

Dossier pédagogique

En ligne sur www.climat-sous-surveillance.ird.fr

Réalisé par l'Institut de recherche pour le développement (IRD)

Septembre 2015

Dans le cadre du projet transmedia *Le climat sous surveillance* de l'IRD, ce dossier présente les principales recherches conduites par l'Institut dans les différents milieux de la planète Terre impactés par le changement climatique.

Sommaire

Introduction	2
Chapitre 1 : Les montagnes et glaciers	3
Chapitre 2 : Les villes	10
Chapitre 3 : Les forêts	17
Chapitre 4 : Les fleuves	22
Chapitre 5 : Les océans	27
Chapitre 6 : Les îles et les côtes	32
Chapitre 7 : Les zones arides : l'exemple du Sahel	39
Crédits / Contacts	45

Introduction

Selon le 5^e rapport du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), la température moyenne de la Terre a augmenté de 0,85°C entre 1880 et 2012. Cette hausse des températures pourrait même atteindre 4,8°C à l'horizon 2100, d'après le scénario le plus pessimiste. Les pays du Sud sont les plus vulnérables aux impacts de ce changement climatique.

L'augmentation des émissions de gaz à effet de serre va continuer à provoquer des impacts considérables sur :

- les écosystèmes mondiaux (fonte des glaciers, élévation du niveau des océans, variations des précipitations, augmentation des phénomènes climatiques extrêmes, changement des habitats et des zones de répartition d'espèces végétales et animales),
- les sociétés (changements sociodémographiques, migrations, modifications des pratiques agricoles)
- et la santé des populations (émergence de maladies infectieuses, atteinte à la sécurité alimentaire, dégradation des déterminants environnementaux de la santé).



Les pays de la zone intertropicale sont particulièrement exposés aux risques climatiques. Les populations en Afrique, en Asie, en Océanie et en Amérique latine subissent déjà de plein fouet les aléas de l'environnement, en raison notamment d'une exposition aux risques naturels plus importante et de leur vulnérabilité liée à la pauvreté et à leur dépendance directe vis-à-vis des ressources naturelles.



Les chercheurs de l'IRD se consacrent à l'étude du climat actuel et passé, pour mieux comprendre et anticiper ses aléas, mais aussi mesurer l'impact du changement climatique sur les écosystèmes et les conditions de vie des populations. Chaque chapitre de ce dossier pédagogique fait état de leurs observations et de leurs conclusions dans différents milieux de notre planète : les montagnes et glaciers, les villes, les forêts, les fleuves, les océans, les îles et les côtes et les zones arides.



Chapitre 1 :

Les montagnes et glaciers

La fonte des glaciers est souvent présentée comme l’emblème du changement climatique. Mais n’ont-ils pas toujours avancé et reculé au gré des temps ? Sont-ils voués à disparaître de nos montagnes ?

Ce qu’il faut savoir sur... les montagnes et glaciers

Un glacier se forme grâce à la neige et au givre tombée sur sa surface ou apportée par le vent, des avalanches ou coulées provenant des parois qui le dominent. La zone où se produit principalement ce phénomène est appelée « zone d’accumulation ». Elle se situe dans la partie haute du glacier. Dans les Alpes, on l’atteint vers 3 000 m d’altitude, alors que, dans les Andes ou l’Himalaya, il faut aller la chercher à plus de 5 000 m. A l’inverse, plus bas, dans la zone dite « d’ablation », les processus de fonte et de sublimation – c’est-à-dire le passage direct de la neige (solide) à un état gazeux – sont majoritaires. Lorsque l’ablation est supérieure à l’accumulation à l’échelle du glacier, celui-ci recule.

La fonte n’est pas seulement la conséquence directe d’une température plus élevée. Elle résulte d’un processus complexe, dans lequel entrent en jeu la température et l’humidité de l’air, le rayonnement solaire, le couvert nuageux, le vent, mais aussi le pouvoir réfléchissant du glacier lui-même, la conduction de la chaleur dans le sol... Un glacier vit ainsi sous l’influence directe du climat, qui modifie sa longueur, sa surface et son volume.

Quel constat ?

Au cours des millénaires et des siècles passés, les glaciers n’ont cessé d’évoluer, changeant de volume, de forme, de couleur, avançant ou reculant. Ces évolutions, parfois considérables, sont étroitement liées aux fluctuations du climat. Alors que l’âge de la Terre est de 4,5 milliards d’années, les premiers glaciers sont apparus dans l’hémisphère nord il y a 7 millions d’années. Depuis lors, les périodes chaudes et froides ont alterné, entraînant les glaciers dans une valse ininterrompue.

Mais, du fait de l’augmentation des gaz à effet de serre qui réchauffent l’atmosphère depuis la révolution industrielle au 19^e siècle, **les glaciers connaissent aujourd’hui un retrait d’une vitesse sans précédent !** Ils sont en recul dans presque toutes les régions du globe. Ce retrait s’est accru depuis les dernières décennies.

Les glaciers situés dans des régions tropicales, comme dans les Andes en Amérique latine (99% des glaciers tropicaux de la planète), figurent parmi les plus touchés. En effet, le réchauffement atmosphérique est particulièrement marqué à ces latitudes et à des altitudes de plus de 5 000 mètres. En Colombie, Équateur, Pérou, Bolivie, les chercheurs ont mesuré une diminution de la surface des glaciers de 30 à 50 % depuis la fin des années 1970. Les scientifiques n'ont pas observé de changement concomitant dans les précipitations. En revanche, la température atmosphérique a augmenté de 0,7°C dans les Andes depuis cette période marquée par un développement industriel accru dans le monde.



© IRD / B. Francou

Les scientifiques relient ainsi le recul généralisé des glaciers andins à ce réchauffement, même si à pareille altitude, ce n'est pas +0,7°C qui fait fondre la glace. Mais la hausse de température tend à élever la limite de pluie/neige et réduit à terme le manteau neigeux du glacier. Or, sans ce manteau qui se transforme par la suite en glace, le glacier fond à vue d'œil. Une situation de plus en plus fréquente ces dernières décennies, comme en témoignent les chercheurs.



© IRD / B. Francou

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) prédit un réchauffement exacerbé dans les Andes au cours des prochaines décennies. Si ces prévisions se réalisent, la plupart des glaciers andins auront disparu d'ici à la fin du 21^e siècle, comme le Chatalcaya en 2010, qui abritait la plus haute piste de ski du monde à 5 300 mètres et approvisionnait pour une petite partie en eau la ville de La Paz, la capitale bolivienne.

Dans la chaîne de l'Himalaya en Asie, les glaciers restent assez méconnus. Au Népal, leur recul semble s'accélérer depuis une vingtaine d'années. Plus au nord, dans l'immense Tibet, le nombre de glaciers en récession s'est récemment multiplié du fait d'une augmentation des températures et, localement, d'une baisse des précipitations. Situés dans un milieu continental froid et sec, ils sont cependant un peu moins sensibles au changement climatique et évoluent plus lentement que ceux situés dans les Andes.

Les chercheurs veillent...

Comprendre le recul des glaciers

Glaciologues, climatologues, hydrologues décryptent depuis 20 ans les mécanismes de la fonte des glaciers dans les Andes, mais aussi dans les Alpes, les Pyrénées, l'Himalaya et en Antarctique. Pour évaluer le recul ou l'avancée d'un glacier, les scientifiques effectuent des « bilans de masse » à partir de mesures du stock de neige que le glacier a gagné et la quantité de glace et de neige qu'il a perdue à l'aide de forages manuels ou de balises. Les scientifiques comparent alors ces données à celle de stations météorologiques qui mesurent la température et l'humidité de l'air ou encore le rayonnement solaire à la surface du glacier. Ils en déduisent quelles conditions climatiques sont favorables à la formation des glaciers ou à l'inverse responsables de leur recul et peuvent ainsi effectuer des prévisions en fonction des scénarios climatiques annoncés. [En savoir plus : www.ird.fr/climat](http://www.ird.fr/climat)



© IRD / P. Ginot

Décrypter les archives du climat

Dans un glacier, la neige ou la glace accumulée, et préservée parfois depuis des centaines de milliers d'années, conservent les traces des conditions climatiques à l'époque de leur formation. Pour décrypter ces archives, les scientifiques prélèvent des carottes de glace qu'ils analysent ensuite. Un glacier peut ainsi informer sur la quantité de précipitations, la température ou la composition de l'atmosphère (notamment la teneur en gaz à effet de serre) à une époque donnée.

Depuis les années 1990, les scientifiques effectuent ce type de prélèvements dans la cordillère des Andes. Ces carottes de glace leur livrent de précieuses informations sur les variations climatiques dans l'hémisphère sud, sur des périodes remontant jusqu'à 25 000 ans pour les glaces les plus anciennes, et leur permettent de retracer l'évolution des climats passés.

[En savoir plus](http://www.ird.fr) : page d'HSM sur www.ird.fr



© IRD / P. Ginot

Quel impact sur... les espèces et les habitants des montagnes ?

Contrairement aux calottes polaires des océans arctique et antarctique, les glaciers de montagne, comme ceux de la cordillère des Andes, sont situés dans des territoires habités. Leur recul actuel peut avoir des conséquences préoccupantes pour les populations qui vivent à leurs abords ou en dépendent pour leur approvisionnement en eau.

Un sixième de la population mondiale dépend ainsi de la fonte saisonnière de la neige ou de la glace pour leur **accès à l'eau potable**, pour l'irrigation ou l'hydroélectricité. Le recul des glaciers pourrait alors poser problème d'ici à quelques décennies, en particulier dans les Andes tropicales, l'Asie centrale et l'Himalaya, où la saison sèche peut durer plusieurs mois. Dans les régions arides comme au Pérou et en Bolivie, l'apport des glaciers à l'irrigation, aux centrales hydroélectriques et à l'alimentation en eau potable des populations locales atteint 27 % lors de la saison sèche, comme à La Paz, la capitale de la Bolivie.



© IRD / J-J Lemasson

Le retrait glaciaire, aggravant l'instabilité de certains lacs de montagne, est aussi parfois à l'origine de graves **catastrophes naturelles**. La fonte des glaciers alimente de très vastes lacs de retenue en altitude. Très fragile, la digue naturelle qui les clôture peut céder sous l'effondrement d'une partie du glacier ou de pans rocheux en surplomb, entraînant une vidange brutale et dévastatrice du lac. De telles catastrophes ont coûté la vie à près de 10 000 personnes depuis 1725 dans la Cordillère Blanche au Pérou. Dans les Andes ou ailleurs, la déglaciation de ces cinquante dernières années a multiplié les conditions propices à ce type d'accident.



© IRD / D. Wirrmann

Depuis toujours, les agriculteurs des hauts plateaux andins composent avec les caprices du climat. Le gel, même en été, est un risque majeur pour les cultures à plus de 4 000 mètres d'altitude. Jusqu'à présent, le changement climatique, réduisant cette menace, a plutôt favorisé l'extension des cultures, comme celle du quinoa. Mais l'augmentation probable des épisodes de sécheresse annoncée dans les décennies à venir,



© IRD / A. Vassal Toral

associée à la mécanisation, à la saturation de l'espace agricole et à la perte de fertilité des sols, pourrait avoir des conséquences négatives, en réduisant les **rendements des cultures**. Les simulations des scientifiques dans l'Altiplano bolivien montrent qu'après le pic de production actuelle, la production pourrait décliner sensiblement à l'avenir.

De plus, selon les biologistes, les changements de température vont modifier les **populations de ravageurs de cultures** dans les Andes. Du fait de la complexité des interactions entre les différentes espèces, qui peuvent soit entrer en compétition soit s'attirer mutuellement, les chercheurs tentent d'affiner les prévisions d'évolution de ces populations d'insectes.

Selon les écologues, l'élévation des températures accrues en altitude va entraîner une migration de 600 mètres vers les sommets des **plantes et animaux**, à la recherche de températures plus fraîches. Cela va réduire l'aire de répartition et contraindre significativement l'habitat disponible pour de nombreuses espèces.



© IRD / F. Anthelme

Dans les Andes tropicales, la température et la pression atmosphérique qui sont faibles, le rayonnement solaire intense, les pluies irrégulières, le vent desséchant, le gel... sont autant de conditions extrêmes qui ont favorisé des adaptations singulières des espèces présentes et, pour bon nombre d'entre elles, spécifiques à ces milieux extrêmes. Les spécialistes considèrent ainsi que les espèces andines comptent parmi les premières victimes d'extinction due au réchauffement climatique.

Enfin, le retrait des glaciers met en péril la faune des rivières issues des glaciers, tels que de nombreux insectes. Ce qui ne sera pas sans conséquences sur les niveaux supérieurs de la chaîne alimentaire – poissons, amphibiens, oiseaux, mammifères. Par exemple, 10 à 40 % de la biodiversité des páramos – un écosystème d'altitude très particulier – en Équateur seraient ainsi menacés si les glaciers venaient à dégeler complètement ! Or, comme ailleurs dans les Andes, les Páramos possèdent des espèces uniques au monde...



© IRD / O. Dangles

Les chercheurs veillent...

Comprendre et quantifier les apports d'eau provenant des glaciers dans un bassin versant est primordial dans le contexte de changement climatique et de retrait généralisé des glaciers, notamment en termes de ressources en eau futures des vallées et des villes. C'est pourquoi les scientifiques effectuent des « bilans de masse glaciaire » et mesurent les précipitations sur un bassin versant, comparées aux mesures du débit des rivières en aval et des modélisations hydrologiques.

Dans le cadre du Laboratoire mixte international GREAT ICE, ils étudient en particulier trois bassins versants dans les Andes : celui du glacier Zongo en Bolivie, de l'Antizana en Equateur et du fleuve Santa au Pérou, alimenté en partie par les glaciers de la cordillère Blanche.

[En savoir plus](http://www.ird.fr) : page du LTHE sur www.ird.fr



© IRD / B. Francou

Les écologues recensent la biodiversité des ruisseaux issus des eaux de fonte dans les Alpes, en Alaska ainsi que dans les Andes, en particulier dans les *páramos*, des paysages typiques des Andes perchés entre 3 500 et 5 000 m d'altitude. Les espèces qui peuplent ces cours d'eau, principalement des insectes, sont pour bon nombre endémiques de ces milieux extrêmes et jouent un rôle de bioindicateurs, notamment de la qualité de l'eau qui alimente les villes en aval comme Quito, la capitale équatorienne.

[En savoir plus](#) : page du LGCE sur www.ird.fr



© IRD / O. Dangles

En ligne sur :

www.climat-sous-surveillance.ird.fr/Les-environnements/Les-montagnes-et-glaciers

Chapitre 2 :

Les villes

Le climat a des répercussions sur la nature qui nous entoure. Qu'en est-il en ville, où l'homme semble tout maîtriser ? Le réchauffement se manifeste-t-il aussi en milieu urbain ?

Ce qu'il faut savoir sur... les villes

Près de 55% de la population mondiale vit désormais en ville, soit près de 4 milliards de personnes. C'est cinq fois plus qu'en 1950. Les agglomérations sont de plus en plus grandes. Les principales mégapoles se situent en Amérique et en Asie, essentiellement dans les pays dits « émergents » : le Brésil, l'Inde et la Chine. Mais d'autres villes ont une très grande importance au niveau régional, comme Lima qui concentre près de 30 % des Péruviens, ou Luanda qui abrite près de 40% des Angolais. L'Asie et l'Afrique battent désormais les records d'extension des villes. A eux trois, l'Inde, la Chine et le Nigéria contribueront au tiers de la croissance urbaine mondiale des 30 prochaines années.

Les zones urbaines sont les principales responsables du changement climatique actuel. Elles concentrent à la fois les émissions de gaz à effet de serre industrielles, les émissions liées aux transports et celles dues à la régulation thermique (chauffage, climatisation).

Les pays du Nord ont longtemps été les principaux contributeurs de ces émissions, qui réchauffent l'atmosphère. Mais la forte croissance démographique et économique des mégapoles dans les pays en développement inverse peu à peu la tendance. Aujourd'hui, parmi les dix villes les plus émettrices au monde, six se situent en Inde, trois au Pakistan et une en Iran...

En ville, la vulnérabilité des habitants est exacerbée. L'extension des zones construites, parfois dans des zones inondables ou à risque, l'imperméabilisation des sols qui augmente le ruissellement de l'eau, la forte densité de population et des activités industrielles, la multiplication des réseaux techniques comme les canalisations ou les télécommunications, la croissance de quartiers précaires... sont autant de facteurs qui transforment les aléas climatiques en catastrophes urbaines.

Quel constat ?

Le changement climatique, causé par l'augmentation des gaz à effet de serre qui réchauffent l'atmosphère, agit de manière accrue en ville. Les émissions de chaleur des transports, du chauffage ou de la climatisation, la réflexion solaire sur les surfaces des immeubles ou des routes goudronnées, les niveaux de pollution élevés... sont autant de facteurs qui **augmentent localement la température de 4 à 12°C lors**

de vagues de chaleurs. Les effets se font sentir surtout la nuit, lorsque l'énergie accumulée dans les parois de béton se dégage. En milieu méditerranéen ou tropical, où l'usage de la climatisation est continu, cet effet est particulièrement sensible. Les chercheurs parlent d'« îlots de chaleur urbains » pour désigner des espaces urbains où les températures de l'air et des surfaces sont supérieures à celles de la périphérie rurale.



© IRD / J-P Montoro

Le changement climatique accroît la fréquence et l'intensité des événements météorologiques extrêmes, tels que les sécheresses, mais aussi les **fortes pluies**. Ces dernières renforcent la **menace d'inondations**, conséquences également de l'imperméabilisation des sols liée à l'urbanisation. Par exemple Mumbai, première métropole économique de l'Inde, a subi d'importantes inondations en 2005, dues à une pluie

exceptionnelle quatre fois plus importante que le maximum connu. Celles-ci ont fait plus de 1 000 morts, provoqué l'immobilisation de dizaines de milliers de personnes pendant plusieurs jours et entraîné des dizaines de millions de dollars de dégâts matériels.



© IRD / J-L Janeau

Le changement de régime des pluies et la fonte rapide des glaciers accroissent également les **crues des grands fleuves**, en particulier dans le bassin amazonien, en Asie du Sud, en Chine, en Asie du Sud-Est et en Afrique. L'Amazone et ses affluents ont ainsi connu des crues historiques en 2009, 2012 et 2014, liées aux pluies exceptionnelles et à la déforestation, qui augmente aussi les ruissellements. Les eaux ont alors submergé de nombreuses villes au Pérou, en Bolivie et au Brésil, touchant plusieurs centaines de milliers de personnes. En Afrique, plus de 500 000 victimes ont été sinistrées suite à la crue historique du fleuve Niger en 2010. En Asie, un million de personnes ont été touchées par la crue de l'Irrawaddy en Birmanie en 2015.



© IRD / M. Honoré

Les fortes pluies augmentent aussi les **risques de glissements de terrain**, aux conséquences démultipliées par la vulnérabilité des milieux urbains. Ce danger est particulièrement fort dans les villes d'altitude. Dans les Andes, la plupart des villes sont sujettes à ces phénomènes, comme La Paz, mais aussi Quito en Équateur, Medellín en Colombie ou Lima au Pérou, où ils sont en constante augmentation depuis plusieurs dizaines d'années. Mais le risque existe aussi dans les villes comme Rio de Janeiro au Brésil ou Chittagong au Bangladesh, qui ont connu une croissance rapide de l'habitat précaire à flanc de montagne sur des terrains en pente, construit avec des matériaux de mauvaise qualité et périssables.



© IRD / S. Hardy

Une autre grande caractéristique de la croissance urbaine à l'œuvre depuis 1950 est le développement des **villes littorales**. Plus de la moitié des grandes villes en zone tropicale sont situées sur la côte, héritage entre autres des comptoirs des anciennes colonies européennes. Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), près de 145 millions de personnes vivent aujourd'hui à une altitude de seulement un mètre au-dessus du niveau de la mer, et près de 400 millions à moins de 10 mètres. Nouakchott en Mauritanie, Lagos au Nigeria, Lomé au Togo, Dhaka au Bangladesh, Ho Chi Minh au Vietnam, Mumbai et Kolkata en Inde, Bangkok en Thaïlande ou encore Rio au Brésil... sont menacées par l'**élévation annoncée du niveau de la mer** de plusieurs dizaines de centimètres dans les décennies à venir et par l'**érosion côtière**. Ce qui risque de provoquer la destruction des habitats et des infrastructures ainsi que le déplacement des populations...



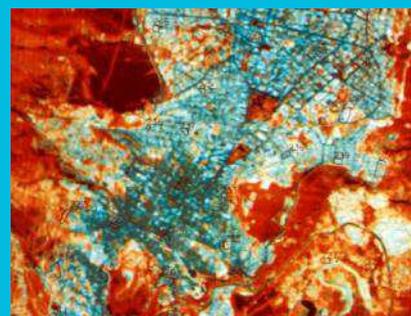
© IRD / P. Gazin

Les chercheurs veillent...

Modéliser les microclimats urbains

Pour mieux comprendre la contribution des villes au changement climatique et, inversement, ses impacts sur le milieu urbain, les scientifiques modélisent les émissions et les impacts en fonction de la structure urbaine et des modes de vie des habitants. Ils modélisent les microclimats urbains et observent le réchauffement grâce aux images satellites, complétées par des drones équipés de caméras thermiques, qui permettent de localiser les îlots de chaleur et les fuites thermiques des bâtiments, ou bien de visualiser le rôle de la végétation en ville en tant que « climatiseur naturel ».

[En savoir plus](http://www.ird.fr) : voir page d'ESPACE-DEV sur www.ird.fr



D.R.

Un Observatoire de l'Environnement Urbain a été créé à Marseille puis à Alger pour le suivi de la faune et de la flore en milieu urbain. L'objectif est d'évaluer l'augmentation des températures (changement climatique et îlots de chaleur urbains) en fonction de la structure urbaine (hauteur, densité, disposition des éléments urbains) et pour expliquer leurs impacts sur la biodiversité urbaine.

En savoir plus : voir page du LPED sur www.ird.fr

Suivre en direct les catastrophes naturelles

Les chercheurs observent également en temps réel grâce aux drones les crues et inondations ainsi que les glissements de terrain, survenus suite à des fortes intempéries en ville. Ils extraient des images prises par l'instrument de multiples informations, comme la localisation des zones inondées, l'évolution un glissement de terrain, etc.

En savoir plus : voir page d'ESPACE-DEV sur www.ird.fr



© IRD / S. Cauvy

Quel impact sur... les citoyens ?

Au delà des risques de catastrophes naturelles, l'enjeu sanitaire et économique est décuplé en ville. La pollution atmosphérique plus importante, conjuguée à l'élévation de la température liée aux îlots de chaleur urbains, constitue un nouveau **risque sanitaire**. Dans de très nombreuses agglomérations comme New Delhi en Inde, Karachi au Pakistan, Kaboul en Afghanistan Pékin en Chine, Le Caire en Égypte ou encore Accra au Ghana, les seuils de pollution dépassent largement ceux admis par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS). Ce qui augmente les risques de maladies respiratoires, de maladies cardio-vasculaires, de déshydratation, essentiellement chez les enfants et personnes âgées. Des risques encore accrus dans les zones arides comme au Sahel ou en zone méditerranéenne...

L'approvisionnement en eau des villes est également menacé par l'accroissement des événements climatiques extrêmes. Qu'il s'agisse du manque d'eau à cause de sécheresses sévères, de la pollution des nappes souterraines et des cours d'eau lors de fortes pluies – liée à un mauvais traitement des eaux usées – ou bien de la destruction d'infrastructures lors de catastrophes naturelles, comme les inondations et les glissements de terrain... À La Paz de nouveau, un glissement de terrain survenu en 2008 a privé d'eau potable un tiers des habitants de la ville pendant plusieurs semaines suite à la rupture d'une canalisation.



© IRD

Dans des régions arides comme en Bolivie ou au Pérou, l'apport de la fonte des glaces lors de la saison sèche à l'irrigation, à l'électricité par génération hydraulique et à l'alimentation en eau est très important. La disparition des glaciers annoncée, en particulier dans les Andes, menace à moyen terme l'approvisionnement en eau de plusieurs grandes villes.

Les chercheurs veillent...

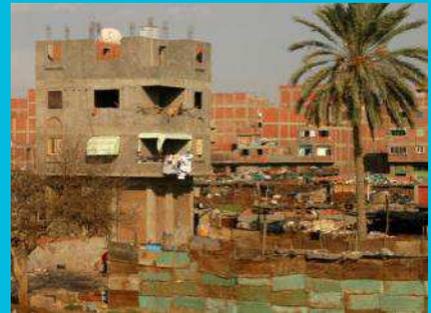
Retracer l'évolution statistique des catastrophes

Les géographes étudient les données statistiques sur les accidents et catastrophes comme les inondations et glissements de terrain dans les villes andines pour montrer l'augmentation de leur fréquence depuis les années 1970 marquées par un développement industriel accru dans le monde.



© IRD / F. Timouk

Les quartiers dits « informels » – des zones d’habitat précaire au statut peu reconnu par les autorités, nées de la croissance urbaine sans précédent et qui abritent aujourd’hui près de la moitié des habitants des villes du Sud – sont plus vulnérables que les autres face aux risques liés au changement climatique. Leur situation dans des zones particulièrement exposées (pentes, zones inondables), leur densité, la faible qualité des constructions et des infrastructures, ainsi que leur accessibilité limitée aux secours, majorent les risques.



© IRD / T. Ruf

Mais des urbanistes, géographes et sociologues opposent à cette vulnérabilité la souplesse de cette urbanisation informelle, illustrée par des exemples à Damas en Syrie ou au Caire en Égypte. Les stratégies d’adaptation face aux caprices du climat peuvent s’appuyer sur le savoir-faire des habitants constructeurs et l’évolutivité de ces formes urbaines.

En savoir plus : voir la page du CESSMA sur www.ird.fr

En ligne sur :
www.climat-sous-surveillance.ird.fr/Les-environnements/Les-villes

Chapitre 3 :

Les forêts

On dit souvent que les forêts sont le « poumon » de la planète. Que sait-on exactement de leur rôle sur le climat ?

Ce qu'il faut savoir sur... les forêts

Les forêts sont l'un des quatre grands « réservoirs naturels » de carbone de la planète, avec les océans, les sols et l'atmosphère. Elles régulent ainsi le dioxyde de carbone (CO₂), ou gaz carbonique, contenu dans l'atmosphère.

Les forêts tropicales humides en particulier jouent un rôle de « puits » de carbone, du fait de leur végétation luxuriante et de leur étendue. Les forêts amazonienne, du bassin du Congo et d'Asie du Sud-Est, représentent presque un tiers des massifs forestiers de la planète.

Par ailleurs, elles fournissent du bois, des fruits, du gibier et aux autres ressources variées et essentielles pour plusieurs centaines de millions de personnes dans les pays du Sud.

Quel constat ?

Plus que d'autres milieux, les forêts tropicales humides sont indissociables pour les scientifiques de la question climatique.

De fait, à travers leur rôle central dans le « cycle du carbone », elles permettent de **lutter contre le réchauffement planétaire**, causé par l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Elles sont susceptibles de réduire la concentration de l'un de ces principaux gaz : le dioxyde de carbone (CO₂), ou gaz carbonique. En effet, les arbres, grâce à l'énergie solaire, fabriquent de la matière organique pour leur croissance, à partir d'eau et du gaz carbonique de l'air. C'est le processus dit de « photosynthèse ».

Les spécialistes estiment qu'ainsi, **les forêts absorberaient environ 15 % des émissions de gaz carbonique dues aux activités humaines** – utilisation de combustibles fossiles (charbon, gaz, pétrole) pour le transport et la production d'énergie, l'incinération des déchets, etc.



© IRD / D. Sabatier

Les forêts stockent alors ce carbone dans les troncs, branches et les racines des arbres, mais aussi par les débris végétaux en sous-bois, la matière organique des sols, etc. Les chercheurs parlent ainsi de « **puits** » de carbone. Selon eux, les forêts représentent **un quart du carbone de la biosphère** de la planète !

Le changement climatique pourrait modifier le fonctionnement de ce réservoir naturel de carbone. En effet, certaines études avancent que, si la température s'élève de quelques dixièmes de degrés, les rejets de CO₂ dans l'air par la « respiration » des racines des arbres, du sol et de la faune du sol pourraient augmenter – tout au moins dans certaines régions du globe. Ce qui annulerait la fonction de « puits » de carbone de la forêt. Mais cette question fait encore l'objet d'un intense débat au sein de la communauté scientifique...



© naturexpose.com / O. Dangles et F. Nowicki

Localement, les scientifiques ont également montré l'influence très importante des forêts sur la **météorologie régionale**. Le couvert forestier absorbe la radiation solaire. L'évapotranspiration de la végétation refroidit l'air et est source de vapeur d'eau pour la formation des nuages... En Amazonie par exemple, ce rôle est bien observé. Les spécialistes y estiment qu'environ la moitié des précipitations enregistrées proviennent de l'évapotranspiration des arbres de la forêt tropicale humide.



© IRD / J-C Pintaud

Les chercheurs veillent...

De nombreux scientifiques s'intéressent à la biomasse – ensemble de la matière organique végétale et animale – présente dans les forêts tropicales, pour mieux évaluer la contribution de la déforestation aux émissions globales de gaz à effet de serre, mais aussi la capacité de stockage de carbone des forêts. Les chercheurs procèdent à ces estimations grâce à des mesures simples sur le terrain, comme le diamètre du tronc des arbres, réalisées lors d'inventaires forestiers, couplés à des images aériennes et



© IRD / N. Barbier

satellitaires. Ils utilisent également depuis quelques années une technique laser, ou LIDAR, qui permet d'évaluer indirectement la biomasse sur pied. La disponibilité croissante des images satellites à très haute résolution spatiale offre aussi de nouvelles solutions aux chercheurs pour évaluer la biomasse des forêts. [En savoir plus](#) : page d'AMAP sur www.ird.fr

Depuis une vingtaine d'années, les scientifiques étudient également l'évolution au cours des derniers millénaires de la forêt tropicale dans les bassins de l'Amazonie et du Congo, et quel rôle a joué le climat par le passé dans cette évolution.

Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), les forêts tropicales pourraient être plus sensibles aux variations climatiques que les forêts tempérées.

Le changement climatique entraîne notamment la recrudescence des **feux de forêt**. En effet, l'élévation de température atmosphérique et l'augmentation des sécheresses accentuent le risque d'embrasement de la végétation, en particulier dans les massifs forestiers dégradés, comme dans le pourtour sud-est de l'Amazonie très déboisé.



© IRD / M-N Favier

Aux effets du changement climatique, s'ajoute en effet la **déforestation** par l'action de l'homme. Malgré un ralentissement ces dernières années, la déforestation a encore de beaux jours devant elle. Elle reste un moteur économique pour des pays émergents comme le Brésil et l'Indonésie, répondant à une demande mondiale croissante en produits agricoles ou issus de la forêt. Les massifs forestiers représentent pour ces pays une manne pour l'extension des cultures telles que le soja, le maïs, le palmier à huile, la canne à sucre, ou pour l'élevage de bovins.



© IRD / B. Osès

Or, la disparition d'une partie du « poumon vert » de la planète que représentent les forêts tropicales humides risque d'**augmenter la concentration en CO₂** de l'atmosphère à l'échelle du globe. L'effet de la déforestation est double. D'une part, en supprimant les arbres, elle élimine le potentiel de « puits » de carbone de la forêt. D'autre part, la combustion des arbres pour défricher les parcelles émet du gaz carbonique dans l'atmosphère.



© IRD / F. Kahn

Les experts considèrent ainsi la déforestation comme une source nette d'émissions de gaz à effet de serre. Le Giec affirme que la disparition de plusieurs millions d'hectares de forêts tropicales en Amazonie et en Asie du Sud-Est constituerait, depuis les années 1980, la plus grosse part des émissions de CO₂ : elle a été reconnue comme responsable de presque **un quart des émissions** issues des activités humaines au cours de la dernière décennie. La déforestation des forêts tropicales africaines pèse en revanche relativement peu dans la balance, comparée à celle d'Amérique du Sud et d'Asie du Sud-Est.

Les forêts tropicales humides constituent aussi un grand **réservoir de la biodiversité** mondiale. La diversité des espèces vivant dans la forêt amazonienne est l'une des plus élevées de toutes les terres émergées. La faune et la flore exceptionnelles du bassin amazonien seraient aussi le fruit d'une longue histoire géologique et climatique, la région ayant été préservée au cours des ères glaciaires. La tectonique active de la cordillère des Andes et la variabilité des précipitations seraient le moteur du développement des « hot-spots » de biodiversité d'après les spécialistes. Les effets conjugués du changement climatique et de la déforestation mettent en péril cette biodiversité unique.

Protéger les forêts (notamment tropicales) est devenu un enjeu dans la lutte contre le réchauffement climatique. De plus, les politiques de reboisement sont désormais intégrées dans les protocoles internationaux.

En ligne sur :

www.climat-sous-surveillance.ird.fr/Les-environnements/Les-forets

Chapitre 4 :

Les fleuves

L'eau douce, c'est la vie. Mais le climat semble bouleverser les ordres établis. Les fleuves poursuivront-ils leur cours tranquille ?

Ce qu'il faut savoir sur... les fleuves

L'eau douce est essentielle à la vie et au développement des sociétés. Mais elle est répartie de manière très inégale sur la planète. Les lacs, fleuves et rivières, s'ils ne présentent qu'1 à 2 % de l'eau douce sur Terre, constitue la ressource en eau la plus facile d'accès pour les hommes.

Leur niveau d'eau dépend directement des pluies tombées sur le territoire qui les alimente, appelé leur « bassin versant ». C'est ainsi que l'Amazone en Amérique latine, de la même longueur que le Nil en Afrique – 6700 kilomètres – mais dont le bassin versant est deux fois plus grand et qui connaît des précipitations beaucoup plus abondantes, possède un débit 25 fois supérieur !

Les aménagements humains depuis presque 200 ans, mais aussi le changement climatique actuel, modifient en profondeur les cours d'eau. Les grands fleuves, tels que l'Amazone où le fleuve Congo en Afrique, les deux plus grands de la planète, sont directement impactés par les phénomènes extrêmes tels que les fortes pluies, les moussons, El Niño, les sécheresses...

Quel constat ?

D'après le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), la température moyenne de la Terre a grimpé de 0,85 °C depuis 1880. Les conséquences de cette hausse du thermomètre sont multiples. Parmi elles, le changement de régime des pluies : les événements météorologiques extrêmes, qu'il s'agisse de fortes précipitations ou de sécheresses, sont de plus en plus fréquents. Pratiquement tous les grands bassins fluviaux du monde sont concernés, en régions tropicales comme tempérées, avec **des crues et des périodes de basses eaux** (appelé « étiages ») **de plus en plus sévères et de plus en plus fréquentes**.

C'est le cas en particulier de l'**Amazone**, le plus grand fleuve du monde. Les scientifiques, ayant reconstruit ses niveaux d'eau sur un siècle, ont mis en évidence ses **crues et étiages exceptionnels depuis une trentaine d'années**. Sur ces dernières années, ils ont enregistré deux « crues records » au regard de l'histoire récente du fleuve : en 2009, puis 2012.



© IRD / J-M Martinez

Les chercheurs ont révélé que ces phénomènes sont principalement liés à l'influence des phénomènes climatiques dans les océans Pacifique et Atlantique, de part et d'autre du continent sud-américain. Mais ils sont amplifiés par des facteurs locaux comme la déforestation, qui augmentent le ruissellement en période de pluies et réduit l'humidité en période de sécheresse, du fait de la destruction du couvert végétal, source de vapeur d'eau *via* l'évapotranspiration.

Deuxième fleuve de la planète après l'Amazone, le **Congo** a aussi connu une **importante instabilité de son débit**. Au début des années 1980, le fleuve a enregistré une baisse significative de son régime de l'ordre de 10%. Mais à partir de 1990, ce dernier présente en moyenne un retour à la normale.



© IRD / A. Lاراque

Les chercheurs veillent...

Les chercheurs suivent en permanence le débit de l'Amazone et de ses affluents, grâce à des courantomètres embarqués sur des bateaux, ainsi qu'à des réseaux de stations hydrométriques qui mesurent la hauteur d'eau. Ces données, complétées depuis 2002 par des mesures satellites, permettent d'estimer le niveau des fleuves depuis le ciel, mais aussi le niveau des eaux souterraines, notamment en période de sécheresse.

Les scientifiques ont ainsi reconstruit les niveaux du fleuve Amazone sur un siècle, mettant en évidence l'augmentation des phénomènes extrêmes, depuis une trentaine d'années.

En savoir plus : www.ird.fr/climat

Dans le bassin du Congo, les scientifiques utilisent les données satellites pour mieux suivre les variations du niveau du fleuve. En effet, l'hydrologie de ce bassin fluvial est très complexe et les mesures disponibles dans la région peu nombreuses...

En savoir plus : voir page d'ESPACE-DEV sur www.ird.fr



© IRD / J-L. Guyot



© IRD / A. LARAQUE

Quel impact sur... les populations riveraines ?

Ces événements extrêmes ont des impacts locaux majeurs. La hauteur de l'Amazone et de ses affluents peut varier de plus de 20 mètres entre les périodes de basses eaux et de crues. Et la largeur de l'Amazone peut atteindre 10 kilomètres lors des inondations les plus sévères. Lors de ces épisodes, les populations riveraines se voient **privés de leurs ressources** habituelles, en particulier celles issues de la **pêche** et de l'**agriculture**.

Au Brésil par exemple, les **transports** le long des cours d'eau, unique voie de communication pour la plus grande partie des habitants de l'Amazonie, peuvent être profondément perturbés. Ainsi, quand le fleuve est au plus haut, les riverains, peuvent se voir éloignés de plusieurs kilomètres. Et lors de sécheresse prolongées, ils peuvent être coupés de l'extérieur pendant plusieurs mois consécutifs...

Ces grands fleuves sont aussi une **source importante d'énergie** dans les régions qu'ils traversent. L'Amazonie est un lieu privilégié pour l'expansion de grands barrages hydroélectriques destinés à l'approvisionnement en énergie des grandes industries régionales, ainsi qu'aux villes. Les fortes fluctuations des fleuves font craindre que la capacité des barrages ait été mal dimensionnée...



© IRD / B. de Mérona

Plus grave encore, les inondations peuvent avoir des **conséquences mortelles**. De nombreux centres urbains sont souvent sinistrés. En 2014, la Bolivie compte 56 morts et 58 000 familles touchées par les crues catastrophiques du Rio Madeira, l'un des plus grands affluents de l'Amazonie. Le gouvernement bolivien l'a considérée comme l'inondation la plus catastrophique depuis 30 ans.

En Afrique, le **bassin du Congo** enregistre quant à lui une **baisse continue de son niveau de basses eaux depuis les années 1970**. Or, le fleuve Congo et son principal affluent, l'Oubangui, sont des **voies commerciales majeures**, reliant Bangui, la capitale de Centrafrique, aux villes de Kinshasa et Brazzaville, respectivement en république du Congo et en république démocratique du Congo (RDC). Les jours d'arrêt de la navigation sur l'Oubangui ont considérablement augmenté ces dernières décennies, jusqu'à 200 jours par an depuis 2002.



© IRD / B. Le Ru

Enfin, la **biodiversité** de ces cours d'eau est également **menacée**. L'Amazonie et ses affluents hébergent près de 20 % des espèces de poissons d'eau douce de la planète, dont les célèbres piranhas, les anguilles électriques ou les poissons-chats géants. Si les taux d'extinction chez ces poissons sont essentiellement provoqués par les activités humaines, le stress lié à la température et la limitation de l'oxygène pourrait produire des changements progressifs dans la structure et la composition des communautés actuelles de poissons. En Amazonie par exemple, les populations d'espèces tolérantes à l'augmentation de température, comme le Paiche, devraient s'accroître, tandis que les populations d'espèces sensibles à cette augmentation diminueront.



© IRD / J. Nunez

Les chercheurs veillent...

Les scientifiques étudient, à travers une approche multidisciplinaire, l'origine, le rôle et les mécanismes de l'évolution de la biodiversité aquatique et tentent de prédire ses réponses vis-à-vis des changements globaux, anthropiques et climatiques.

[En savoir plus](#) : page de BOREA sur www.ird.fr



© naturexpose.com /
O. Dangles et F. Nowicki

En ligne sur :

www.climat-sous-surveillance.ird.fr/Les-environnements/Les-fleuves

Chapitre 5 :

Les océans

L'atmosphère qui se réchauffe est souvent sur le devant de la scène. Mais qu'en est-il de l'océan ? Sa température grimpe-t-elle aussi ? Pourra-t-on un jour se baigner dans l'Antarctique ? Le Gulf Stream va-t-il s'arrêter ? Les poissons survivront-ils ?

Ce qu'il faut savoir sur... les océans

L'océan recouvre plus des deux tiers de la planète. C'est le thermostat naturel de la Terre : il régule la température de l'atmosphère en absorbant la chaleur et en la redistribuant, des tropiques vers les pôles, *via* les courants marins. Ces derniers contribuent également à l'oxygénation de l'océan au contact de l'air. La circulation océanique résulte de la rotation du globe et des vents marins. Elle dépend de plusieurs propriétés des eaux, comme la température et la salinité.

L'océan régule également le dioxyde de carbone (CO₂) présent dans l'atmosphère, l'un des principaux gaz à effet de serre responsable du changement climatique. C'est le premier « puits » de carbone de la planète, loin devant les forêts !

Quel constat ?

Les scientifiques estiment que l'océan a emmagasiné 90 % du réchauffement de l'atmosphère généré par l'augmentation de l'effet serre depuis le fort développement industriel, dès les années 1970. Faisant grimper sensiblement le thermomètre dans les eaux de surface ! Celles-ci se sont en moyenne réchauffées de 0,11 °C en 40 ans, selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

Mais cette hausse des températures se répartit de manière très inégale à l'échelle du globe. **L'océan se réchauffe surtout au niveau de l'équateur** dans l'Ouest du Pacifique et l'Est de l'Atlantique. Tandis qu'aux pôles le changement de température est beaucoup moins marqué...

L'océan a aussi absorbé 30 % des émissions humaines de dioxyde de carbone (CO₂) depuis les années 1970 d'après les scientifiques. S'ils ont longtemps pensé que cela était sans grandes conséquences, ces derniers se sont aperçus, il y a une quinzaine d'années, que la dissolution du CO₂ dans l'eau de mer entraîne la diminution de son pH. **L'océan s'acidifie !**



© IRD / C. Maes

Dernier constat : **l'océan s'appauvrit aussi en oxygène.** Cet élément chimique est en effet moins soluble dans l'eau chaude. Le réchauffement des eaux de surface réduit de ce fait sa dissolution dans l'océan au contact de l'air, *via* les vagues, la houle et les courants.



© IRD-Iframer-Fadio / M. Taquet

De plus, toujours à cause de l'élévation des températures en surface, les couches d'eau supérieures, plus oxygénées, se mélangent moins

avec les couches plus profondes. En effet, l'écart de température et de densité entre elles augmente ce que les spécialistes appellent la « stratification » des océans.

Ce phénomène contribue notamment à l'extension, depuis une cinquantaine d'années, des **zones dites de « minimum d'oxygène »** : ces eaux, situées dans la bande intertropicale et présentant un taux d'oxygène très faible, couvrent aujourd'hui près de **10 % de la superficie de l'océan mondial.**

Enfin, le changement climatique laisse craindre un **ralentissement de la circulation océanique mondiale**, illustré par le fameux courant du *Gulf Stream* dont la vitesse diminuerait. L'ensemble de ces phénomènes réduit l'apport en oxygène au sein de l'océan.

Les chercheurs veillent...

Suivre les conditions océaniques

Les chercheurs suivent en continu depuis près de 20 ans les principaux paramètres océaniques et leur évolution : la température de l'eau, la salinité, la pression, les courants, etc. Dans l'Atlantique, une vingtaine de bouées du réseau PIRATA transmettent tous les jours par satellite ces données, mises à disposition sur internet. Des appareils, installés par les océanographes depuis plusieurs décennies sur des navires de commerce sillonnant l'océan global, mesurent également en continu la salinité des eaux de surface. Les scientifiques disposent ainsi aujourd'hui de grandes séries de mesures pour effectuer des prévisions climatiques à long terme.

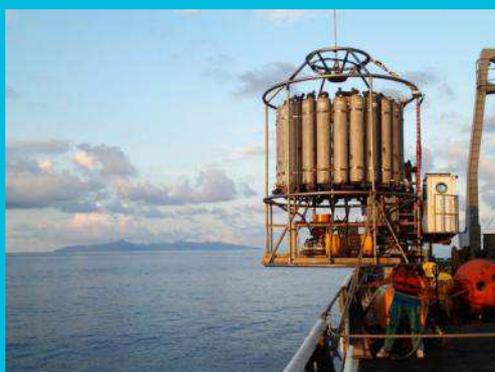
En savoir plus : www.ird.fr/climat



© IRD / J. Servain

Comprendre les interactions entre l'océan et le climat

Depuis plusieurs années, les chercheurs redoublent d'efforts dans le Pacifique. Par ses intenses courants, cet océan contribue fortement à la circulation océanique mondiale et donc à la répartition des masses d'eau chaudes sur toute la planète. De plus, il alimente les flux de chaleur et d'humidité de la majeure partie de l'atmosphère. Les scientifiques tentent de comprendre quel rôle cet océan joue exactement sur le climat. En savoir plus : page du LEGOS sur www.ird.fr



© IRD / S. Cravatte

Quel impact sur... les peuples des mers ?

Les changements de conditions dans l'océan bouleversent la vie marine. Le cycle biologique des espèces, leur métabolisme (croissance, respiration, etc.), leur abondance et leurs interactions sont profondément modifiés. Du plancton aux grands prédateurs, **la chaîne alimentaire est ébranlée.**

Poissons, mollusques et crustacés migrent à la recherche d'eaux plus froides, de manière générale vers les plus hautes latitudes. De nombreux organismes marins se déplacent ainsi en direction des pôles au rythme de 72 km tous les 10 ans ! C'est là une des manifestations les plus visibles du changement climatique.

Plus des deux tiers des poissons sont aujourd'hui capturés dans les zones de pêche des pays du Sud. Mais, d'ici à 50 ans, la zone intertropicale aura perdu 15 à 40 % de ses stocks de poissons, mettant en péril la sécurité alimentaire de nombreux pays qui dépendent de cette ressource pour leur survie.



© IRD / C. Peignon

L'extension des couches de minimum d'oxygène contraint également un grand nombre d'organismes à vivre dans seulement quelques mètres sous la surface, ou bien à quitter la zone. C'est ce qu'ont observé les chercheurs au large du Pérou, une région parmi les plus poissonneuses au monde, où se trouve aussi la couche de minimum d'oxygène la plus intense et la plus étendue de la planète.



© IRD / L. Ortlieb

Récemment, les océanographes ont aussi montré que le changement climatique pourrait modifier les caractéristiques des **petits tourbillons océaniques**. Or ces turbulences en surface, de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres de diamètre, sont de véritables « oasis » en pleine mer, qui concentrent la majorité des organismes, du zooplancton aux oiseaux, et les chaînes alimentaires.



© IRD / Y. Tremblay

La pêche s'en trouve impactée. Les changements dans l'océan vont modifier la carte des pêches. Les chercheurs estiment qu'à lui seul, le **réchauffement de l'eau** pourrait réduire le potentiel de pêche jusqu'à 40 % dans les régions tropicales à l'horizon 2055. Et si l'on tient compte de l'**acidification** et de la **réduction de la teneur en oxygène** de l'océan, les chances de captures s'amenuisent encore de 20 à 30 %...

Alors que la consommation humaine augmente, résultat de la croissance démographique et des changements de comportement alimentaire, cela compromet la sécurité alimentaire dans de nombreux pays en développement.

Les chercheurs veillent...

Observer et modéliser la vie marine

Le suivi à long terme des écosystèmes marins permet aux scientifiques d'évaluer leur vulnérabilité dans un contexte de changement climatique. Dans le Pacifique Sud notamment, de nombreux organismes de recherche internationaux se sont réunis pour mettre en œuvre un Grand observatoire de l'environnement et de la biodiversité terrestre et marine, le GOPS.

En savoir plus : www.ird.fr/climat



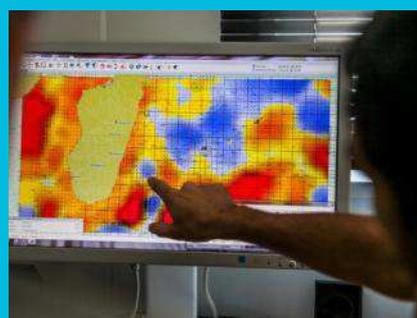
© IRD / J-M Boré

Depuis les côtes de l'Afrique australe jusqu'au large du Pérou, en passant par le golfe du Mexique, les scientifiques modélisent le cycle de vie de nombreuses espèces en fonction des contraintes environnementales : croissance, prédation, reproduction, migration, mortalité... Ces modèles numériques sont mis à disposition d'une large communauté de chercheurs, de pays du Nord comme du Sud, pour prévoir l'évolution des milieux marins dans les décennies à venir.

En savoir plus : page de MARBEC sur www.ird.fr

Repérer le poisson

Grâce aux systèmes d'information géographique (SIG) et aux données satellites mondiales, les scientifiques modélisent la répartition des espèces marines, afin de mieux prévoir la répartition future des ressources en poisson dans le monde. Les chercheurs s'attachent à améliorer la gestion des pêcheries dans ce contexte. En savoir plus : page du LEMAR sur www.ird.fr



© IRD / T. Vergoz

En ligne sur :
www.climat-sous-surveillance.ird.fr/Les-environnements/Les-oceans

Chapitre 6 :

Les îles et les côtes

Le changement climatique va de pair avec la montée des mers. Comment s'explique ce phénomène ? A quelle vitesse l'océan avance sur les littoraux ? Combien serons-nous de « réfugiés climatiques » ?

Ce qu'il faut savoir sur... les zones côtières et les îles

Les littoraux et les îles paient le prix fort de leur attractivité : surexploitation des ressources côtières, urbanisation croissante et la pollution inhérente... La population des zones côtières a considérablement augmenté depuis les années 1950. Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), près de 145 millions de personnes vivent aujourd'hui à une altitude de seulement 1 m au-dessus du niveau de la mer, et près de 400 millions à moins de 10 m. Plus de la moitié des grandes villes en zone tropicale, notamment en Afrique et en Asie, sont situées sur la côte, héritage entre autres des comptoirs des anciennes colonies européennes.

L'élévation du niveau de la mer de plusieurs dizaines de centimètres de l'océan annoncée dans les décennies à venir, ainsi que l'érosion côtière, menacent ainsi de grandes agglomérations comme Nouakchott en Mauritanie, Lagos au Nigeria, Lomé au Togo ou encore Dhaka au Bangladesh.

De manière générale, la proximité de la mer pose la question de la salinisation des sols et de l'accès à l'eau potable. L'eau de mer se mélange en effet à l'eau douce à l'embouchure des cours d'eau et s'infiltré dans les sols et les nappes d'eau souterraine. Le changement climatique est une pression supplémentaire sur ces écosystèmes déjà fragiles.

Quel constat ?

La **hausse du niveau des mers** du fait du changement climatique est un phénomène bien établi par les scientifiques. Depuis un siècle, cette élévation est en moyenne de 2 mm par an. D'après les données satellitaires et les mesures effectuées le long des côtes, cette hausse s'accélère depuis les années 1990 : la mer monte désormais de **3 mm par an** !

Il s'agit d'un phénomène attendu, dû à la dilatation thermique des océans sous l'effet de leur réchauffement, ainsi qu'à la fonte des glaciers de montagne et des calottes polaires arctique et antarctique. Mais d'autres facteurs interviennent aussi à l'échelle régionale, comme les vents, la pression de l'air, les courants océaniques, etc.



© IRD - O. Dangles et F. Nowicki / Une Autre Terre

Le changement climatique entraîne également une augmentation de la fréquence et de l'intensité des **tempêtes et cyclones**. Combinées à l'élévation du niveau des océans, les vagues et la houle accroissent alors l'**érosion des côtes** dans le monde.



© IRD / B. Marty

Les **récifs coralliens**, dissipant l'énergie des vagues, constituent une barrière de protection naturelle très efficace contre la montée des eaux et l'érosion côtière. Mais le changement climatique menace également ces écosystèmes, déjà très abîmés par l'homme à travers la pollution littorale, la pêche et le tourisme.

Dès que la température augmente de quelques degrés, les coraux expulsent leurs zooxanthelles – des algues microscopiques avec qui ils vivent en « symbiose » et qui leur procurent par photosynthèse une large part du carbone dont ils ont besoin –, laissant apparaître leur squelette calcaire.



© IRD / Y. Bettarel

Ce phénomène de « **blanchissement** » s'accroît donc avec le réchauffement des océans du fait du changement climatique. Les écosystèmes coralliens du monde entier sont impactés.

Cependant, l'effet du réchauffement des eaux mérite d'être nuancé : certains récifs, comme en mer Rouge, se sont adaptés à une température anormalement élevée. Les coraux vont aussi coloniser de nouveaux espaces, jusqu'à présent trop froids.

Les coraux seraient aussi affectés par l'acidification des océans : celle-ci diminue la disponibilité du carbonate de calcium dans l'eau, l'un des principaux constituants du corail, et freine donc la croissance des récifs. Les récifs coralliens ainsi fragilisés peuvent être en partie détruits lors des cyclones et tempêtes tropicales de plus en plus fréquents. Dans ce cas, un récif peut plus de vingt ans pour se reconstituer, comme celui des Seychelles en grande partie détruit en 1998.



© IRD / P. Laboute

Un autre écosystème propre aux zones côtières est aujourd'hui impacté : les **mangroves**. Couvrant les trois quarts des littoraux tropicaux, ces forêts de palétuviers constituent une zone tampon entre l'océan et la terre. Elles jouent aussi un rôle dans la protection contre l'érosion des côtes d'après les chercheurs.



© IRD / J-C Gay

Mais cet écosystème particulier disparaît actuellement, à un taux de 1 à 2 % par an. En cause, l'urbanisation des littoraux et l'exploitation de ses ressources, comme les élevages de crevettes en Asie du Sud-Est et en Amérique latine, particulièrement dévastateurs pour la mangrove. Les effets du changement climatique, avec l'augmentation du nombre et de l'intensité d'événements cycloniques et d'ouragans, seraient une pression supplémentaire.



© IRD / C. Proisy

Enfin, les sécheresses, de plus en plus sévères du fait du réchauffement de l'atmosphère, aggravent le phénomène d'**intrusion de l'eau de mer** dans les nappes souterraines et les sols littoraux, ainsi que les parties aval des cours d'eau.

Ce phénomène de **salinisation des eaux et des sols** est accentué par l'homme. En effet, l'urbanisation agit de deux manières. D'une part, elle imperméabilise les sols (bétonnage et bitumage), limitant de ce fait l'infiltration des eaux de pluie, qui sont alors évacuées par les réseaux fluviaux et n'alimentent plus les nappes souterraines. D'autre part, elle accroît les volumes d'eau pompés dans ces nappes pour l'approvisionnement en eau des villes.



© IRD / S. Andreffouet

Les chercheurs veillent...

Grâce à des réseaux de bouées houlographes et de capteurs de pression disposés le long des côtes, les chercheurs mesurent la houle et la hauteur d'eau, pour détecter d'éventuels niveaux anormalement élevés, liés à des cyclones, tempêtes, etc. Avec des données sur le long terme, les scientifiques peuvent alors suivre l'évolution de la hauteur moyenne des vagues en été et en hiver et évaluer l'impact du changement climatique sur les zones insulaires et côtières.

Les chercheurs effectuent également des relevés topographiques et GPS complétés par les images satellites pour suivre l'évolution du trait de côte et mesurer l'érosion littorale.

Enfin, les chercheurs étudient l'équilibre, à la fois complexe et instable, entre l'eau douce et l'eau de mer dans les nappes d'eau souterraine. Grâce à la mesure de la conductivité des eaux, ils modélisent en 2D et 3D la répartition de la salinité sous nos pieds et le rôle notamment de la végétation, consommatrices d'eau douce.

[En savoir plus](http://www.ird.fr) : page du LEGOS sur www.ird.fr



© IRD / B. Marty



© IRD / J. Orepuller

Quel impact sur... les populations littorales ?

L'élévation du niveau des océans menace de disparition 12 % des îles de la planète d'après les modèles et estimations des scientifiques. Mais la montée des océans se répartit très inégalement en différents points du globe. Ainsi, l'ouest du Pacifique enregistre une élévation du niveau de la mer d'environ **10 mm par an**. Une hausse bien supérieure à la moyenne globale de 3 mm par an. Alors qu'à l'est de cet océan, la hausse est inférieure à 3 mm/an. Les îles Salomon ont ainsi connu au cours des 50 dernières années une élévation du niveau de la mer dix fois plus importante que la moyenne des océans.



© IRD / P. Laboute

Plus localement, la submersion des côtes et des îles dépend de perturbations climatiques comme le phénomène El Niño, ou même de la tectonique des plaques, qui peut provoquer l'enfoncement des archipels.

Le phénomène de salinisation des eaux et des sols, observé un peu partout dans le monde en zone littorale, est lourd de conséquences. D'une part, il rend difficile la « **potabilisation** » de l'eau pour l'approvisionnement des populations littorales. D'autre part, il rend improductives des terres agricoles auparavant fertiles.

Or, depuis les années 1950, les zones littorales connaissent une **urbanisation** et une **croissance démographique** sans précédent. Un phénomène en partie dû au changement climatique, qui réduit les rendements agricoles et favorise l'exode rural vers les métropoles côtières. Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), près de 145 millions de personnes vivent aujourd'hui à une altitude de seulement un mètre au-dessus du niveau de la mer, et près de 400 millions à moins de 10 mètres.



© IRD / Y. Marguerat

L'**élévation annoncée du niveau de la mer** de plusieurs dizaines de centimètres dans les décennies à venir et l'érosion côtière menacent de grandes agglomérations comme Nouakchott en Mauritanie, Lagos au Nigeria, Lomé au Togo, Dhaka au Bangladesh, Ho Chi Minh au Vietnam ou certains quartiers de Rio de Janeiro au Brésil, de Dakar au Sénégal.



© IRD / V. Simonneaux

Sur le plan sanitaire, des chercheurs observent depuis une vingtaine d'année comment le changement climatique, en particulier en milieu insulaire et côtier, influe sur la répartition de certaines espèces (moustiques, punaises, tiques, etc.) responsables de **maladies infectieuses**. Ces dernières années, les îles de l'océan Indien, du Pacifique et des Caraïbes ont par exemple connu des épidémies de dengue et son nouveau cousin, zika. À l'horizon 2100, les zones concernées par la dengue par exemple pourraient s'étendre vers le nord et vers le sud, au-delà des limites géographiques où la maladie est aujourd'hui identifiée.



© IRD / M. Dukhan

Les chercheurs veillent...

A la recherche des futurs atolls disparus

Les scientifiques établissent des cartes des atolls du Pacifique les plus vulnérables face aux variations futures de la température, de la houle et du vent. Entre 1993 et 2012, ces îlots ont connu plusieurs extinctions massives d'espèces lagunaires.

[En savoir plus](#) : page d'ENTROPIE sur www.ird.fr



© IRD / B. Marty

Cartographier les risques sanitaires

Afin de suivre l'évolution notamment de la dengue en milieu côtier, et d'anticiper son développement face aux modifications climatiques à venir, les scientifiques conduisent des recherches sur les impacts du climat sur les populations du moustique vecteur : le moustique tigre. Ils élaborent ainsi des cartes de risque épidémique ainsi qu'un indice de risques climatiques, qui pourraient être utilisés par les autorités politiques et sanitaires des pays concernés.

[En savoir plus](#) : voir page d'ESPACE-DEV sur www.ird.fr

[En savoir plus](#) : page du LOCEAN sur www.ird.fr



© IRD / T. Vergoz

En ligne sur :

www.climat-sous-surveillance.ird.fr/Les-environnements/Les-iles-et-les-cotes

Chapitre 7 :

Les zones arides : l'exemple du Sahel

Le réchauffement de la Terre se manifeste partout. Mais est-il encore plus flagrant dans les zones désertiques, où le thermomètre atteint déjà des sommets ? Y aura-t-il encore de l'eau au sahel ? Le désert va-t-il s'étendre ?

Ce qu'il faut savoir sur... les zones arides

Les zones arides couvrent près de 40 % de la surface de la Terre. Ces régions semi-désertiques sont présentes sur tous les continents. Plus d'un tiers de la population mondiale y vit, soit 2 milliards de personnes, souvent parmi les plus pauvres de la planète.

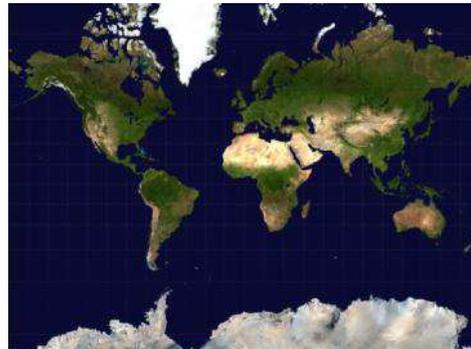
Caractérisées par un climat sec et le plus souvent chaud, ce sont des zones très sensibles au réchauffement de l'atmosphère dû à l'augmentation des gaz à effet de serre depuis la fin du 19^e siècle.

La zone du Sahel, qui traverse l'Afrique d'est en ouest au sud du Sahara, est ainsi l'une des régions du globe les plus vulnérables face au changement climatique actuel. La température moyenne annuelle y avoisine les 18°C, ce qui est déjà élevé (par rapport à celle de la France par exemple, comprise entre 9,5°C et 15,5°C). Les pluies y sont très irrégulières tout au long de l'année. Par exemple, il pleut autant sur une année à Niamey, la capitale du Niger, qu'à Paris. Mais toute l'eau tombe en seulement 3 mois ! Cette période des pluies est appelée la mousson.

Quel constat ?

L'utilisation croissante de charbon, de pétrole et de gaz, appelés les « énergies fossiles », par l'industrie, l'agriculture, les transports ou l'habitat et, dans une moindre mesure, la déforestation, augmente la concentration dans l'atmosphère du dioxyde de carbone (CO₂), l'un des principaux gaz à effet de serre.

Depuis la révolution industrielle au 19^e siècle, cette concentration a augmenté de 40 % d'après le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (*GIEC*). Le réchauffement actuel est ainsi inédit par sa rapidité ! Selon ces spécialistes, la **température moyenne à la surface du globe** a augmenté de **0,85 °C depuis 1880**. Mais cette moyenne globale masque des variations importantes selon les régions du globe et selon les périodes de l'année.



Par exemple, la température a bien plus augmenté **au Sahel** depuis 1950. Le réchauffement est particulièrement marqué au printemps (plus de 2°C), alors que les températures sont déjà très élevées durant cette période de l'année.

Selon les différents scénarios envisagés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (*GIEC*), **la température du globe devrait encore s'élever de 1 à 5°C** en moyenne d'ici à la fin du 21^e siècle.

Si les températures n'ont fait qu'augmenter depuis le début du siècle dernier, ce n'est pas le cas des pluies, qui connaissent des hauts et des bas. Ainsi, dans les années 1970 à 1990, le Sahel a connu de grandes vagues de sécheresse, avec des conséquences dramatiques sur la végétation, l'agriculture et les ressources en eau, accentuant le caractère désertique de cette région. **Le lac Tchad**, à la frontière du Niger, du Tchad, du Cameroun et du Nigeria, est emblématique de ce phénomène : jadis l'un des plus grands du monde, il a vu sa **surface divisée par 10** depuis les années 1960, du fait notamment des sécheresses répétées. Grâce notamment aux images satellites, les scientifiques ont en effet démontré qu'il est passé de 20 000 km² à 2 000 km².



Aujourd'hui, la pluie est revenue au rendez-vous. Les scientifiques observent un retour quasiment à des conditions humides en termes de quantité d'eau tombée, permettant une reprise de la végétation, « reverdissement » que l'on observe de manière générale par satellite. Mais, là encore, le **retour de la pluie** n'est pas homogène : les précipitations sont toujours en baisse à l'ouest du continent, au Sénégal notamment, et sont très irrégulières. Les épisodes pluvieux sont de plus en plus violents mais aussi de plus rares, entrecoupés de périodes de sécheresse plus longues et plus sévères. Les chercheurs parlent ainsi d'« **intensification** » du régime des pluies.



© IRD / R. Fauck

A ce changement de régime des pluies vient s'ajouter la croissance démographique au Sahel, qui accentue la pression sur les ressources en eau et sur la terre. La population du Niger, par exemple, est passée de 3,2 millions en 1960 à 15,5 millions en 2010. Le développement agricole, pour répondre aux besoins croissants de cette population, a entraîné l'épuisement et la dégradation des sols. Défrichage de la brousse, déboisement des forêts claires, surpâturage... favorisent ce phénomène de « **désertification** » du Sahel et l'expansion du Sahara, comme l'ont révélé les scientifiques.



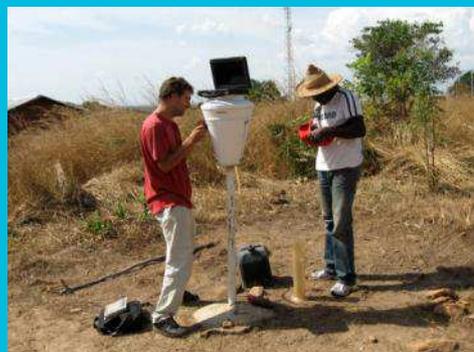
© IRD / D. Rechner

Enfin, l'intensification des précipitations, à laquelle s'ajoute l'encroûtement des terres du fait de leur dégradation, réduit l'infiltration de l'eau dans le sol et **accroît le ruissellement** des eaux à sa surface. Ce qui explique un phénomène que les scientifiques ont longtemps appelé le « paradoxe du Sahel », avec l'augmentation du débit des cours d'eau malgré des pluies autant, voire moins abondantes pendant un temps. C'est ainsi que des ont été observées au cours des cinq dernières années en Afrique de l'Ouest en particulier.

Les chercheurs veillent...

Depuis 60 ans, les scientifiques suivent l'évolution du régime de pluies au Sahel. Grâce à un réseau d'observations, renforcé depuis 2002 avec des pluviographes répartis tous les 30 km sur 3 sites d'observation au Mali, au Niger et au Bénin, ils effectuent des relevés journaliers de la quantité de pluie tombée – ou non... Ils obtiennent ainsi une vision de la répartition des pluies et des événements extrêmes, avec une très grande précision !

En savoir plus : www.ird.fr/climat



© IRD / V. Jorigné

Depuis les années 2000, des scientifiques africains, européens et américains observent intensément la mousson africaine, une source vitale de pluie dans les régions du Sahel. Mieux connaître ce phénomène permettra d'améliorer les modèles de prévision météorologique et climatique, et ainsi les prévisions journalières ou d'une année sur l'autre. Leur objectif, in fine, est de mieux prévoir ses variations et ses répercussions sur le climat local, régional et global mais aussi sur les ressources en eau, les populations, sur la santé, l'agriculture...

En savoir plus : page du LTHE sur www.ird.fr

En savoir plus : page du LOCEAN sur www.ird.fr

En savoir plus : page de ECLAIRS sur www.ird.fr



© IRD / T. Lebel

Quel impact sur... les populations sahéniennes ?

Les populations rurales sont très dépendantes de la pluie pour leur **accès à l'eau potable**, pour l'**agriculture** et donc pour leur **sécurité alimentaire**. Depuis les grandes vagues de sécheresse des années 1970 à 1990, le Sahel est devenu une région emblématique de leur vulnérabilité face au changement climatique.

L'agriculture y est principalement pluviale : 93 % des terres cultivées sont dépourvues de système d'irrigation. Les récoltes dépendent donc directement des précipitations. Ce type d'agriculture pluviale concerne principalement les céréales : le mil, le sorgho, le fonio et le maïs, mais aussi les cultures de rente comme le coton et l'arachide.



© IRD / A. Barnaud

Les pluies de plus en plus irrégulières et les événements extrêmes (orages et sécheresses) accrus du fait du changement climatique devraient **réduire les rendements agricoles de 20 % par décennie** d'ici à la fin du 21^e siècle dans certaines zones du Sahel, contre seulement 2 % en moyenne dans le reste du monde, d'après le GIEC...

Toutefois, les populations sahéliennes font preuve d'une **grande capacité d'adaptation**, comme l'illustre l'exemple des populations riveraines du lac Tchad. Celui-ci constituait une ressource en eau essentielle pour les pêcheurs et éleveurs des quatre pays limitrophes : le Niger, le Nigeria, le Tchad et le Cameroun. Face à l'assèchement du lac, ils sont passés d'une activité tournée essentiellement vers la pêche à des cultures de décrue, telles que le maïs ou le riz, dans les terres fertiles découvertes par le retrait des eaux.

Du fait des crues exceptionnelles des cours d'eau, provoquées par l'augmentation des ruissellements, de **sévères inondations** sont survenues en Afrique de l'Ouest ces cinq dernières années. Ces catastrophes naturelles ont parfois eu de graves conséquences pour les populations, comme à Niamey au Niger, en 2012, où plus de 340 000 sinistrés ont été dénombrés.



© IRD / T. Amadou

Là encore, la répartition de l'eau est très inégale : plus au sud, les savanes soudanaises subissent à l'inverse une baisse sévère des écoulements, avec un accès à l'eau potable plus difficile pour les populations.

Les chercheurs veillent...

Pour mieux anticiper les conséquences du changement climatique sur l'agriculture au Sahel, les scientifiques élaborent des modèles numériques complexes à partir de données climatiques, agronomiques et économiques. Mieux comprendre l'impact du changement climatique sur les rendements agricoles leur permet de mettre au point des stratégies d'adaptation pour les agriculteurs des zones arides comme le Sahel.

En savoir plus : page d'ESCAPE sur www.ird.fr

Les scientifiques mesurent également le niveau d'eau souterraine et les débits des cours d'eau pour étudier les impacts du climat et de l'homme sur les ressources en eau.

En savoir plus : page d'HSM sur www.ird.fr



© IRD / E. Bernus

En ligne sur :
www.climat-sous-surveillance.ird.fr/Les-environnements/Les-zones-arides

Crédits / Contacts

Conseillers scientifiques :

Thomas Condom

Valérie Clerc

Pierre Couteron

Frédérique Seyler

Philippe Cury

Jérôme Aucan

Gilbert David

Sylvie Galle

Benjamin Sultan

Les contenus scientifiques de ce dossier pédagogique sont tirés de l'ouvrage *Changement climatique. Quels défis pour le Sud ?*, ouvrage collectif dirigé par SERGE JANICOT, CATHERINE AUBERTIN, MARTIAL BERNOUX, EDMOND DOUNIAS, JEAN-FRANÇOIS GUEGAN, THIERRY LEBEL, HUBERT MAZUREK et BENJAMIN SULTAN, rédaction MAGALI REINERT, IRD EDITIONS, 2015.

Rédaction / réalisation :

Gaëlle Courcoux

Direction de l'information et de la culture scientifiques pour le Sud

Institut de recherche pour le développement

44, boulevard de Dunkerque

13572 Marseille Cedex 2

transmedia@ird.fr