

FRONTIÈRES 2018/19

Questions émergentes d'ordre environnemental



© 2019 Programme des Nations Unies pour l'environnement
ISBN: 978-92-807-3738-7
Job no : DEW/2222/NA

Avertissement

Cette publication peut être reproduite en tout ou en partie et sous quelque forme que ce soit à des fins pédagogiques et non lucratives sans autorisation spéciale du détenteur des droits d'auteur, à condition d'en mentionner la source. L'ONU Environnement souhaiterait recevoir un exemplaire de toute publication utilisant ce document comme source.

La présente publication ne peut être ni revendue ni utilisée à quelque fin commerciale que ce soit sans l'autorisation écrite préalable de l'ONU Environnement. Toute demande d'autorisation, mentionnant l'objectif et la portée de la reproduction, doit être adressée au Directeur de la Division de la communication, ONU Environnement, P.O. Box 30552, Nairobi, 00100, Kenya.

Les appellations employées dans le présent document, et la présentation des données qui y figurent n'impliquent aucune prise de position de la part de l'ONU Environnement quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Pour plus d'informations concernant l'utilisation des cartes dans les publications, veuillez consulter la page suivante : <http://www.un.org/Depts/Cartographic/french/htmain.htm>.

La mention de toute société commerciale ou de tout produit dans la présente publication ne signifie pas que l'ONU Environnement s'en porte garant. L'utilisation, à des fins de publicité, d'informations issues de la présente publication et concernant des produits brevetés n'est pas autorisée.

© Cartes, photos et illustrations, comme précisé.

Pour citer ce document

PNUE, 2019. *Frontières 2018/19, Questions émergentes d'ordre environnemental*, Programme des Nations Unies pour l'environnement, Nairobi

Production

Division de la science
ONU Environnement
P.O. Box 30552,
Nairobi, 00100, Kenya
Tél. : (+254) 20 7621234
Courriel : publications@unenvironment.org
Site : www.unenvironment.org



L'ONU
Environnement s'efforce de
promouvoir des pratiques
respectueuses de l'environnement
dans le monde entier comme dans
ses propres activités. Notre politique
de distribution vise à réduire
l'empreinte carbone de l'ONU
Environnement.

FRONTIÈRES 2018/19

Questions émergentes d'ordre environnemental

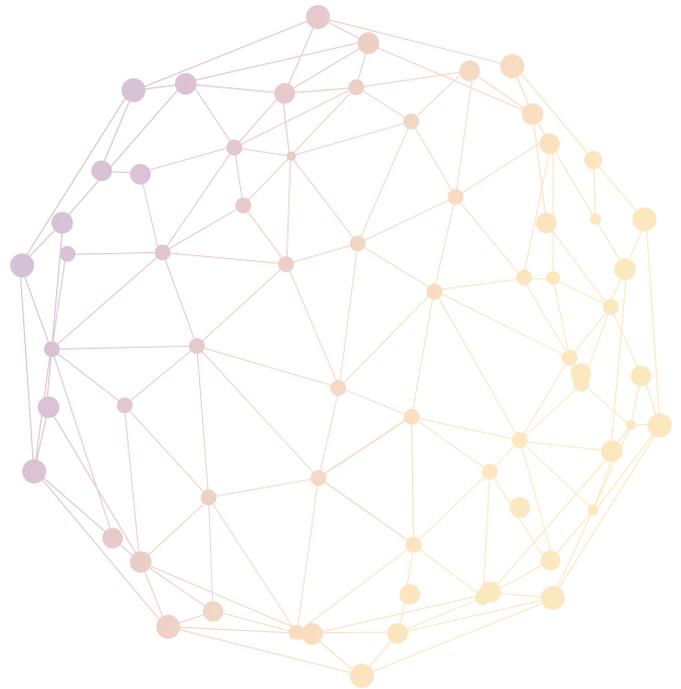




Table des matières

	Avant-propos	7
	Remerciements	8
	Biologie synthétique : reconfigurer l'environnement	10
	Opportunités et défis	10
	Réécrire le code de la vie	12
	Redéfinition des applications : du laboratoire aux écosystèmes	16
	Innover avec sagesse	18
	Bibliographie	20
	Connectivité écologique : une passerelle vers la préservation de la biodiversité	24
	Rétablir le lien entre les écosystèmes fragmentés	24
	Les forces de fragmentation	26
	Promouvoir des solutions de connectivité	30
	Fixer des objectifs de connectivité future	32
	Bibliographie	34
	Les tourbières à pergélisol : perdre du terrain sur une planète qui se réchauffe	38
	L'évolution accélérée de l'Arctique	38
	Fonte du pergélisol, décomposition de la tourbe et interactions complexes	40
	Une meilleure connaissance des tourbières à pergélisol	44
	Priorités en matière de connaissances et expansion du réseau	46
	Bibliographie	48
	La solution de l'azote : de la pollution du cycle de l'azote à l'économie circulaire de l'azote	52
	Le défi mondial de la gestion de l'azote	52
	Les éléments connus et les « inconnues connues » concernant l'azote	54
	Fragmentation des politiques et solutions d'économie circulaire	58
	Vers une approche internationale holistique de l'azote	60
	Bibliographie	62
	Une mauvaise adaptation au changement climatique : éviter les pièges se trouvant sur la voie de l'évolutivité	66
	Définir l'adaptation et la mauvaise adaptation dans un contexte de changement climatique	66
	La mauvaise adaptation à grande échelle	68
	Éviter la mauvaise adaptation dans un avenir limité à une hausse de la température de 1,5 °C	73
	Bibliographie	74



Avant-propos



Au début du XX^e siècle, les chimistes allemands Fritz Haber et Carl Bosch ont mis au point un processus permettant de produire de l'azote synthétique à un coût abordable et en grande quantité. Leur invention, qui a stimulé la production de masse d'engrais azotés, a transformé les pratiques agricoles du monde entier. Elle a aussi marqué le début de notre interférence à long terme avec le bilan azoté de la Terre. Chaque année, l'équivalent de 200 milliards de dollars US d'azote réactif est rejeté dans l'environnement. Ce phénomène contribue à la dégradation de nos sols, à la pollution de notre air, à l'extension des « zones mortes » ainsi qu'à la prolifération d'algues toxiques dans nos cours d'eau.

Il n'est donc pas surprenant que de nombreux scientifiques estiment que l'ère géologique actuelle devrait officiellement porter le nom d'« Anthropocène ». En seulement quelques décennies, le genre humain a provoqué une hausse des températures mondiales 170 fois plus rapide que la normale. Nous avons également transformé délibérément plus de 75 pour cent de la surface terrestre, et modifié de façon permanente le flux de plus de 93 pour cent de nos cours d'eau. Non seulement nous modifions drastiquement la biosphère, mais nous sommes maintenant également capables de réécrire, et même de créer ex nihilo, les éléments

constitutifs de la vie.

Chaque année, un réseau de scientifiques, de spécialistes et d'institutions du monde entier collabore avec l'ONU Environnement pour identifier et examiner les problèmes émergents qui auront des effets marqués sur notre société, notre économie et notre environnement. Certains de ces problèmes sont liés aux nouvelles technologies qui ont des applications étonnantes mais présentent des risques incertains, tandis que d'autres, tels que la fragmentation des paysages sauvages et la fonte des pergélisols, constituent des préoccupations de longue date. Autre problème soulevé : la pollution azotée, qui représente l'une des conséquences inattendues de plusieurs décennies d'activités humaines dans la biosphère. Un mauvaise adaptation au changement climatique, dernier point abordé dans ce rapport, met en évidence notre incapacité à nous adapter suffisamment et convenablement à un monde en constante mutation.

Le présent rapport contient toutefois de bonnes nouvelles. Comme vous pourrez le lire dans les pages suivantes, une approche globale vis-à-vis de la gestion de l'azote, une problématique mondiale, est en train de se mettre en place. En Chine, en Inde et dans l'Union européenne, des efforts prometteurs commencent à être déployés en vue de réduire les pertes et d'améliorer l'efficacité des engrais azotés. À long terme, la récupération et le recyclage de l'azote, ainsi que d'autres matières et nutriments précieux, peuvent nous aider à mener des activités agricoles propres et durables en vue de mettre en place une économie véritablement circulaire.

Les problématiques abordées dans le rapport Frontières visent à nous rappeler que chaque fois que nous interférons avec la nature, que ce soit à l'échelle de la planète ou au niveau moléculaire, nous prenons le risque de créer des effets à long terme sur notre environnement. En faisant preuve de prévoyance et en travaillant de concert, nous pouvons éviter ces problèmes et mettre au point des solutions qui seront utiles à tous pendant des générations.

Joyce Msuya
Directrice exécutive par intérim,
Programme des Nations Unies pour l'Environnement

Remerciements

Biologie synthétique : reconfigurer l'environnement

Auteurs principaux

Bartłomiej Kolodziejczyk, H2SG Energy Pte. Ltd., Singapour
Natalie Kofler, Yale Institute for Biospheric Studies, Université de Yale, Connecticut, États-Unis

Contributeurs et réviseurs

Marianela Araya, Convention sur la diversité biologique, Montréal, Canada
James Bull, College of Natural Sciences, Université du Texas à Austin, Texas, États-Unis
Jackson Chamber, Département de statistiques biologiques et de bio-informatique, Cornell University, New York, États-Unis
Chen Liu, Département de statistiques biologiques et de bio-informatique, Cornell University, New York, États-Unis
Yongyuth Yuthavong, Agence nationale thaïlandaise pour le développement de la science et de la technologie, Pathumthani, Thaïlande

Connectivité écologique : une passerelle vers la préservation de la biodiversité

Auteur principal

Gary Tabor, Center for Large Landscape Conservation, Montana, États-Unis

Contributeurs et réviseurs

Maya Bankova-Todorova, Fonds Mohamed bin Zayed pour la conservation des espèces, Abou Dhabi, Émirats arabes unis
Camilo Andrés Correa Ayram, Institut Alexander von Humboldt de recherche sur les ressources biologiques, Bogotá, Colombie
Letícia Couto Garcia, Université fédérale du Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Brésil
Valerie Kapos, ONU Environnement – Centre mondial de surveillance de la conservation de la nature, Cambridge, Royaume-Uni
Andrew Olds, School of Science and Engineering, University of the Sunshine Coast, Maroochydore, Australie
Ileana Stupariu, Faculté de géographie, Université de Bucarest, Roumanie

Les tourbières à pergélisol : perdre du terrain sur une planète qui se réchauffe

Auteur principal

Hans Joosten, Université de Greifswald/Greifswald Mire Centre, Greifswald, Allemagne

Contributeurs et réviseurs

Dianna Kopansky, ONU Environment, Nairobi, Kenya
David Olefeldt, Faculté des sciences de l'agriculture, de la vie et de l'environnement, Université de l'Alberta, Edmonton, Canada
Dmitry Streletskiy, Department de géographie, The George Washington University, Washington DC, États-Unis

La solution de l'azote : de la pollution du cycle de l'azote à l'économie circulaire de l'azote

Auteurs principaux

Mark Sutton, Centre for Ecology & Hydrology, Édimbourg, Royaume-Uni
Nandula Raghuram, Guru Gobind Singh Indraprastha University, New Delhi, Inde
Tapan Kumar Adhya, Kalinga Institute of Industrial Technology, Bhubaneswar, Odisha, Inde

Contributeurs et réviseurs

Jill Baron, Commission géologique des États-Unis, Colorado, États-Unis
Christopher Cox, ONU Environnement, Nairobi, Kenya
Wim de Vries, Université et centre de recherche de Wageningen, Wageningen, Pays-Bas
Kevin Hicks, Institut de Stockholm pour l'environnement, York, Royaume-Uni
Clare Howard, Centre for Ecology & Hydrology, Édimbourg, Royaume-Uni
Xiaotang Ju, College of Agricultural Resources and Environmental Science, Université agricole de Chine, Pékin, Chine
David Kanter, College of Arts and Science, Université de New York, New York, États-Unis
Cargele Masso, Institut international d'agriculture tropicale, Ibadan, Nigéria

Jean Pierre Ometto, Institut national de recherche spatiale, São José dos Campos, Brésil
Ramesh Ramachandran, Centre national de gestion durable des zones côtières, ministère de l'Environnement, des Forêts et du Changement climatique, Chennai, Inde
Hans Van Grinsven, Agence néerlandaise d'évaluation environnementale PBL, La Haye, Pays-Bas
Wilfried Winiwarter, Institut international pour l'analyse appliquée des systèmes, Laxenburg, Autriche

Une mauvaise adaptation au changement climatique : éviter les pièges se trouvant sur la voie de l'évolutivité

Auteur principal

Catherine McMullen, Institut de Stockholm pour l'environnement, Bangkok, Thaïlande

Contributeurs et réviseurs

Thomas Downing, Global Climate Adaptation Partnership, Oxford, Royaume-Uni
Anthony Patt, Institut pour les décisions environnementales, EPF Zürich, Zürich, Suisse
Bernadette Resurrección, Institut de Stockholm pour l'environnement, Bangkok, Thaïlande
Jessica Troni, ONU Environnement, Nairobi, Kenya

Nous tenons tout particulièrement à remercier :

Alexandra Barthelmes et Cosima Tegetmeyer, Greifswald Mire Centre, Allemagne ; Marin Klinger, National Snow and Ice Data Center, Colorado, États-Unis ; Salome Chamanje, David Cole, Nicolien Delange, Angeline Djampou, Philip Drost, Virginia Gitari, Jian Liu, Ariana Magini, Nada Matta, Pauline Mugo, Susan Mutebi-Richards, Shari Nijman, Andreas Obrecht, Samuel Opiyo, Moses Osani, Roxanna Samii, Rajinder Sian, Nandita Surendran et Josephine Wambua, ONU Environnement

Conseillers en production

Maarten Kappelle et Edoardo Zandri, ONU Environnement, Nairobi, Kenya

Équipe de production

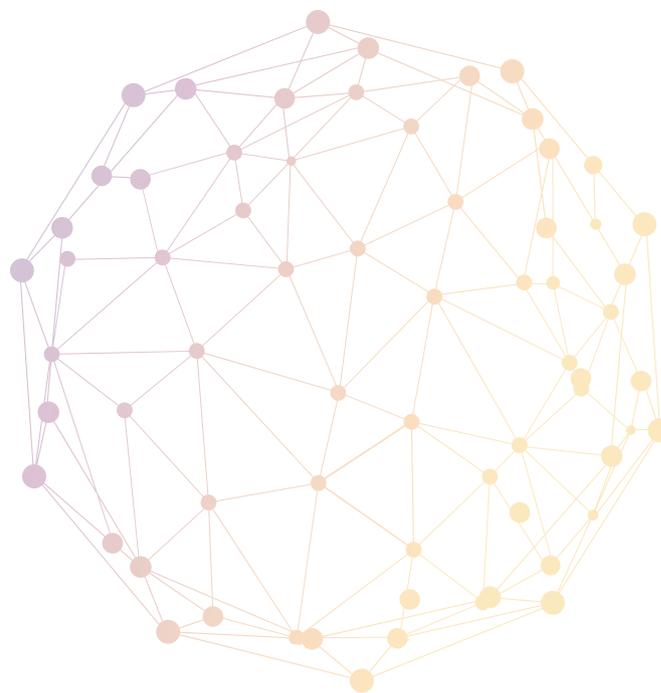
Rédacteur en chef : Pinya Sarasas, ONU Environnement
Soutien technique : Allan Lelei, ONU Environnement
Relectrice : Alexandra Horton, Royaume-Uni

Conception graphique et mise en page

Infographiste : Audrey Ringler, ONU Environnement
Cartographe : Jane Muriithi, ONU Environnement

Impression

UNON/Section des services de publication/Nairobi, certifié ISO ISO14001:2004





*Inondation de Bangkok en 2011, Thaïlande
Crédit photo : Wutthichai / Shutterstock.com*

Mauvaise adaptation au changement climatique : éviter les pièges se trouvant sur la voie de l'évolutivité

Définir l'adaptation et la mauvaise adaptation dans le cadre du changement climatique

Les métaphores sont essentielles à la pensée logique. Les termes « adaptation » et « mauvaise adaptation » utilisés dans le cadre de la recherche et des politiques relatives au changement climatique proviennent de la biologie évolutionniste¹. Essentiellement, des mutations génétiques surviennent spontanément à chaque génération d'une espèce et un processus de sélection naturelle, imposé par l'environnement extérieur, décide de la réussite ou de l'échec de ces mutations et, par conséquent, de l'espèce. Ce concept peut s'appliquer aux bactéries, aux plantes, aux animaux, aux écosystèmes et même aux comportements humains. L'une des principales caractéristiques d'une adaptation réussie est l'évolutivité, c'est-à-dire la capacité d'une espèce à continuer à évoluer en s'adaptant aux conditions environnantes qui se modifient². En biologie évolutionniste, une caractéristique typique d'une mauvaise adaptation est l'absence d'évolutivité.

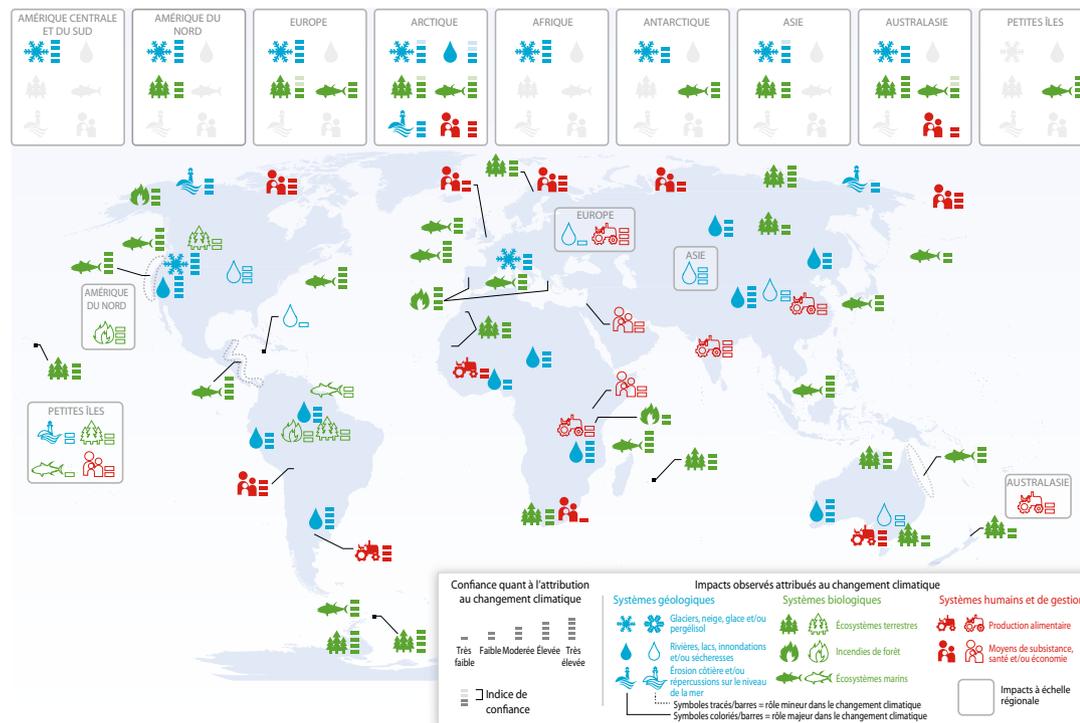
Elle est le signe de la fin annoncée d'une espèce. Tandis que le terme « adaptation » vient de la biologie évolutionniste, son utilisation pour désigner les réponses humaines réussies face aux changements environnementaux a débuté avec la gestion des catastrophes. Dans ce domaine, toutes les réponses humaines à une catastrophe sont considérées comme des adaptations au changement de situation, y compris les efforts visant à atténuer ou interrompre l'origine de la catastrophe³. La distinction entre la réduction et l'adaptation a été faite lors des négociations de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). L'une des raisons de cette distinction est que les négociateurs n'accordaient pas toute leur attention à un accord de réduction ou d'atténuation si une solution d'adaptation apparaissait comme une possibilité plus accessible⁴. Une autre explication est que les pays développés étaient uniquement prêts à soutenir les efforts ayant des répercussions mondiales, tels que la réduction du dioxyde de carbone dans l'atmosphère, et non ceux visant une adaptation locale⁵.

Au fur et à mesure que les négociations avançaient, les chercheurs ont cherché à comprendre comment et pourquoi certaines mesures d'adaptation échouaient, en particulier celles entraînant le gaspillage d'un volume important de ressources humaines, naturelles et financières⁶. La formulation des théories ci-dessus a fait prendre conscience au Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) combien il était important d'adopter une terminologie précise et claire. En 2001, le GIEC a proposé une définition nuancée de la mauvaise adaptation, différente de celle utilisée en biologie ou en sciences comportementales, en définissant la mauvaise adaptation comme « une adaptation qui échoue à réduire la vulnérabilité, mais au contraire, l'accroît »⁷. Les discussions se sont ensuite concentrées sur les différences entre une mauvaise adaptation et une adaptation infructueuse. Une adaptation infructueuse peut être neutre et signifier simplement qu'une action a échoué. Toutefois, lorsqu'une adaptation prévue entraîne un accroissement de la vulnérabilité d'autres groupes ou secteurs, même à plus long terme, on la considère comme étant une mauvaise adaptation⁸. De même, une adaptation infructueuse ou une mauvaise adaptation ne doit pas être confondue avec

une fausse adaptation, à savoir des projets inutiles présentés comme une adaptation, tels que des infrastructures coûteuses servant uniquement les intérêts d'un petit groupe, sans réellement améliorer la résilience ou réduire la vulnérabilité au changement climatique⁹.

La réflexion sur la mauvaise adaptation se poursuit et une étude influente a abordé le problème du point de vue de ses résultats, identifiant ainsi cinq catégories de mauvaise adaptation par rapport aux autres possibilités. Selon cette analyse, les mauvaises adaptations désignent des actions qui augmentent les émissions de gaz à effet de serre, font peser une charge disproportionnée sur les plus vulnérables, induisent des coûts d'opportunité élevés, limitent les mesures incitatives à l'adaptation ou tracent un chemin qui limite les choix dont disposeront les générations futures⁸. Ces caractéristiques ont été développées et approfondies par le GIEC dans son cinquième Rapport d'évaluation 2014¹⁰. Au fur et à mesure que la différence entre les concepts d'adaptation et de mauvaise adaptation s'éclaircit et que nous sommes mieux à même de les distinguer, la gestion des conséquences du changement climatique devrait s'avérer moins intimidante.

Schémas mondiaux des impacts observés du changement climatique



Chaque symbole colorisé figurant dans le panneau supérieur indique un groupe de systèmes pour lequel le changement climatique a joué un rôle majeur dans les changements observés dans au moins un système de ce groupe, dans la région concernée. L'indice de confiance quant à l'attribution de ces impacts pour toute la région est symbolisé par les barres. Les symboles dont seul le contour est dessiné et figurant dans un cadre avec le nom de la région concernée représentent les impacts régionaux pour lesquels le changement climatique a joué un rôle mineur. Les impacts infrarégionaux sont indiqués par des symboles sur la carte, placés approximativement à l'endroit où ils ont été observés. La région touchée peut aller d'un lieu précis à une vaste région, telle qu'un grand bassin hydrographique. Les impacts sur les systèmes physiques (bleu), biologiques (vert) et humains (rouge) se distinguent par leur couleur. Le fait qu'un impact du changement climatique ne soit pas représenté sur ce graphique ne signifie pas qu'il n'a pas eu lieu.

Source : cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat¹¹

La mauvaise adaptation à grande échelle

Face au changement climatique, le concept de mauvaise adaptation est passé de la notion d'adaptation qui a échoué à des mesures d'adaptation qui endommagent les ressources, réduisent les perspectives futures, aggravent le problème pour les populations vulnérables ou transfèrent la responsabilité de trouver des solutions aux générations futures. Si une mesure d'adaptation freine l'atteinte des objectifs de développement durable, d'équité sociale et d'éradication de la pauvreté, notamment en faisant peser une charge disproportionnée sur les populations vulnérables, elle est considérée comme une mauvaise adaptation¹². Les efforts mis en œuvre pour éviter la mauvaise adaptation à grande échelle comprennent des recherches pour identifier les principaux risques, ainsi que des stratégies d'adaptation responsables tout au long du cycle de vie des éléments d'infrastructure qui peuvent étayer les décisions et les actions des planificateurs et législateurs, des concepteurs, constructeurs, opérateurs, investisseurs et assureurs¹³. Les menaces associées à la mauvaise adaptation s'aggraveront probablement avec le déploiement des efforts à plus grande échelle. Rappeler les caractéristiques de l'évolutivité biologique pourrait permettre un examen préliminaire des actions d'adaptation, tandis qu'accorder la priorité à la préservation de l'évolutivité pourrait prévenir de graves erreurs.

Limiter les possibilités futures à l'installation d'une digue le long d'une propriété privée pourrait être considéré comme une forme de mauvaise adaptation, car elle entraînerait des problèmes et entraverait les possibilités qui s'offrent aux voisins, mais les conséquences d'une telle action se limitent généralement au contexte local. Toutefois, si une action mal étudiée vient aggraver le problème initial ou limiter les possibilités futures à l'échelle régionale ou mondiale, elle est considérée comme une mauvaise adaptation beaucoup plus dangereuse. À une échelle plus large, de telles mauvaises adaptations peuvent non seulement freiner l'évolutivité, mais également mettre en péril la résilience des écosystèmes, les modes de vie et les sociétés tout entières. La portée des mesures mal adaptées, en particulier celles augmentant les émissions de gaz à effet de serre ou accélérant la dégradation des écosystèmes, pourrait contribuer à la réponse biogéophysique qui fera basculer les fonctions du système terrestre. Nombre de ces éléments responsables du basculement sont irréversibles, tels que la perte du pergélisol, des récifs coralliens ou de la forêt tropicale amazonienne, et pourraient nous faire dépasser les seuils planétaires¹⁴.

Le rapport *Global Warming of 1.5°C* du GIEC de 2018 sur un réchauffement planétaire de 1,5 °C identifie plusieurs conditions préalables à une adaptation réussie, démontrant l'importance



Résumé de la notion de mauvaise adaptation abordée dans le cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat¹⁰

Dans le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC de 2014, le Groupe de Travail II sur les incidences, l'adaptation et la vulnérabilité définit la mauvaise adaptation comme « des actions pouvant engendrer un risque accru de répercussions néfastes sur le climat, une plus grande vulnérabilité au changement climatique ou une diminution du niveau de bien-être, maintenant ou à l'avenir ». Il présente également un tableau récapitulatif des douze grandes catégories de mauvaise adaptation.

Deux de ces catégories définies par le Groupe de travail II décrivent des actions qui ignorent délibérément des paramètres connus : l'incapacité à anticiper les changements climatiques prévus et la non-prise en compte des répercussions plus larges. D'autres catégories portent sur la préférence des avantages à court terme au détriment des vulnérabilités à long terme, y compris l'épuisement des ressources qui entraîne une vulnérabilité future ; sur la procrastination à défaut d'une action immédiate ; sur l'installation d'infrastructures non durables ; et sur le risque moral encouru lorsque l'on encourage la prise de risques au travers de différents plans offrant des compensations.

Les catégories restantes se concentrent sur les actions favorisant un groupe spécifique, souvent une élite, sachant que le maintien des privilèges peut entraîner des conflits, et sur les actions qui ne tiennent pas compte des connaissances, des traditions et des relations locales. Cependant, continuer à appliquer des mesures traditionnelles si celles-ci sont considérées comme inappropriées est également une forme de mauvaise adaptation.

En outre, le Groupe de travail II met en garde contre les actions qui créent des dépendances ne pouvant pas être corrigées facilement, et contre les actions, en particulier celles créant des protections et des solutions, qui excluent les approches parallèles, telles que les mesures d'adaptation écosystémiques. Enfin, la migration peut être considérée comme une adaptation ou une mauvaise adaptation, ou les deux, selon le contexte et le résultat.

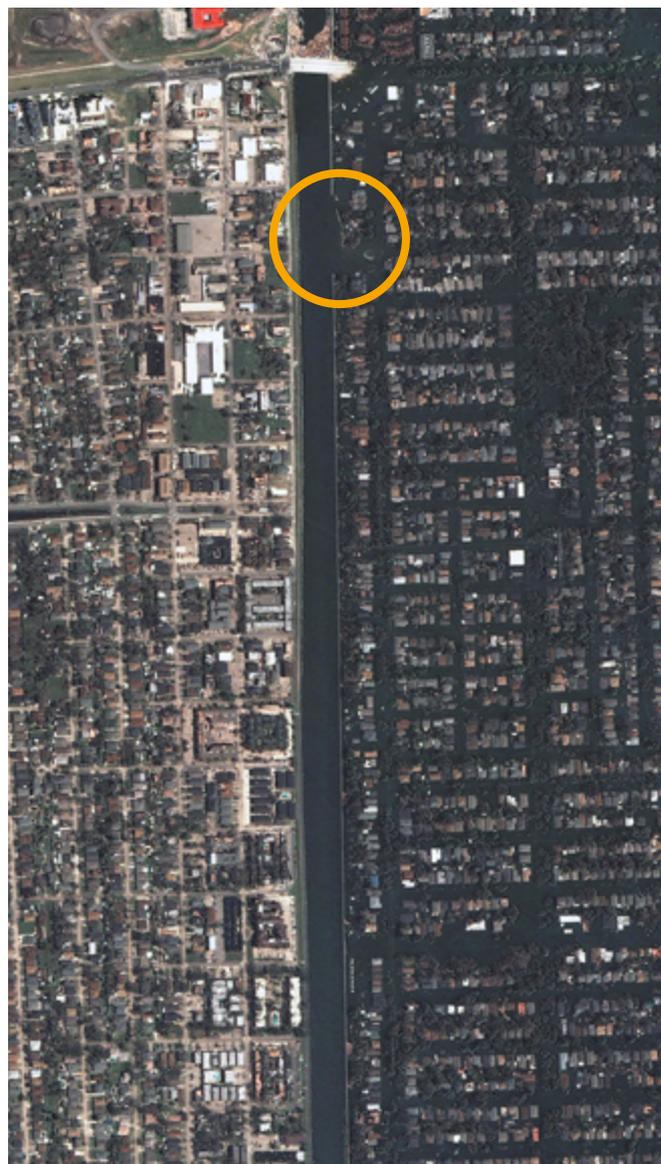
d'une planification et d'une mise en œuvre adaptées au climat durant la transition vers une hausse de la température acceptable¹⁵. Il est crucial d'éviter une mauvaise adaptation dans cette démarche de transition. Plusieurs exemples régionaux, s'identifiant ou non comme des réponses au changement climatique, peuvent s'avérer utiles pour examiner les différents scénarios possibles face au changement climatique à venir. Ces exemples sont des échantillons de catégories présentés dans le cinquième Rapport du GIEC et dans la documentation existante.

Équilibrer la demande à court terme et la planification de la résilience à long terme

En matière d'équilibre entre les avantages à court et à long terme, le Projet d'infrastructures côtières résilientes au climat mis en œuvre dans le sud-ouest du Bangladesh a déjà été présenté comme un exemple de mauvaise adaptation possible¹⁶. L'avance d'un tel constat est basée sur l'examen des avantages d'adaptation au cours des deux prochaines décennies par rapport aux coûts à long terme d'une mauvaise adaptation qui augmenteront considérablement d'ici 2050 lorsque la région sera inondée du fait de l'élévation du niveau de la mer¹⁶. Les problèmes d'adaptation possibles portent sur la migration, qu'il s'agisse d'immigration vers la région ou d'émigration de la région. Les investisseurs s'attendent à ce que les nouveaux marchés et des routes, ponts, systèmes de tout-à-l'égout et abris anticycloniques de meilleure qualité incitent les populations côtières à rester, alors qu'elles devraient probablement migrer vers l'intérieur des terres. Il est fort probable que ces installations attirent de nouveaux arrivants, y compris une partie de la population des quartiers informels de Dhaka qui a déjà été déplacée à la suite de catastrophes environnementales¹⁹.

Une charge disproportionnée pèse sur les populations les plus vulnérables

Les tentatives d'adaptation aux conditions changeantes en agissant sur plusieurs fronts peuvent être synonymes de mauvaise adaptation pour certains groupes de population. Après le passage dévastateur de l'ouragan Katrina en 2005 à la Nouvelle-Orléans et ses environs (États-Unis), les projets initiaux prévoyant l'installation de nouvelles zones vertes pour renforcer la résilience de la ville contre les futures inondations semblaient porter principalement sur l'acquisition de terres de basse altitude appartenant traditionnellement aux populations afro-américaines pauvres, plutôt qu'à d'autres groupes^{12,19}. Cette proposition de rénovation urbaine n'a pas été acceptée. Toutefois, plus d'une décennie plus tard, des études ont montré qu'une grande partie des habitants les plus pauvres et les plus marginalisés de la ville n'avait pas retrouvé le peu de biens qu'elle possédait avant la catastrophe et qu'une majorité avait été contrainte de quitter la région^{12,20}.



En août 2005, l'ouragan Katrina a causé d'importants dégâts sur plusieurs parties du système de digue conçu pour protéger la ville de la Nouvelle-Orléans, située sur les basses terres, contre les inondations et les ondes de tempête. Comme le montre cette image satellite, une rupture de la digue a permis à l'eau du 17th Street Canal de se répandre et d'inonder les quartiers situés à l'est du canal, causant des millions de dollars de dégâts matériels.

Crédit photo : Digital Globe (www.digitalglobe.com)

Mauvaise adaptation au changement climatique

Les exemples représentés ci-contre montrent un éventail de mesures d'adaptation au changement climatique à différents niveaux. Certains exemples sont considérés comme des formes de mauvaise adaptation en raison des conséquences imprévues qu'ils engendrent ou de leurs répercussions dans un avenir proche. D'autres sont des mesures prises après avoir examiné plusieurs facteurs afin d'éviter la mauvaise adaptation.

La mauvaise adaptation, telle que définie par le GIEC, est une mesure visant à améliorer l'adaptation, mais qui accroît à la place le risque de dommages liés au changement climatique, augmente la vulnérabilité au changement climatique et diminue le bien-être, maintenant ou à long terme.

Les mauvaises adaptations sont un mauvais choix parmi les possibilités existantes, qui augmente les émissions de gaz à effet de serre, affecte de manière disproportionnée les populations les plus vulnérables, entraîne des coûts injustifiés, réduit les incitations à l'adaptation ou limite les choix qui s'offriront aux générations futures.

Prise de décision qui **ignore la science**, les implications plus larges ou les conséquences probables

Actions favorisant un groupe d'intérêt par rapport à un autre, jetant les bases de **futurs conflits et dommages**

Compromis peu judicieux : avantages à court terme contre avantages à long terme, risque contre récompense (risque moral), période de réflexion trop courte contre trop longue

Actions qui **créent un enfermement et une dépendance** ou qui suppriment les possibilités pour les générations futures

Reinstallation plaçant les populations dans des **conditions encore plus menaçantes**

Sécheresse

Le changement climatique perturbe le cycle hydrologique. Les sécheresses vont s'intensifier et devenir plus fréquentes et plus longues, compromettant les usages anthropiques de l'eau et le fonctionnement écologique. Les périodes de sécheresse prolongées provoquent la surexploitation des eaux souterraines et les aquifères sont rarement suffisamment rechargés au moment des pluies.

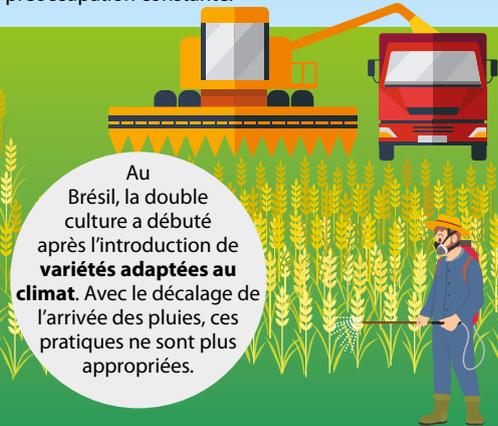
D'ici à 2025, **48 % des terres émergées de la planète** seront probablement des terres arides.

Des sécheresses à répétition ont poussé 70% des pauvres éleveurs Somalis à se reconvertir dans la production de charbon, ce qui a entraîné un déboisement ayant lui-même conduit à l'**accélération du processus de désertification** et au **renforcement des vulnérabilités**.

Agriculture

Les événements climatiques extrêmes persistants menacent les systèmes de production agricole. Les agriculteurs se vantent de leurs capacités d'adaptation, mais ces événements extrêmes surviennent si fréquemment, et pour une durée si imprévisible, que l'adaptation devient une préoccupation constante.

Au Zimbabwe, certains agriculteurs compensent les incertitudes climatiques en augmentant l'utilisation de pesticides. Trop souvent, les insectes utiles sont éliminés, aggravant ainsi la situation.



Au Brésil, la double culture a débuté après l'introduction de **variétés adaptées au climat**. Avec le décalage de l'arrivée des pluies, ces pratiques ne sont plus appropriées.

Pénurie d'eau

D'ici à 2050, il est probable que 5,7 millions de personnes vivent dans des zones caractérisées par une pénurie d'eau. Certaines régions doivent déjà s'adapter à l'heure actuelle à une pénurie d'eau en exploitant les eaux souterraines, en rationalisant l'eau ou en la dessalant. De telles mesures peuvent s'avérer de mauvaises adaptations sur le long terme.

La ville de Mexico est confrontée à une pénurie d'eau. Exploiter les sources d'eau souterraine éloignées est une solution à court terme. Les mesures d'adaptation actuelles consistent à investir dans des solutions à long terme, telles que des moyens de collecte de l'eau de pluie et de traitement puis de réutilisation des eaux grises.



Santé

La modification des zones climatiques et l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes ont des répercussions sur la santé. Cette variabilité entraîne des pertes de récoltes et élargit l'aire de répartition des vecteurs de maladies qui menacent certaines espèces, ainsi que la population humaine.

Les antibiotiques sont utilisés à outrance et à mauvais escient pour prévenir et pour traiter les problèmes vétérinaires. Cette mauvaise adaptation aux **maladies vectorielles** accentue la menace de résistance des antibiotiques.

Une étude a montré que les bouses d'un bétail traité aux antibiotiques **contenaient davantage de méthane** que celles ne contenant pas d'antibiotiques. Les résidus antibiotiques avaient également modifié les microbes présents dans les intestins des bousiers.



Élévation du niveau des océans

Le niveau des océans continue de monter à l'échelle de la planète, menaçant les infrastructures, les ressources d'eau souterraines, les îles formant une barrière naturelle et les communautés côtières. La menace existentielle à laquelle font face les nations de faible altitude et les petits États insulaires se transforme en mode de vie pour des millions de personnes.

La loi de l'État garantit l'accès des populations autochtones d'Hawaï aux côtes à des fins culturelles et d'activités de pêche de subsistance. L'élévation du niveau des océans limite l'accès du public aux zones côtières, affectant de manière disproportionnée les populations pauvres, tout en favorisant les développements qui génèrent des profits privés.

Les niveaux d'eau du « Canal de Floride » sont contrôlés de façon à limiter l'**intrusion d'eau salée** dans les eaux souterraines. Toutefois, augmenter les niveaux d'eau du Canal pour empêcher l'intrusion saline contribue à accroître les risques d'inondation.

Inondations

Les inondations sont l'un des effets du changement climatique les plus fréquemment recensés à l'échelle mondiale. Les systèmes de gestion de l'eau et des inondations qui ont fait leurs preuves par le passé ne suffisent plus. Alors que les changements climatiques se poursuivent, il est indispensable d'adopter une gestion adaptative et d'impliquer un large panel d'intervenants afin d'éviter une mauvaise adaptation.

La région métropolitaine de Bangkok est en proie aux inondations du fait du manque de planification et d'investissement. L'« **adaptation autonome** » non planifiée et non coordonnée entraîne des inondations en aval et affaiblit l'ensemble du système public d'évacuation des eaux usées. En 2011, les interventions officielles en réponse aux inondations ont protégé les populations aisées et ont fait peser une lourde charge sur les groupes vulnérables.

Incendies de forêt

Au niveau mondial, la durée de la saison des incendies a augmenté de 19 pour cent entre 1979 et 2013. Les incendies de forêt jouent un rôle prépondérant dans la régulation des écosystèmes de la planète ; toutefois, les destructions qu'ils entraînent sur leur passage constituent une menace pour les systèmes socioéconomiques. Dans certaines régions, les stratégies de gestion courantes exacerbent le problème.

Après des décennies de lutte contre les incendies et cinq ans de sécheresses liées au climat, les forêts californiennes contiennent énormément de **matériaux combustibles**. Dans une optique de transformation, l'État met en œuvre le brûlage dirigé pour pouvoir gérer cette menace.

Villes

D'ici à 2050, 70 pour cent de la population globale vivra en ville. À l'échelle mondiale, les villes subissent déjà les effets du changement climatique sous la forme de vagues de chaleur, d'inondations et d'échec d'adaptation. Les adaptations urbaines peuvent prendre la forme de politiques, d'aménagements d'infrastructures ou de solutions technologiques. Les solutions apportées sont rarement bénéfiques pour l'ensemble de la population et peuvent menacer certains groupes marginalisés.

Vulnérabilité sociétale

Partout dans le monde, les populations ont pris diverses mesures pour s'adapter au changement climatique : un nouveau système d'approvisionnement en eau, des plans d'assurance, de nouvelles stratégies de subsistance, une migration volontaire ou forcée et des projets de réinstallation. Lorsque ces méthodes basées sur de bonnes intentions ne sont pas adaptées au contexte local ou ne prennent pas en compte les multiples facettes d'un problème, elles peuvent accroître la vulnérabilité.

Certains agriculteurs cherchent à se protéger des événements climatiques extrêmes en **assurant leurs récoltes**, ce qui freine la mise en place de stratégies d'adaptation.

Les **politiques d'assurance** sont mal adaptées lorsqu'elles soutiennent les comportements risqués, tels que la reconstruction dans les lieux dangereux, ou qu'elles encouragent le remplacement plutôt que la nouvelle conception d'infrastructures adaptées à l'évolution de la situation. Tandis que les menaces climatiques s'intensifient, les assurances peuvent procurer un **faux sentiment de sécurité**.

Les projets de réinstallation de la Chine en vue d'une adaptation au changement climatique ont offert des incitations financières et ont amélioré les conditions de vie. Ils ont également **accru la charge disproportionnée** qui pesait déjà sur les laissés-pour-compte, les personnes déplacées et les populations pauvres.

Dans les petits États insulaires, la hausse des marées balaie les côtes, anéantissant les ressources en eau douce et les cultures. Selon les chercheurs, la **mobilité des travailleurs** est la meilleure solution à long terme pour éviter les formes de mauvaise adaptation liées à la réinstallation.

La hausse des températures et les pénuries d'eau ont incité Melbourne (Australie) à accroître la climatisation et le dessalement. Il s'agit là d'une forme de mauvaise adaptation : en augmentant les émissions de GES, le pays augmente la vulnérabilité d'autres systèmes, secteurs et communautés.



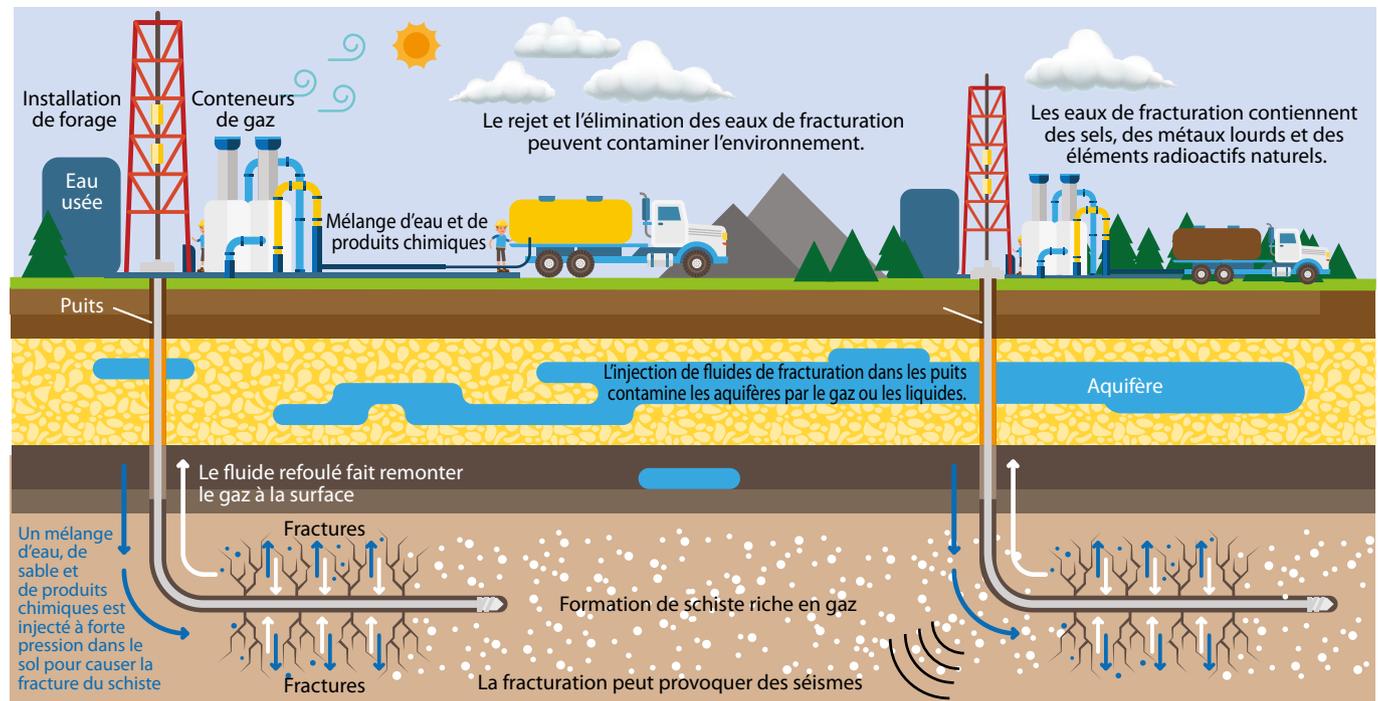
Des possibilités d'action future limitées

Les géologues et ingénieurs pétroliers ont développé la capacité à extraire du gaz et du pétrole de profonds réservoirs souterrains scellés par la roche de couverture²¹. Certains des réservoirs qui ont été vidés, sont considérés comme particulièrement bien adaptés pour piéger le dioxyde de carbone pendant au moins plusieurs siècles²². Selon les connaissances dont nous disposons, cette capacité est due à la perméabilité du réservoir et à la qualité de la couche de roche de couverture qui scelle le réservoir^{21,23}. Lorsque le gaz naturel a été proposé comme solution d'atténuation, c'est-à-dire comme carburant de transition du charbon et du pétrole vers les énergies renouvelables, les investissements dans cette source d'énergie ont augmenté et la technologie a évolué²⁴. Toutefois, ce carburant de transition pose plus de problèmes qu'on ne l'avait prévu. La plupart d'entre eux sont dus à l'évolution d'une technique d'extraction appelée fracturation hydraulique ou hydrofracturation^{25,26}. Cette technique consiste à injecter un mélange d'eau, de sable et de produits chimiques à haute pression pour causer intentionnellement des fissures et des crevasses dans le réservoir pour libérer le gaz naturel. La fracturation hydraulique

cause plusieurs problèmes environnementaux, notamment l'assèchement des aquifères et leur contamination par les produits chimiques utilisés pour le forage et l'injection, la fuite de méthane dans l'environnement et l'augmentation de la sismicité²⁷⁻³⁰. Par ailleurs, certains avancent que la fracturation hydraulique pourrait détruire la roche de couverture qui scelle les réservoirs qui ont été vidés, les écartant ainsi comme solution possible pour piéger le carbone^{31,32}.

Le rapport Global Warming of 1.5 °C du GIEC définit deux moyens de réduire les émissions et limiter les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère afin d'atteindre l'objectif de maintenir l'augmentation de la température moyenne mondiale par rapport aux niveaux préindustriels à 1,5 °C. Les deux moyens décrits reposent largement sur la possibilité de piéger le carbone dans les formations géologiques¹⁵. Cette politique industrielle de fracturation hydraulique témoigne d'une forme de mauvaise adaptation à deux niveaux : la possibilité de renoncer aux avantages à long terme au profit de bénéfices à court terme et s'enfermer dans une voie en endommageant les ressources futures. Dans le même temps, la fracturation hydraulique augmente les émissions de gaz à effet de serre en relâchant du méthane tout au long du processus^{26,33-35}.

Fracturation hydraulique ou hydrofracturation





Champ gazier Jonah, Wyoming (États-Unis)

Crédit photo : EcoFlight

Éviter la mauvaise adaptation dans un avenir limité à une hausse de la température de 1,5 °C

La vision du rapport Global Warming of 1.5 °C du GIEC et la volonté de maintenir l'augmentation de la température à ce niveau suggèrent que les effets du changement climatique doivent davantage être pris en compte lors des prises de décision par les acteurs des secteurs privé et public et par la société civile¹⁴. Plutôt que de limiter le concept de mauvaise adaptation aux résultats compliqués et regrettables des actions étiquetées comme des mesures d'adaptation, les conseillers pour les politiques et les décideurs œuvrant à différents niveaux et dans un large éventail d'institutions pourraient élargir leurs délibérations afin d'éviter les mauvaises adaptations au changement climatique dans leur planification.

Par ailleurs, le rapport *Global Warming of 1.5 °C* vient renforcer le Programme 2030 des Nations Unies et ses objectifs de développement durable, en particulier ceux portant sur l'égalité et l'équité¹⁴. La vision consistant à relever les défis climatiques à venir s'appuie sur un avenir offrant une meilleure qualité de vie que celle dont bénéficient un trop grand nombre de personnes aujourd'hui. Pour réaliser cette vision, il est indispensable de s'attaquer aux causes profondes des conflits, des guerres, de l'insécurité, de la pauvreté et des migrations. L'espèce humaine s'est toujours adaptée aux conditions changeantes et nous sommes par nature des êtres

adaptables. La méthode par tâtonnements est une méthode d'apprentissage bien établie qui nous permet d'orienter notre adaptation. Néanmoins, nous sommes également une espèce qui fait preuve d'anticipation et de planification. Nous pouvons modéliser notre avenir. Pour éviter les mauvaises adaptations, il nous faut non seulement apprendre de nos propres erreurs, mais aussi de celles des personnes et des communautés du monde entier. L'anticipation ne se limite pas aux présomptions, aux hypothèses ou même aux aspirations d'un seul groupe, mais doit se baser sur des preuves scientifiques et des probabilités réalistes.

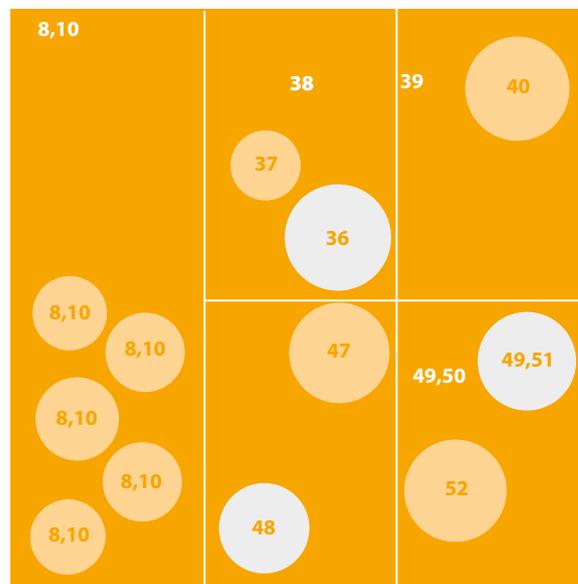
Des données indiquent que la mauvaise adaptation peut être évitée en évaluant tous les coûts et les avantages, y compris les retombées positives, pour chaque groupe de la société, ainsi qu'en définissant clairement les perdants et les gagnants et la manière dont la charge pourrait être mieux répartie. L'habitude ancrée consistant à ne pas tenir compte des intérêts des générations futures n'est compatible avec aucune des deux voies décrites dans le rapport *Global Warming of 1.5 °C* pour maintenir la température moyenne mondiale à ce niveau gérable. Nous vivons actuellement les prédictions qui ont été largement écartées à l'époque de la ratification de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques de 1992. Éviter la mauvaise adaptation signifie écarter les solutions qui créent un enfermement et une dépendance et privilégier celles qui favorisent l'évolutivité. À défaut de quoi, nous nous retrouverons dans ce que la biologie considère comme une impasse.

Bibliographie

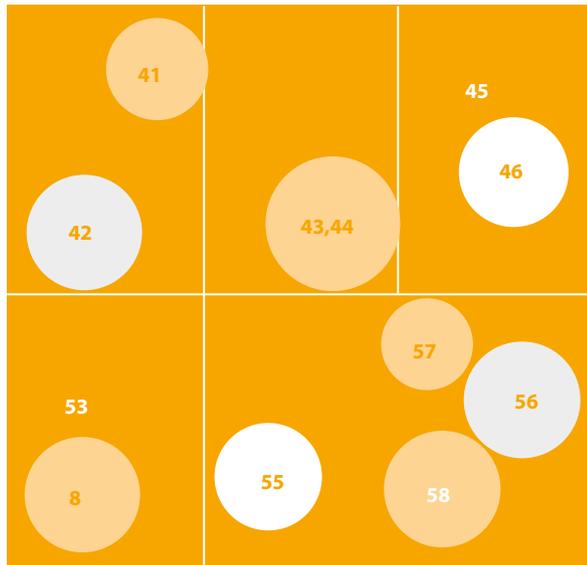
1. Darwin, C.R. (1859). *On the origin of the species by means of natural selection*. London: John Murray.
2. Martínez-Padilla, J., Estrada, A., Early, R. and García-González, F. (2017). Evolvability meets biogeography: evolutionary potential decreases at high and low environmental favourability. *Proceedings of the Royal Society B*, 284(1856), 20170516. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0516>
3. Burton, I., Kates, R.W. and White, G.F. (1993). *The environment as hazard*. New York: Guilford Press.
4. Greenhill, B., Dolšák, N. and Prakash, A. (2018). Exploring the adaptation-mitigation relationship: Does information on the costs of adapting to climate change influence support for mitigation? *Environmental Communication*, 12(7), 911-927. <https://doi.org/10.1080/10108017524032.2018.1508046>
5. Bodansky, D. (1993). The United Nations Framework Convention on Climate Change: A commentary. *Yale Journal of International Law*, 18, 451. <https://digitalcommons.law.yale.edu/yjil/vol18/iss2/2>
6. Burton, I. and van Aalst, M.K. (1999). Come hell or high water: integrating climate change vulnerability and adaptation into Bank work. Environment Department working paper No. 72, Climate change series. Washington DC: World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/212171468756566936/pdf/multi-page.pdf>
7. McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J. and White, K.S. (eds.). (2001). Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press
8. Barnett, J., and O'Neill, S. (2010). Maladaptation. *Global Environmental Change*, 2(20), 211-213. <https://www.sciencedirect.com/journal/global-environmental-change/vol/20/issue/2>
9. Dolšák, N. and Prakash, A. (2018). The politics of climate change adaptation. *Annual Review of Environment and Resources*, 43, 317-341. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102017-025739>
10. Noble, I.R., Huq, S., Anokhin, Y.A., Carmin, J., Goudou, D., Lansigan, F.P. et al. (2014). Adaptation needs and options. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E. et al. (eds.). Cambridge, UK: Cambridge University Press. 833-868. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap14_FINAL.pdf
11. Cramer, W., Yohe, G.W., Auffhammer, M., Huggel, C., Molau, U., da Silva Dias, M.A.F. et al. (2014) Detection and attribution of observed impacts. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E. et al. (eds.). Cambridge, UK: Cambridge University Press. 979-1037. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
12. Anguelovski, I., Shi, L., Chu, E., Gallagher, D., Goh, K., Lamb, Z. et al. (2016). Equity impacts of urban land use planning for climate adaptation: critical perspectives from the global north and south. *Journal of Planning Education and Research*, 36(3), 333-348. <https://doi.org/10.1177%2F0739456X16645166>
13. Hayes, S. (2019). Adapting infrastructure to climate change: who bears the risk and responsibility? In *Asset Intelligence through Integration and Interoperability and Contemporary Vibration Engineering Technologies*. Mathew, J., Lim, C.W., Ma, L., Sands, D., Cholette, M.E. and Borghesani, P. (eds.). Proceedings of the 12th World Congress on Engineering Asset Management and the 13th International Conference on Vibration Engineering and Technology of Machinery. Switzerland: Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95711-1_24
14. Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T.M., Folke, C., Liverman, D. et al. (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(33), 8252-8259. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
15. Intergovernmental Panel on Climate Change (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P.R. et al. (eds.). Switzerland: IPCC. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
16. Magnan, A.K., Schipper, E.L.F., Burkett, M., Bharwani, S., Burton, I., Eriksen, S. et al. (2016). Addressing the risk of maladaptation to climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7(5), 646-665. <https://doi.org/10.1002/wcc.409>
17. Asian Development Bank (2018). *Bangladesh: Coastal Climate-Resilient Infrastructure Project*. Sovereign (Public) Project 45084-002. <https://www.adb.org/projects/45084-002/main>
18. International Organization for Migration (2009). Climate Change and Displacement in Bangladesh - A Silent Crisis? <https://www.iom.int/migrant-stories/climate-change-and-displacement-bangladesh-silent-crisis>
19. Kates, R.W., Colten, C.E., Laska, S., and Leatherman, S.P. (2006). Reconstruction of New Orleans after Hurricane Katrina: a research perspective. *Proceedings of the National Academy of Science*, 103(40), 14653-14660. <https://doi.org/10.1073/pnas.0605726103>
20. Bleemer, Z. and van der Klaauw, W. (2017). Disaster (over-)insurance: the long-term financial and socioeconomic consequences of Hurricane Katrina. Staff Report, No. 807. New York, NY: Federal Reserve Bank of New York. https://www.newyorkfed.org/research/staff_reports/sr807
21. Orr Jr, F.M. (2003). Sequestration via injection of carbon dioxide into the deep earth. In *The Carbon Dioxide Dilemma: Promising Technologies and Policies*. National Academy of Engineering and National Research Council. Washington, DC: The National Academies Press. <https://www.nap.edu/read/10798/chapter/3#17>
22. Benson, S. M. and Orr, F. M. (2008). Carbon dioxide capture and storage. *MRS bulletin*, 33(4), 303-305. <https://doi.org/10.1557/mrs2008.63>
23. Huppert, H.E. and Neufeld, J.A. (2014). The fluid mechanics of carbon dioxide sequestration. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 46, 255-272. <https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-011212-140627>

24. Weissman, S. (2016). Natural Gas as a Bridge Fuel – Measuring the Bridge. Center for Sustainable Energy, San Diego. http://energycenter.org/sites/default/files/docs/nav/policy/research-and-reports/Natural_Gas_Bridge_Fuel.pdf
25. Howarth, R.W., Santoro, R., and Ingraffea, A. (2011). Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations. *Climatic Change*, 106(4), 679. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0061-5>
26. United Nations Conference on Trade and Development (2018). Commodities at a glance. *Special Issue on Shale Gas 9*. New York and Geneva: UNCTAD. https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/suc2017d10_en.pdf
27. Chen, H. and Carter, K.E. (2016). Water usage for natural gas production through hydraulic fracturing in the United States from 2008 to 2014. *Journal of Environmental Management*, 170, 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.023>
28. U.S. EPA. (2016). Hydraulic Fracturing for Oil and Gas: Impacts from the Hydraulic Fracturing Water Cycle on Drinking Water Resources in the United States. United States Environmental Protection Agency/Office of Research and Development, Washington, DC. EPA/600/R-16/236Fa. <https://cfpub.epa.gov/ncea/hfstudy/recordisplay.cfm?deid=332990>
29. Drollette, B.D., Hoelzer, K., Warner, N.R., Darrah, T.H., Karatum, O., O'Connor, M.P., Nelson, R.K. et al. (2015). Elevated levels of diesel range organic compounds in groundwater near Marcellus gas operations are derived from surface activities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 112(43), 13184-13189. <https://doi.org/10.1073/pnas.1511474112>
30. Skoumal, R.J., Brudzinski, M.R. and Currie, B.S. (2015). Earthquakes Induced by Hydraulic Fracturing in Poland Township, Ohio. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105(1), 189-197. <https://doi.org/10.1785/0120140168>
31. Elliot, T.R. and Celia, M.A. (2012). Potential restrictions for CO2 sequestration sites due to shale and tight gas production. *Environmental Science & Technology*, 46(7), 4223-4227. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es2040015>
32. Moriarty, P. and Honnery, D. (2018). Energy policy and economics under climate change. *AIMS Energy*, 6(2): 272-290. <https://doi.org/10.3934/energy.2018.2.272>
33. Jackson, R.B., Vengosh, A., Darrah, T.H., Warner, N.R., Down, A., Poreda, R.J., Osborn, S.G., Zhao, K. and Karr, J.D. (2013). Increased stray gas abundance in a subset of drinking water wells near Marcellus shale gas extraction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(28), 11250-11255. <https://doi.org/10.1073/pnas.1221635110>
34. Omara, M., Sullivan, M.R., Li, X., Subramanian, R., Robinson, A.L. and Presto, A.A. (2016). Methane Emissions from Conventional and Unconventional Natural Gas Production Sites in the Marcellus Shale Basin. *Environmental Science & Technology*, 50, 2099-2107. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05503>
35. Osborn, S.G., Vengosh, A., Warner, N.R. and Jackson, R.B. (2011). Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(20), 8172-8176. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100682108>

Références des illustrations



36. Hartmann, I., Sugulle, A.J. and Awale, A.I. (2010). The Impact of Climate Change on Pastoralism in Salahley and Bali-gubadle Districts, Somaliland. Heinrich Böll Stift ung, East and Horn of Africa, Nairobi. https://ke.boell.org/sites/default/files/the_impact_of_climate_change_on_pastoralism_in_salahley_and_bali-gubadle_districts_-_somaliland.pdf
37. Huang, J., Yu, H., Guan, X., Wang, G. and Guo, R. (2015). Accelerated dryland expansion under climate change. *Nature Climate Change*, 6, pages 166-171. <https://doi.org/10.1038/nclimate2837>
38. IPCC (2013). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
39. WWAP (2018). The United Nations world water development report 2018: nature-based solutions for water. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261424>
40. Tellman, B., Bausch, J.C., Eakin, H., Anderies, J.M., Mazari-Hiriart, M., Manuel-Navarrete, D. and Redman, C.L. (2018). Adaptive pathways and coupled infrastructure: seven centuries of adaptation to water risk and the production of vulnerability in Mexico City. *Ecology and Society*, 23(1):1. <https://doi.org/10.5751/ES-09712-230101>



41. Czajkowski, J., Engel, V., Martinez, C., Mirchi, A., Watkins, D., Hughes, J., Sukop, M. (2015). Economic impacts of urban flooding in south Florida: Potential consequences of managing groundwater to prevent salt water intrusion. Working paper no. 2015-10, Risk Management and Decision Processes Center, University of Pennsylvania. http://opim.wharton.upenn.edu/risk/library/WP201510_GWLevelsFloodClaims_Czajkowski-etal.pdf
42. Finkbeiner, E.M., Micheli, F., Bennett, N.J., Ayers, A.L., Le Cornu, E. and Doerr, A.N. (2017). Exploring trade-offs in climate change response in the context of Pacific Island fisheries. *Marine Policy*, 88, 359-364. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2017.09.032>
43. Limthongsakul, S., Nitivattananon, V. and Arifwidodo, S.D. (2017). Localized flooding and autonomous adaptation in peri-urban Bangkok. *Environment and Urbanization*, 29(1), 51-68. <https://doi.org/10.1177/0956247816683854>
44. Marks, D. (2015). The Urban Political Ecology of the 2011 Floods in Bangkok: The Creation of Uneven Vulnerabilities. *Pacific Affairs*, 88(3), 623-651. <http://dx.doi.org/10.5509/2015883623>
45. Jolly, W.M., Cochrane, M.A., Freeborn, P.H., Holden, Z.A., Brown, T.J., Williamson, G.J. and Bowman, D.M. (2015). Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature Communications*, 6:7537. <https://doi.org/10.1038/ncomms8537>
46. Little, J. B. (2018) Fighting Fire with Fire: California Turns to Prescribed Burning. Yale Environment 360. Yale School of Forestry & Environmental Studies. <https://e360.yale.edu/features/fighting-fire-with-fire-california-turns-to-prescribed-burning>
47. Zinyemba, C., Archer, E. and Rother, H-A. (2018). Climate variability, perceptions and political ecology: Factors influencing changes in pesticide use over 30 years by Zimbabwean smallholder cotton producers. *PLoS ONE*, 13(5): e0196901. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196901>
48. Pires, G.F., Abrahão, G.M., Brumatti, L.M., Oliveira, L.J.C., Costa, M.H., Liddicoat, S. and Ladle, R.J. (2016). Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: Implications for land use in Northern Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 228: 286-298. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.07.005>
49. Bett, B., Kiunga, P., Gachohi, J., Sindato, C., Mbotha, D., Robinson, T., Lindahl, J. and Grace, D. (2017). Effects of climate change on the occurrence and distribution of livestock diseases. *Preventive Veterinary Medicine*, 137, Part B, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.11.019>
50. UNEP (2016). UNEP Frontiers 2016 Report: Emerging Issues of Environmental Concern. United Nations Environment Programme, Nairobi. www.unenvironment.org/frontiers
51. UNEP (2017). Frontiers 2017: Emerging Issues of Environmental Concern. United Nations Environment Programme, Nairobi. <http://www.unenvironment.org/frontiers>
52. Hammer, T.J., Fierer, N., Hardwick, B., Sijmoki, A., Slade, E., Taponen, J., Viljanen, H. and Roslin, T. (2016). Treating cattle with antibiotics affects greenhouse gas emissions, and microbiota in dung and dung beetles. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283:20160150. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2016.0150>
53. UN (2014). World Urbanisation Prospects: the 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352). Department of Economic and Social Affairs. Population Division, New York: United Nations.
54. Ford, J.D., Labbé, J., Flynn, M., Araos, M. and IHACC Research Team (2017). Readiness for climate change adaptation in the Arctic: a case study from Nunavut, Canada. *Climatic Change*, 145(1-2), 85-100. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2071-4>
55. Lei, Y., Finlayson, C.M., Thwaites, R., Shi, G. and Cui, L. (2017). Using Government Resettlement Projects as a Sustainable Adaptation Strategy for Climate Change. *Sustainability*, 9, 1373. <https://doi.org/10.3390/su9081373>
56. O'Hare, P., White, I. and Connelly, A. (2016). Insurance as maladaptation: Resilience and the 'business as usual' paradox. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 34(6), 1175-1193. <https://doi.org/10.1177/0263774X15602022>
57. Bryant, C.R., Bousbaine, A.D., Akkari, C., Daouda, O., Delusca, K., Épule, T.E. and Drouin-Lavigne, C. (2016). The roles of governments and other actors in adaptation to climate change and variability: The examples of agriculture and coastal communities. *AIMS Environmental Science*, 3(3), 326-346. <https://doi.org/10.3934/environsci.2016.3.326>
58. ILO (2016). Labour Mobility and Regional Climate Adaptation. International Labour Organization Technical Note https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---migrant/documents/publication/wcms_534341.pdf