way Forward for the Next Century. Austrian Energy Agency, Vienna. www.energyagency.at/en/projekte/res_overview.htm
- Herring, H. (lead author) et Cleveland, C.J. (topic editor) (2008). Rebound effect. In: *Encyclopedia of Earth* (ed. C.J. Cleveland). Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment, Washington, D.C.
- Hoekstra, A. (2009). Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis. *Ecological Economics*, 68 (7), 1963-1974
- Howarth, R.W. et Bringezu, S. (eds.) (2009) *Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use*. Report of the International SCOPE Biofuels Project. <http://cip.cornell.edu/biofuels/>
- Hussain, I., Abu-Rizaiha, O.S., Habib, M.A.A. et Ashfaq, M. (2008). Revitalizing a traditional dryland water supply system: the qarezas in Afghanistan, Iran, Pakistan and the Kingdom of Saudi Arabia. *Water International*, 33 (3), 333-349
- IEA (2008). *Energy Technology Perspectives 2008—Scenarios and Strategies to 2050*. International Energy Agency, Paris
- IEA (2009a). *World Energy Outlook 2009*. International Energy Agency, Paris
- IEA (2009b). *Transport, Energy and CO₂: Moving towards Sustainability*. International Energy Agency, Paris
- IMO (2007). Large-scale ocean fertilization operations not currently justified. International Marine Organization, press briefing. <http://www.imo.org>
- ISO (2009). International Organization for Standardization Technical Committee (TC) 207, Environmental Management, Subcommittee (SC) 5, Life Cycle Assessment. <http://www.tc207.org/About207.asp>
- Jackson, T. (2009) *Prosperity without growth? The transition to a sustainable economy*. Sustainable Development Commission, UK
- Jacob, N. (2008). *Jalajtra: Exploring India's Traditional Water Management Systems*. Penguin Books, India
- Kleiner, K. (2009). The bright prospect of biochar. *Nature Reports Climate Change*. <http://www.nature.com/climate/2009/0906/full/climate.2009.48.html>
- Krausmann, F., Fischer-Kowalski, M., Schandl, H. et Eisenmenger, N. (2008). The global socio-metabolic transition: past and present metabolic profiles and their future trajectories. *Journal of Industrial Ecology*, 12, 637-666
- Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., Haberl, H. et Fischer-Kowalski, M. (2009). Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics*, 68 (10), 2696-2705
- Lackner, K. et Liu, P. (2008). *Removal of Carbon Dioxide from Air*. The International Bureau, The World Intellectual Property Organization
- Lehmann, J. (2007). A handful of carbon. *Nature*, 447, 143-144
- Lenton, T.M. et Vaughan, N.E. (2009). Radiative forcing potential of climate geoengineering. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 9, 1-50
- Le Quééré, C., Raupach, M.R., Canadell, J.G., Marland, G., Bopp, L., Ciais, P., Conway, T.J., Doney, S.C., Feely, R.A., Foster, P., Friedlingstein, P., Gurney, K., Houghton, R.A., House, J.I., Huntingford, C., Levy, P.E., Lomas, M.R., Majkut, J., Metz, N., Ometto, J.P., Peters, G.P., Prentice, I.C., Randerson, J.T., Running, S.W., Sarmiento, J.L., Schuster, U., Sitch, S., Takahashi, T., Viovy, N., van der Werf, G.R. et Woodward, F.I. (2009). Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature Geoscience*, 2, 831-836
- Liu, G. et Han, S. (2009). Long-term forest management and timely transfer of carbon into wood products help reduce atmospheric carbon. *Ecological Modelling*, 220, 1719-1723
- Lovelock, J.E. et Rapley, C.G. (2007). Ocean pipes could help the earth to cure itself. *Nature*, 449, 403
- Lunt, D.J., Ridgwell, A., Valdes, P.J. et Seale, A. (2008). "Sunshade World": A fully coupled GCM evaluation of the climatic impacts of geoengineering. *Geophysical Research Letters*, 35, L12710
- Lutz, W., Sanderson, W.C. et Scherbov, S. (2004). *The end of world population growth in the 21st century: New Challenges for Human Capital Formation and Sustainable Development*. Earthscan, London
- Maddison, A. 2009. Historical Statistics for the World Economy: 1-2001 AD. <http://www.ggdc.net/maddison/>
- Matthews, H.D. et Caldeira, K. (2007). Transient climate-carbon simulations of planetary geoengineering. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 9949-9954
- McElroy, M., Lu, X., Nielsen, C. et Wang, Y. (2009). Potential for Wind-Generated Electricity in China. *Science*, 325 (5946), 1378-1380
- McHenry, M. (2009). Agricultural low-car production, renewable energy generation and farm carbon sequestration in Western Australia: Certainty, uncertainty and risk. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129, 1-7
- Montgomery, R.D. (2008). Why We Need Another Agricultural Revolution. In: *Dirt: The Erosion of Civilizations*. University of California Press
- Morton, O. (2007). Is this what it takes to save the world? *Nature*, 447, 132-136
- OECD (2008). *Environmental Outlook to 2030*. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris
- OECD (2009). *Sustainable Manufacturing and Eco-innovation: Framework, Practices and Measurement Synthesis Report*. Directorate for Science, Technology and Industry, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris
- Peadar, P. (2008). Biosphere carbon stock management: Addressing the threat of abrupt climate change in the next few decades. *Climatic Change*, 87, 3-4
- Reimann, C. et Banks, D. (2004). Setting action levels for drinking water: are we protecting our health or our economy (or our backs)? *Science of the Total Environment*, 332, 1-3
- REN21 (2009). Background Paper: Chinese Renewables Status Report (English). Renewables Global Status Report 2009 Update. <http://www.ren21.net/>
- Richter, D., McCreery, L.R., Nemessthy, K.P., Jenkins, D.H., Karakash, J.T. et Knight, J. (2009). Wood Energy in America. *Science*, 323 (5920), 1432-1433
- Robock, A. (2008a). 20 reasons why geoengineering may be a bad idea. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 64(2), 14-18
- Robock, A. (2008b). Whither Geoengineering? *Science*, 320 (5880), 1166-1167
- Robock, A., Marquardt, A., Kravitz, B. et Stenchikov, G. (2009). The Benefits, Risks, and Costs of Stratospheric Geoengineering. *Geophysical Research Letters*, 36
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., De Wit, C.A., Hughes, T., Van Der Leeuw, S., Rodhe, H., Söfin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkermark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. et Foley, J.A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472-475
- Royal Society (2009). *Geoengineering the climate: science, governance and uncertainty*. The Royal Society, London
- Schiermeier, Q., Tollefson, J., Scully, T., Witze, A. et Morton, O. (2008). Electricity without Carbon. *Nature*, 454, 816-823
- Schutz, H., Moll, S. et Bringezu, S. (2004). Globalisation and the shifting environmental burden: material trade flows of the European Union. Wuppertal Papers No. 134e. Wuppertal Institute, Wuppertal, Germany
- SEPI (2008). Global resource extraction 1980 to 2005. Online database. Sustainable Europe Research Institute, Vienna. <http://www.materialflows.net/mta/index2.php>
- Sorrell, S. (2007). *The Rebound Effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency*. UK Energy Research Centre
- Times, S., Müller, R. et Salawitch, R. (2008). The Sensitivity of Polar Ozone Depletion to Proposed Geoengineering Schemes. *Science*, 320 (5880), 1201-1204
- Trenberth, K.E. et Dai, A. (2007). Effects of Mount Pinatubo volcanic eruption on the hydrological cycle as an analog of geoengineering. *Geophysical Research Letters*, 34, L15702
- UN (2009). World Population Prospects: the 2008 revision—United Nations Population Division—Population database. <http://esa.un.org/unpp/>
- UNEP (2008). *United Nations Environment Programme Year Book Book 2008*. Nairobi
- UNEP (2009a). *United Nations Environment Programme Year Book 2009*. Nairobi
- UNEP (2009b). Global Phase Out of Old Bulbs Announced by UN, GEF, and Industry. Press Release. Washington D.C./Nairobi
- UNESCO (2009a) *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. World Water Assessment Programme. UNESCO, Paris, and Earthscan, London
- UNESCO (2009b). World Heritage Site: Rice Terraces of the Philippine Cordilleras. <http://www.worldheritagesite.org/sites/riceterracescordilleras.html>
- US DOE (2009). *International Energy Outlook 2009*. US Department of Energy, Washington, D.C.
- Walther, C. (2009). Qanats of Iraq: Reviving traditional knowledge for sustainable management of natural resources. *UNESCO-PNUE Formation d'apprentissage, World Heritage Nomination Process of the Iraqi Marshlands*
- WCD (2000). *Dams and Development: A new framework for decision-making*. World Commission on Dams. Earthscan, London
- Woody, T. (2009). Solar Power When the Sun Goes Down. *The New York Times*, 3 Nov. 2009. <http://greeninc.blogs.nytimes.com/2009/11/03/solar-power-when-the-sun-goes-down/#more-30475>
- World Bank (2009a). *World Development Report 2010: Development and Climate Change*. Washington, D.C.
- World Bank (2009b). RE Toolkit. <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTENERGY2/EXTRENERGYTK/0,,menuPK:5138378-pagePK:149018-piPK:149093-theSitePK:5138247,00.html>
- Yool, A., Shepherd, J.G., Bryden, H.L. et Oshlies, A. (2009). Low efficiency of nutrient translocation for enhancing oceanic uptake of carbon dioxide *Journal of Geophysical Research*, 114, C08009

Acronymes et abréviations

ADAM	ADaptation And Mitigation (Adaptation et réduction)	DOMP	Département des opérations de maintien de la paix des Nations Unies (UN Department of Peacekeeping Operations)	OMD	Objectif du millénaire pour le développement
AEE	Agence européenne pour l'environnement (European Environment Agency)	EAU	Emirats arabes unis	OME	Organisation mondiale de l'environnement (Global Environmental Organization)
AFM	Analyse des flux de matières	ECOSOC	UN Economic and Social Council (Conseil économique et social des Nations Unies)	OMI	Organisation maritime internationale (International Maritime Organization)
AGNU	Assemblée générale des Nations Unies (UN General Assembly)	EFSA	European Food Safety Authority (Autorité européenne de sécurité des aliments)	OMM	Organisation météorologique mondiale (World Meteorological Organization)
AIE	Agence internationale de l'énergie (International Energy Agency)	EM	Evaluation des écosystèmes pour le millénaire	ONG	Organisation non gouvernementale
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique (International Atomic Energy Agency)	EM-DAT	International Disaster Database (Base de données internationale sur les catastrophes)	PACC	Plan d'action sur les changements climatiques (Climate Change Adaptation Programme)
AME	Accord multilatéral sur l'environnement (Multilateral environmental agreement)	EMG	UN Environment Management Group (Groupe de gestion de l'environnement des Nations Unies)	PACE	Partnership for Action on Computing Equipment (Partenariat pour une action sur les équipements informatiques)
AMSR-E	Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System (Radiomètre à balayage hyperfréquence de pointe pour Système d'observation de la terre)	FAO	UN Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)	PaCFA	Global Partnership Climate, Fisheries and Aquaculture (Partenariat mondial pour le climat, les pêches et l'aquaculture)
AoA	Assessment of Assessments (Evaluation des évaluations)	FCRC	Forest Concession Review Committee (Comité chargé de l'examen des concessions forestières)	PBDD	Polybromodibenzodioxine
APD	Aide publique au développement	FEM	Fonds pour l'environnement mondial (Global Environment Facility)	PBDE	Polybromodiphényléther
API	Année polaire internationale	FICR	Fédération internationale des sociétés de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies)	PCB	Polychlorobiphényle
APP AC-UE	Assemblée parlementaire paritaire Afrique - Caraïbes - Pacifique - Union européenne (Africa Caribbean Pacific-European Union Joint Parliamentary Assembly)	FIDA	Fonds international pour le développement agricole (International Fund for Agricultural Development)	PDI	Personne déplacée à l'intérieur de son propre pays
BFR	Brominated flame retardant (Agent ignifuge bromé)	GEI	Gouvernance environnementale internationale (International environmental governance)	PEER	Partnership for European Environmental Research (Partenariat pour la recherche environnementale européenne)
CA/FMME du PNUÉ	Conseil d'administration/Forum ministériel mondial sur l'environnement du Programme des Nations Unies pour l'environnement (UN Environment Programme Governing Council/ Global Ministerial Environment Forum)	GEO BON	Group on Earth Observations Biodiversity Observation Network (Réseau international d'observation de la biodiversité mondiale)	PEID	Petits états insulaires en développement
CaCO3	Carbonate de calcium	GEOS	Global Earth Observation System of Systems (Système mondial des systèmes d'observation de la Terre)	PFC	Perfluorocarbone
CAI	Computer Aid International	GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Intergovernmental Panel on Climate Change)	PM/RRC	Plate-forme mondiale pour la réduction des risques de catastrophe (Global Platform for Disaster Risk Reduction)
CCGN	Cycle combiné au gaz naturel	GISS	Goddard Institute for Space Studies (Institut Goddard d'études spatiales)	PMD	Pays les moins développés
CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (UN Framework Convention on Climate Change)	GW	Gigawatt	PNUD	Programme des Nations Unies pour le développement (UN Development Programme)
CCRC	Climate Change Research Centre (Centre de recherche sur les changements climatiques)	HANPP	Human appropriation of net primary productivity (Appropriation humaine de la production primaire nette)	PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement (UN Environment Programme)
CCRIF	Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility (Mécanisme d'assurance contre les risques de catastrophe dans les Caraïbes)	HBCD	Hexabromocyclododécane	POP	Polluant organique persistant
CCS	Conseil des chefs de secrétariat des organismes des Nations Unies pour la coordination (UN System Chief Executives Board for Coordination)	HFC	Hydrofluorocarbone	ppm	parties par million
CDB	Convention sur la diversité biologique (Convention on Biological Diversity)	IFA	International Fertilizer Industry Association (Association internationale de l'industrie des engrais)	PRODES	Amazon Deforestation Monitoring Project (Projet de surveillance de la déforestation dans le bassin de l'Amazonie)
CDD	Commission du développement durable (Commission on Sustainable Development)	IIDD	Institut international de développement durable (International Institute for Sustainable Development)	R&D	Recherche et développement
CDM	Consommation directe de matières (Direct material consumption)	IJIS	IARC-JAXA Information System (Système d'information IARC-JAXA)	RDM	Rapport sur le développement dans le monde (World Development Report)
CdP	Conférence des Parties (Conference of the Parties)	ILRI	International Livestock Research Institute (Institut de recherche international sur le bétail)	RdP	Réunion des parties (Meeting of the Parties)
CDR	Carbon dioxide removal (Elimination du dioxyde de carbone)	IPBES	Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (Plate-forme intergouvernementale science-politique sur la biodiversité et les systèmes écosystémiques)	REDD	Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (Réduction des émissions causées par le déboisement et la dégradation des forêts)
CH4	Méthane	IRIN	Integrated Regional Information Networks (Réseaux régionaux intégrés d'information)	REN21	Renewable Energy Policy Network for the 21st Century
CITES	Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction)	ISO	International Organization for Standardization (Organisation internationale de normalisation)	SBSTTA	Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice (Organe subsidiaire de conseil scientifique et technologique)
CLASLite	Carnegie Landsat Analysis System Lite	IWG-IFR	Informal Working Group on Interim Finance for REDD+ (Groupe de travail informel sur le financement intérimaire de la REDD)	SCEQE	Système communautaire d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre de l'UE (EU Emission Trading Scheme)
CMB	Commission mondiale des barrages (World Commission on Dams)	IWMI	International Water Management Institute (Institut international de gestion des ressources en eau)	SF6	Hexafluorure de soufre
CMS	Convention on Migratory Species (Convention sur les espèces migratoires)	LIDAR	Système de télédétection par laser aéroporté	SIG	Système d'information géographique
CNR	Conseil national de la recherche	MDP	Mécanisme de développement propre (Clean Development Mechanism)	SIPC	Stratégie internationale de prévention des catastrophes (International Strategy for Disaster Reduction)
CNUCED	UN Conference on Trade and Development (Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement)	MODIS	Spectroradiomètre à résolution modérée	SMDD	Sommet mondial sur le développement durable (World Summit on Sustainable Development)
CO2	Dioxyde de carbone	N2O	Oxyde nitreux	SRM	Solar radiation management (Gestion du rayonnement solaire)
COI	Commission océanographique intergouvernementale (Intergovernmental Oceanographic Commission)	NASA	National Aeronautics and Space Administration (Administration nationale de l'Aéronautique et de l'Espace)	TBBPA	Tetrabromobisphénol A
CPD	Consommation et production durables (Sustainable consumption and production)	NCDC	National Climatic Data Center (Centre national de données climatiques)	TPES	Total primary energy supply (Production totale d'énergie primaire)
CRCP	Coral Reef Conservation Program (Programme de conservation des récifs coralliens)	NNI	National Nanotechnology Initiative (Initiative nationale nord-américaine pour les nanotechnologies)	TSCA	US Toxic Substances Control Act (Loi américaine sur les substances toxiques)
CSC	Captage et stockage du carbone (Carbon capture and storage)	NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique)	UICN	Union internationale pour la conservation de la nature (International Union for Conservation of Nature)
CSPE	Comité scientifique sur les problèmes de l'environnement (Scientific Committee on Problems of the Environment)	NSIDC	National Snow and Ice Data Center (Centre national de données sur la neige et la glace)	UMOC	Unité de mise en œuvre conjointe (Joint Implementation Unit)
CSRSEN	Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks)	OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques (Organisation for Economic Co-operation and Development)	UNCCD	UN Convention to Combat Desertification (Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification)
DDR	Disarmament, demobilization, and reintegration (Désarmement, démobilisation et réintégration)	OGM	Organisme génétiquement modifié	UNCLOS	UN Convention on the Law of the Sea (Convention des Nations Unies sur le droit de la mer)
DDT	Dichlorodiphényltrichloréthane			UNECE	UN Economic Commission for Europe (Commission économique des Nations Unies pour l'Europe)
deca-BDE	Décabromodiphényléther			UNESCO	UN Educational, Scientific and Cultural Organization (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture)
DEEE	Déchets d'équipements électriques et électroniques (Waste Electrical and Electronic Equipment)			US EPA	US Environmental Protection Agency (Agence américaine de protection de l'environnement)
DESA	Département des affaires économiques et sociales des Nations Unies (UN Department of Social and Economic Affairs)			WCMC	World Conservation Monitoring Centre (Centre mondial de surveillance continue de la conservation de la nature)
				WWDR	World Water Development Report (Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau)
				WWF	World Wildlife Fund (Fonds mondial pour la nature)

Remerciements

GOUVERNANCE ENVIRONNEMENTALE

Rédacteur scientifique :

Jörg Balsiger, Institute for Environmental Decisions, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Suisse

Réviseurs :

Ivar Baste, Secrétariat du groupe de gestion de l'environnement, PNUE, Genève, Suisse

Theo A.M. Beckers, Institute for Globalization & Sustainable Development (GLOBUS), Tilburg, Pays-Bas

Bradnee Chambers, DELC, PNUE, Nairobi, Kenya

Marion Cheatle, DEWA, PNUE, Nairobi, Kenya

Munyaradzi Chenje, PNUE, bureau de New York, Etats-Unis

Ahmed Hassan Farghally, Service comptable, Cairo University, Cairo, Egypte

Michael Flitner, Research Center for Sustainability Studies, University of Bremen, Brême, Allemagne

Tessa Goverse, DEWA, PNUE, Nairobi, Kenya

Edgar E. Gutiérrez-Espeleta, Ecole de statistiques, Université du Costa Rica, San José, Costa Rica

Maria Ivanova, Global Environmental Governance Project, Yale University and College of William and Mary, Washington, D.C., Etats-Unis

Matthias Kern, Secrétariat de la Convention de Bâle, PNUE, Genève, Suisse

Clara Nobbe, Office for Policy and Inter-agency Affairs, PNUE, Nairobi, Kenya

Balakrishna Pisupati, DELC, PNUE, Nairobi, Kenya

Kilaparti Ramakrishna, DELC, PNUE, Nairobi, Kenya

John Scanlon, Office for Policy and Inter-agency Affairs, PNUE, Nairobi, Kenya

Suzanne M. Skevington, OMS, Centre for the Study of Quality of Life, University of Bath, Bath, Royaume-Uni

Cecilia Vaverka, ISD Reporting Services, International Institute for Sustainable Development, New York, Etats-Unis

Hugh Wilkins, Earth Negotiations Bulletin, International Institute for Sustainable Development, New York, Etats-Unis

GESTION DES ECOSYSTEMES

Rédacteur scientifique :

Penny Park, journaliste indépendante, Montréal, Canada

Réviseurs :

Joana Akrofi, DEWA, PNUE, Nairobi, Kenya

Sara Brogaard, Lund University Centre for Sustainability Studies, Lund, Suède

Thierry de Oliveira, DEWA, PNUE, Nairobi, Kenya

Salif Diop, DEWA, PNUE, Nairobi, Kenya

Tessa Goverse, DEWA, PNUE, Nairobi, Kenya

Martin Kijazi, Faculty of Forestry, University of Toronto, Toronto, Canada

Marcus Lee, Finance, Economics and Urban Department, Banque mondiale, Washington, D.C., Etats-Unis

Patrick Mmayi, DEWA, PNUE, Nairobi, Kenya

Dennis Ojima, Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, Etats-Unis

Lennart Olsson, Lund University Centre for Sustainability Studies, Lund, Suède

Neeayati Patel, DEWA, PNUE, Nairobi, Kenya

Daniele Perrot-Maitre, DEPI, PNUE, Nairobi, Kenya

Ravi Prabhu, DEPI, PNUE, Nairobi, Kenya

Anthony A. Prato, Center for Applied Research and Environmental Systems, University of Missouri, Columbia, Missouri, Etats-Unis

Eliina Rautalahti, DEWA, PNUE, Nairobi, Kenya

Gemma Shepherd, DEWA, PNUE, Nairobi, Kenya

Stephen Twomlow, DEWA, PNUE, Nairobi, Kenya

SUBSTANCES NOCIVES ET DECHETS DANGEREUX

Rédacteur scientifique :

Fred Pearce, journaliste indépendant, Londres, Royaume-Uni

Réviseurs :

Nalini Basavaraj, Secrétariat de la Convention de Bâle, PNUE, Genève, Suisse

Philippe Bourdeau, Université libre de Bruxelles, Académies royales des sciences et des arts, Bruxelles, Belgique

Surya Chandak, International Environmental Technology Centre, DTIE, PNUE, Kusatsu, Japon

Heidlore Fiedler, DTIE, PNUE, Genève, Suisse

Bernard Goldstein, Department of Environmental and Occupational Health, University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pennsylvanie, Etats-Unis

Alastair Iles, Department of Environmental Science Policy and Management, College of Natural Resources, University of California, Berkeley, Californie, Etats-Unis

Matthias Kern, Secrétariat de la Convention de Bâle, PNUE, Genève, Suisse

Juliette Kohler, Secrétariat de la Convention de Bâle, PNUE, Genève, Suisse

Gunilla Lindström, MTM Research Center, Örebro University, Örebro, Suède

David Piper, DTIE, PNUE, Genève, Suisse

David Rickerby, Institut pour la santé et la protection des consommateurs, Centre commun de recherche de la Commission européenne, Ispra, Italie

Nora Savage, National Center for Environmental Research, US Environmental Protection Agency, Washington, D.C., Etats-Unis

Martin Scheringer, Institute for Chemical and Bioengineering, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Suisse

Suzanne M. Skevington, OMS, Centre for the Study of Quality of Life, University of Bath, Bath, Royaume-Uni

Gang Yu, POPs Research Center, Tsinghua University, Pékin, Chine

CHANGEMENT CLIMATIQUE

Rédacteur scientifique :

Catherine McMullen, Allophilia Consultants, Ottawa, Canada

Réviseurs :

Grant Galland, Center for Marine Biodiversity and Conservation, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, Californie, Etats-Unis

Joel Harper, Department of Geosciences, University of Montana, Missoula, Montana, Etats-Unis

Seraphine Haeussling, DTIE, PNUE, Paris, France

Dorothee Herr, IUCN-US Multilateral Office, Washington, D.C., Etats-Unis

Anna Kontorov, DEPI, Nairobi, Kenya

Marcus Lee, Finance, Economics and Urban Department, Banque mondiale, Washington, D.C., Etats-Unis

James Maslanik, Colorado Center for Astrodynamic Research, University of Colorado, Boulder, Colorado, Etats-Unis

W. Tad Pfeffer, Institute of Arctic and Alpine Research, Department of Civil, Environmental, and Architectural Engineering, University of Colorado, Boulder, Colorado, Etats-Unis

Hans Martin Seip, Department of Chemistry, University of Oslo, Oslo, Norvège

Kaveh Zahedi, DTIE, PNUE, Paris, France

CATASTROPHES ET CONFLITS

Rédacteur scientifique :

Justin Ginnett, Tufts University, Medford, Massachusetts, Etats-Unis

Réviseurs :

Marion Cheatle, DEWA, PNUE, Nairobi, Kenya

Salif Diop, DEWA, PNUE, Nairobi, Kenya

Marisol Estrella, DEPI, PNUE, Genève, Suisse

Silja Halle, DEPI, PNUE, Genève, Suisse

Stephanie Hodge, Education Division, UNICEF, New York, Etats-Unis

Terry Jeggie, Center for Disaster Management, University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pennsylvanie, Etats-Unis

David Jensen, DEPI, PNUE, Genève, Suisse

Allan Lavell, Faculté latino-américaine des sciences sociales, San José, Costa Rica

Richard Matthew, Center for Unconventional Security Affairs, University of California, Irvine, Californie, Etats-Unis

Johannes Refisch, DEPI, PNUE, Nairobi, Kenya

Renard Sexton, DEPI, PNUE, Genève, Suisse

Suzanne M. Skevington, OMS, Centre for the Study of Quality of Life, University of Bath, Bath, Royaume-Uni

Henrik Slotte, DEPI, PNUE, Genève, Suisse

Suchitra Sugar, Education Division, UNICEF, New York, Etats-Unis

Suchitra Sugar, Education Division, UNICEF, New York, Etats-Unis

RENDEMENT DES RESSOURCES

Rédacteur scientifique :

Catherine McMullen, Allophilia Consultants, Ottawa, Canada

Réviseurs :

Surya Chandak, International Environmental Technology Centre, DTIE, PNUE, Kusatsu, Japon

Bas de Leeuw, Sustainability Institute, Hartland, Vermont, Etats-Unis

Richard Fleming, Service canadien des forêts, Sault Ste. Marie, Canada

Tessa Goverse, DEWA, PNUE, Genève, Suisse

Bernard Jamet, DTIE, PNUE, Paris, France

Sylvia Karlsson-Vinkhuyzen, Finland Futures Research Centre, Turku School of Economics, Tampere, Finlande

Michael Kuhndt, Wuppertal Institute/UNEP Collaborating Centre on Sustainable Consumption and Production, Wuppertal, Allemagne

Gustavo Mañez i Gomis, DTIE, PNUE, Paris, France

R.E. (Ted) Munn, Centre for Environment, University of Toronto, Toronto, Canada

Jon Samseth, SINTEF, Trondheim, Norvège

Guido Sonnemann, DTIE, PNUE, Paris, France

Jaap von Woerden, DEWA, PNUE, Genève, Suisse

EXPERTS DU CSPE :

Ahmed Hassan Farghally, Service comptable, Cairo University, Cairo, Egypte

Carla Gomez Wichtendahl, Institut de l'environnement, Université d'Ottawa, Ottawa, Canada

Susan Greenwood Etienne, Comité scientifique sur les problèmes de l'environnement, Paris, France

Barbara Göbel, Institut ibéro-américain, Berlin, Allemagne

Guizhen He, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Pékin, Chine

Allan Lavell, Faculté latino-américaine des sciences sociales, San José, Costa Rica

Jérôme Payet, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne, Suisse

W. Tad Pfeffer, Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado, Boulder, Colorado, Etats-Unis

Véronique Plocc Fichetel, Comité scientifique sur les problèmes de l'environnement, Paris, France

Jon Samseth, SINTEF, Trondheim, Norvège

Suzanne M. Skevington, OMS, Centre for the Study of Quality of Life, University of Bath, Bath, Royaume-Uni

Gang Yu, POPs Research Center, Tsinghua University, Pékin, Chine

PRODUCTION :

Márton Bálint
Susanne Bech (Coordinatrice)
Jason Jabbour
John Smith (Rédacteur final)

ASSISTANTS :

Tessa Goverse
Beth Ingraham
Grace Kighenda
Stanley Kinyanjui
Kelvin Memia
Nick Nuttal
Audrey Ringler
Martin Ebeletobbo

Questionnaire

Veillez prendre quelques minutes pour remplir ce questionnaire et nous faire part de ce que vous pensez de cette publication. Merci !

Le PNUE Annuaire 2010 est le dernier rapport en date sur les nouvelles sciences et les récents développements de notre environnement en mutation. Il est produit par le Programme des Nations Unies pour l'environnement en collaboration avec de nombreux experts de l'environnement du monde entier.

1. Veuillez indiquer dans quelle mesure le contenu de chaque chapitre du PNUE Annuaire vous semble utile.					
	Très utile	Utile	Pas très utile	Totalement inutile	Sans opinion
Gouvernance environnementale					
Gestion des écosystèmes					
Substances nocives et déchets dangereux					
Changement climatique					
Catastrophes et conflits					
Rendement des ressources					
Veillez nous faire part de tout autre commentaire éventuel sur le contenu des chapitres :					

2. Veuillez sélectionner l'une des options suivantes pour indiquer dans quelle mesure vous pensez que le PNUE Annuaire est informatif.					
	Très informatif	Informatif	Pas très informatif	Pas du tout informatif	Sans opinion
Gouvernance environnementale					
Gestion des écosystèmes					
Substances nocives et déchets dangereux					
Changement climatique					
Catastrophes et conflits					
Rendement des ressources					
Merci de nous faire part de tout commentaire supplémentaire concernant l'usage que vous avez l'intention de faire des informations fournies dans les différents chapitres :					
3. Merci de nous aider à améliorer le prochain Annuaire en nous suggérant de nouvelles questions émergentes susceptibles de présenter un intérêt pour les lecteurs.					

4. Informations personnelles	
Veillez indiquer à quel type d'organisation vous appartenez :	
Gouvernementale	
Organisation œuvrant pour le développement	
Non gouvernementale/société civile	
D'étude/de recherche	
Organisation internationale	
Secteur privé	
Presse ou médias	
Autre (veuillez préciser) :	

Votre fonction :	
Ministre/directeur/directrice	
Responsable	
Conseiller/conseillère	
Scientifique	
Etudiant(e)	
Expert(e) technique	
Journaliste	
Consultant(e)	
Autre (veuillez préciser) :	

Veillez indiquer en quoi les informations fournies dans l'Annuaire vous sont utiles :	
Intérêt privé	
Commercial	
Recherche/études	
Décideurs politiques	
Education/enseignement	
Travail dans le domaine du développement	
Autre (veuillez préciser) :	

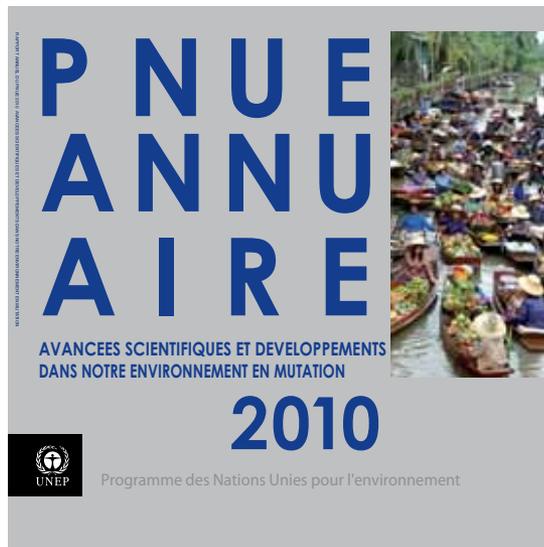
Merci !

Veillez envoyer le questionnaire rempli par courrier à l'adresse suivante :

EarthPrint Limited
P.O. Box 119
Stevenage, Hertfordshire
SG14TP, Angleterre

Vous pouvez répondre à ce questionnaire en ligne à www.unep.org/yearbook/2010

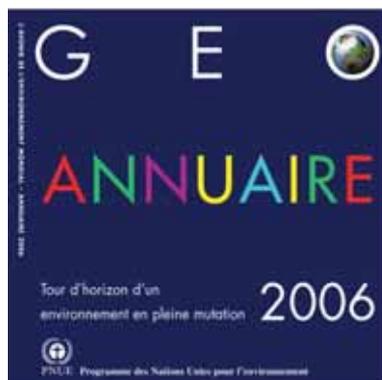
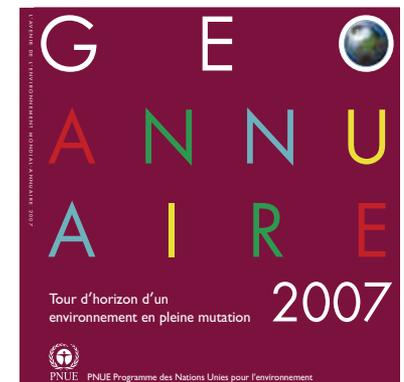
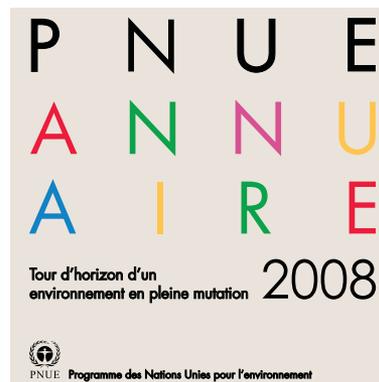
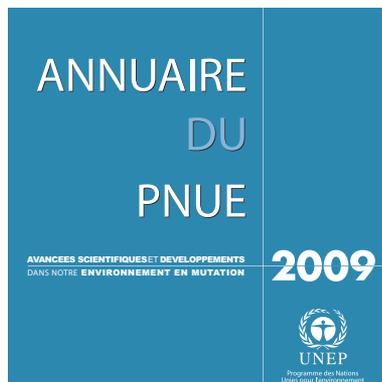
La collection Annuaire



PNUE Annuaire 2010

L'annuaire 2010 fait état de nouvelles sciences de l'environnement et des récents développements de notre environnement en mutation. Il met en évidence les progrès réalisés en matière de gouvernance environnementale, les effets de la constante dégradation et de la destruction de nos écosystèmes, les impacts du changement climatique, l'effet des substances nocives et des déchets dangereux sur notre santé et l'environnement, les catastrophes et les conflits liés à l'environnement ainsi que la surexploitation des ressources.

L'objectif de ce rapport est de consolider l'interface science-politique en présentant de nouvelles données scientifiques susceptibles d'intéresser les décideurs.



L'annuaire 2010 est le septième rapport annuel sur notre environnement en mutation produit par le Programme des Nations Unies pour l'environnement. En six chapitres, il présente les dernières avancées scientifiques et environnementales susceptibles d'intéresser les décideurs.

En 2009, les efforts visant à faire progresser la gouvernance environnementale internationale se sont concentrés sur la définition des fonctions et objectifs clés d'une architecture des Nations Unies améliorée afin de faire face au changement écologique mondial.

Les écosystèmes sont poussés au-delà de leurs seuils critiques. Les vecteurs de changement pouvant provoquer une destruction de la biodiversité et des changements des services écosystémiques gagnent en intensité. L'étendue des zones mortes dans les régions côtières a doublé à chaque décennie depuis les années 1960.

Il reste encore beaucoup à faire pour réduire et limiter les effets des substances nocives et des déchets dangereux sur la santé humaine et l'environnement. De nombreuses questions sur les nanomatériaux restent sans réponse.

Les effets de la hausse des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère sont mieux compris, grâce à l'évaluation d'un nombre accru d'indicateurs de changement climatique. Les observations directes et la modélisation indiquent que la zone intertropicale de la planète s'élargit.

La gestion durable des ressources naturelles peut réduire la vulnérabilité aux catastrophes et conflits et promouvoir la consolidation de la paix. Des outils prometteurs de réduction des risques de conflit et de catastrophe sont en cours d'intégration dans les structures politiques et institutionnelles.

Une meilleure gestion des flux d'énergie et de matériaux contribuera à relever les défis associés aux impacts environnementaux et à favoriser la dissociation de la croissance économique et de l'utilisation des ressources.

L'annuaire 2010 est une lecture indispensable, informative et définitive pour toute personne ayant un rôle à jouer ou un intérêt pour notre environnement en mutation.

www.unep.org

United Nations Environment Programme
P.O. Box 30552, Nairobi 00100, Kenya
Tel: (+254) 20 7621234
Fax: (+254) 20 7623927
E-mail: unep@unep.org
Web: www.unep.org

