LES CAHIERS D'AXA

Recherche et éducation
pour la réduction des risques

N° 4

RISQUES CLIMATIQUES

réinventons / notre métier

LES RISQUES CLIMATIQUES

Tsunami au Japon, tornades aux États-Unis, tremblements de terre en Nouvelle-Zélande, inondations spectaculaires dans de nombreuses régions du monde… l'année 2011 a été marquée par des catastrophes naturelles dramatiques, faisant de nombreuses victimes. Par ailleurs, l'ampleur des pertes économiques fut sans commune mesure.

Cette année 2011 illustre-t-elle une tendance à la hausse des catastrophes naturelles ? Sommes-nous en mesure d'identifier la cause de l'augmentation des sinistres ? S'agit-il essentiellement d'une densification de l'exposition dans les zones à risques ? Ou bien notre système climatique est-il en mutation, produisant des phénomènes météorologiques extrêmes plus fréquents, plus intenses, ou les deux à la fois ?

Si certains aspects des conséquences du changement climatique sont encore fortement débattus au sein de la communauté scientifique, quelques faits et tendances font désormais consensus. Ainsi, un rapport[1] du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) a récemment mis en évidence l'évolution de certaines caractéristiques climatiques extrêmes depuis 1950 – températures, précipitations et inondations, en particulier.

Ce cahier analyse les risques associés au climat et leur évolution potentielle du point de vue de l'assurance. Il présente d'abord les dernières données scientifiques sur l'évolution climatique observée ainsi que sur les projections disponibles. Il vient rappeler que le changement climatique et l'évolution connexe des catastrophes naturelles constituent un défi capital pour le secteur de l'assurance. Les assureurs doivent donc, plus que jamais, surveiller les risques climatiques.

Les catastrophes naturelles présentant une intensité, une ampleur géographique et une occurrence extrêmes, leur suivi nécessite des techniques de modélisation et de simulation très spécifiques. Conçues à l'origine par des spécialistes du climat, ces techniques sont de plus en plus utilisées par le secteur de l'assurance. Quelques-unes seront ici évoquées.

Enfin, ce cahier considère également les leviers dont dispose le secteur de l'assurance, en s'appuyant sur son expertise, pour assumer son rôle économique et sociétal et ainsi contribuer à lutter contre le changement climatique.

Nota : les appels de note entre crochets renvoient aux numéros des ouvrages de référence cités page 35.

SOMMAIRE

1. CHANGEMENT CLIMATIQUE : FAITS ET PROJECTIONS

1.1 Évolution antérieure du climat ____ 4
1.2 Les projections climatiques ____ 10
1.3 Impacts sur les phénomènes météorologiques extrêmes ____ 13

→ Éclairage, par Sir Brian Hoskins ____ 17

2. MODÉLISATION DES RISQUES CLIMATIQUES DANS LE SECTEUR DE L'ASSURANCE

2.1 Des méthodes « sur historique » aux méthodes « sur exposition » ____ 19
2.2 Extrapolation des données historiques ____ 21
2.3 Émergence des modules d'aléas de nature physique ____ 22

→ Éclairage, par Sir Brian Hoskins ____ 24

3. CHANGEMENT CLIMATIQUE : EFFETS SOCIO-ÉCONOMIQUES ET RÔLE DU SECTEUR DE L'ASSURANCE

3.1 L'impact sur les communautés humaines et sur l'environnement ____ 26
3.2 Le rôle du secteur de l'assurance ____ 27

→ Éclairage, par Sir Brian Hoskins ____ 33

CONCLUSION : UNE NÉCESSAIRE ACTION COLLECTIVE

Références ____ 35

Des renseignements sur une période de plus de 420 000 ans.
Évolution d
certaines caractéristique
climatiques extrêmes
MESURER LA
CONCENTRATION
D'ÉLÉMENTS
CHIMIQUES DANS
L'ATMOSPHÈRE

1. CHANGEMENT CLIMATIQUE : FAITS ET PROJECTIONS

Si le climat a toujours connu des évolutions, les études scientifiques s'accordent pour identifier les émissions de gaz à effet de serre comme principal facteur de changement sur la période récente. La tendance à la hausse de ces émissions permet d'anticiper d'autres changements climatiques. Le rôle du réchauffement global dans le changement des caractéristiques des événements naturels extrêmes ne peut plus être rejeté.

Comprendre le climat de la Terre et son évolution : un sujet d'étude extrêmement vaste et ambitieux, sur lequel des scientifiques du monde entier se penchent depuis plus de quarante ans. En 1988, l'Organisation Météorologique Mondiale et le Programme des Nations unies pour l'Environnement ont créé le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC). Objectif : fournir aux décideurs un point de vue scientifique clair sur l'évolution du climat. Cet organisme publie, tous les six ans environ, un rapport d'évaluation qui dresse l'état des lieux des recherches à travers le monde.

La première partie de ce Cahier rassemble les principales conclusions scientifiques présentées dans les précédents rapports d'évaluation du GIEC, puis fait le point sur les avancées de la recherche depuis la publication du dernier rapport en 2007. L'accent est d'abord mis sur les changements climatiques déjà observés, pour s'intéresser ensuite au large éventail de projections climatiques actuellement disponibles. Enfin, cette première partie présente les conséquences possibles sur les phénomènes météorologiques extrêmes.

Variation sur 420 000 ans de la concentration en CO_2 et de la température annuelle moyenne de surface

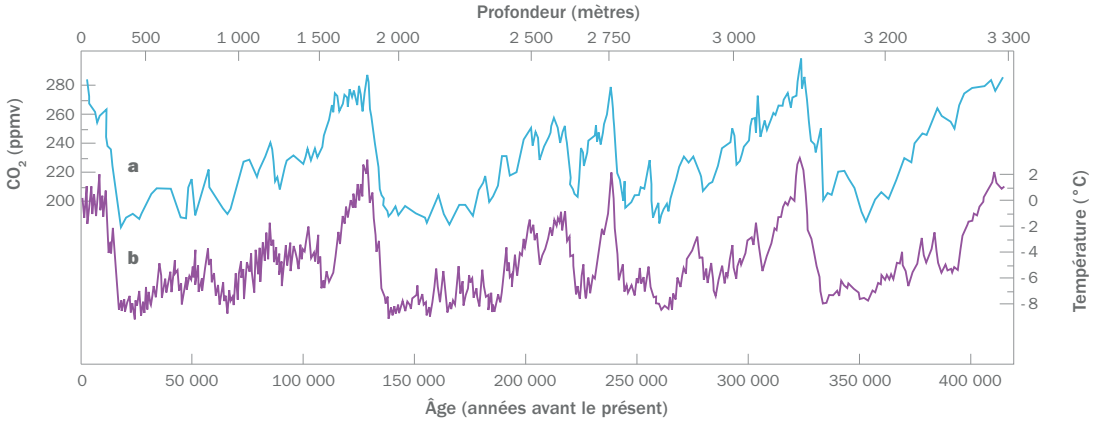


Figure 1. Variation sur 420 000 ans de la concentration en CO_2 (a) et de la température annuelle moyenne de surface (b), obtenue à partir d'une carotte de glace de l'Antarctique. Âge exprimé en années avant le présent (1999), l'époque la plus ancienne se situant à droite. Variation de la température exprimée en fonction d'une température de surface de référence de - 55,5 °C. *Source : Petit* et al. *(1999)*[2]

1.1 – Évolution antérieure du climat

Afin de comprendre le climat actuel, il est indispensable de prendre du recul et essayer d'évaluer la façon dont le climat a évolué par le passé. Pour cela, nous considérons essentiellement la température moyenne de la surface de la terre, qui constitue une variable représentative du climat relativement facile à reproduire sur une longue période.

Reconstitution des températures paléoclimatiques

Les données climatiques les plus anciennes et les plus fiables dont nous disposons proviennent de carottes de glace prélevées dans l'Antarctique, grâce auxquelles il est possible de mesurer la concentration d'éléments chimiques dans l'atmosphère sur une longue période. En 1999[2], un premier prélèvement s'est révélé fiable sur une profondeur de 3 310 m, fournissant ainsi des renseignements sur une période de plus de 420 000 ans. Cela a permis d'obtenir, pour cette période, les niveaux de concentration atmosphérique de dioxyde de carbone (CO_2), l'un des gaz à effet de serre les plus actifs(1). La température annuelle moyenne de surface a pu être établie, en parallèle, à partir de la teneur en deutérium de la glace, du fait d'une forte corrélation entre la température et la concentration de cet élément. L'évolution passée de ces deux variables est reproduite Figure 1.

Les données de la Figure 1 révèlent, en premier lieu, une forte variabilité naturelle du climat (quoique plus faible à l'échelle planétaire que ne l'indique l'échantillon antarctique) : on constate l'existence de longues périodes glaciaires qui s'achèvent par une transition abrupte vers des phases chaudes. Les quatre cycles climatiques montrent une amplitude globale de la température de surface d'environ 12 °C.

Une autre indication majeure est la forte corrélation observée entre la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (les variations du méthane ne sont pas affichées) et la température moyenne en Antarctique. Ceci illustre un processus naturel relativement bien connu régissant le cycle global du carbone sur Terre. Les variations de l'orbite terrestre autour du Soleil, qui modulent le rayonnement de ce dernier, donnent initialement lieu à des variations de température(2). Lorsque la température augmente (ou, à l'inverse, diminue), on assiste à une libération (ou, dans le cas contraire, à un stockage) de dioxyde de carbone par l'océan, en raison de la perturbation du transfert du carbone de l'atmosphère vers les profondeurs de l'océan. Cela a pour effet d'amplifier le réchauffement (ou le refroidissement) du climat en vertu du phénomène d'effet de serre. Les données paléoclimatiques

(1) Voir Focus 1.

(2) Ces variations climatiques portent également le nom de cycles de Milankovitch.

FOCUS 1 Qu'est-ce que l'effet de serre ? Quels sont les principaux gaz en cause ?

Depuis le milieu du XVIIIe siècle, l'activité humaine a provoqué une augmentation de la concentration des quatre principaux gaz à effet de serre. Des gaz aux potentiels de réchauffement global différents.

En réponse à l'énergie solaire incidente, la surface de la Terre renvoie en moyenne la même quantité d'énergie dans l'espace. La plus grande partie de ce rayonnement est cependant absorbée par l'atmosphère et renvoyée vers la surface de la Terre. « L'effet de serre » qui en résulte conduit à un réchauffement du climat terrestre. Aucune vie ne serait possible sans lui.

La vapeur d'eau est le plus important des gaz à effet de serre, en raison de ses propriétés spectroscopiques et de son abondance dans l'atmosphère. Par ailleurs, depuis l'ère préindustrielle (1750), l'activité humaine a provoqué une augmentation de la concentration de quatre principaux gaz à effet de serre : le dioxyde de carbone, le méthane, le protoxyde d'azote et les hydrocarbures halogénés (voir Figure 2)[3].

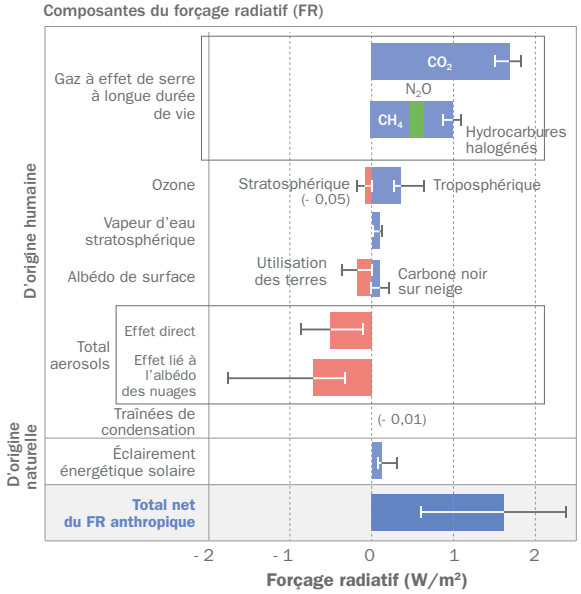
Forçage radiatif

Le « pouvoir de réchauffement global » d'un élément atmosphérique peut être mesuré par le forçage radiatif qui lui est associé, c'est-à-dire la variation de la puissance radiative nette dans le système terrestre, découlant de la présence de l'élément dans l'atmosphère (via l'effet de serre). Lorsqu'il est positif, le forçage radiatif est étroitement lié à un apport d'énergie dans le système, entraînant le réchauffement de la surface. Inversement, un forçage radiatif négatif est synonyme de perte d'énergie et donc de refroidissement.

Compte tenu de leurs capacités de forçage radiatif, le protoxyde d'azote et le méthane sont des gaz à effet de serre beaucoup plus puissants que le dioxyde de carbone : leurs potentiels de réchauffement global, tels que le définit le quatrième Rapport d'évaluation du GIEC[3], sont respectivement 298 et 25 fois plus élevés. Le CO_2 est cependant beaucoup plus abondant dans l'atmosphère, ce qui fait de lui un facteur de forçage radiatif majeur (Figure 2). La figure révèle par ailleurs que l'activité humaine constitue un facteur radiatif beaucoup plus important que les phénomènes naturels. En effet, dans le résultat net, la composante naturelle est minime et ne provient que d'une légère augmentation du rayonnement solaire depuis 1750.

(3) On pense souvent à tort que les effets de la vapeur d'eau (200 fois plus abondante que le dioxyde de carbone au niveau de la mer) dépassent largement ceux du CO_2, lesquels seraient dès lors négligeables. C'est oublier que la teneur en eau est très variable et qu'elle atteint la même valeur que celle du dioxyde de carbone à une dizaine de kilomètres d'altitude, là où l'effet de serre est le plus intense.

Forçage radiatif du climat entre 1750 et 2005



Catégorie	Forçage radiatif 2005 (W/m²)	Forçage radiatif Variation depuis 1998 (%)
Dioxyde de carbone (CO_2)	1,66	+13
Méthane (CH_4)	0,48	–
Protoxyde d'azote (N_2O)	0,16	+11
Hydrocarbures halogénés	0,337	+1
Total GES à longue durée de vie	**2,63**	**+9**

Figure 2. Synthèse des principales composantes du forçage radiatif responsables du changement climatique. Les valeurs représentent le forçage radiatif en 2005 par rapport aux conditions du début de l'ère industrielle (vers 1750). Un forçage positif entraîne un réchauffement climatique, tandis qu'un forçage négatif entraîne un refroidissement. La ligne noire représente la fourchette d'incertitude de ces valeurs.
Source: Quatrième Rapport d'évaluation du GIEC (2007)[3]

Essais de reconstitution des températures de l'hémisphère Nord

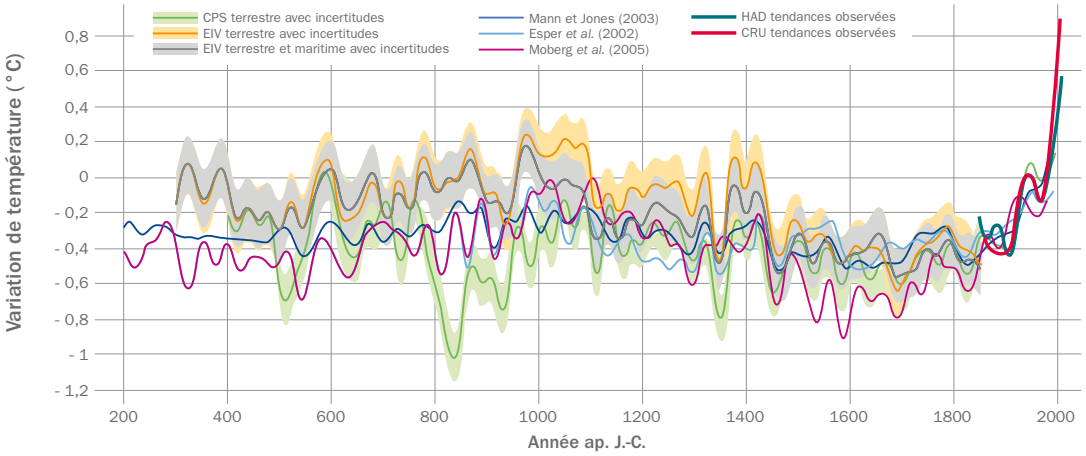


Figure 3. Comparaison de plusieurs essais de reconstitutions de température de l'hémisphère Nord, avec indication des intervalles de confiance à 95 %. *Source : Mann* et al. *(2008)*[5]

indiquent que les variations du CO_2 suivent celles de la température avec un décalage d'environ 800 ans – une échelle de temps compatible avec la circulation océanique profonde.

Ce phénomène d'auto-alimentation des déviations de température et de concentration de CO_2 est communément dénommé « mécanisme de rétroaction positive ». Il survient lorsqu'un système réagit à une perturbation en augmentant l'ampleur de celle-ci. Ce processus peut alors donner lieu à de petites variations provoquant de grands changements du système. Le système climatique se caractérise par un certain nombre de mécanismes de rétroaction positive, qui se traduisent par des effets seuil (voir Focus 3 sur les points de basculement). Cela explique en particulier les changements climatiques soudains que l'on peut observer sur la Figure 1. Les dernières conclusions scientifiques, qui se fondent sur une carotte de glace prélevée en 2008 dans l'Antarctique[4], confirment la variabilité naturelle du climat dans les mêmes proportions, ainsi que la corrélation entre la concentration de CO_2 et la température moyenne, sur une période étendue de 800 000 ans.

Au regard de ces données, la situation contemporaine semble inédite. La concentration actuelle de CO_2 dans l'atmosphère (390 ppm fin 2011) est en effet sans précédent depuis 800 000 ans ; elle est même d'environ 30 % supérieure au niveau maximum atteint au cours de cette période. Avec l'effet de serre à l'esprit, on peut supposer que l'élévation de la concentration de CO_2 observée depuis quelques décennies a entraîné une perturbation du système climatique et un probable réchauffement de la surface du globe sur la période. Pour nous en assurer, regardons l'évolution de la température sur une fenêtre de temps plus récente.

Évolution de la température depuis 2 000 ans

En 2008[5] ont été publiées des données de température passées, sur les deux derniers millénaires, construites à partir de techniques de reconstitution récentes, d'un système de comparaison et de validation rigoureux, et des dernières observations disponibles.

Il ressort de l'ensemble de ces données (Figure 3) un net réchauffement de l'hémisphère Nord depuis l'époque préindustrielle, en particulier depuis la deuxième moitié du XIXe siècle. L'étude révèle, en outre, le caractère anormal de ce réchauffement au regard des valeurs des températures reconstituées sur le long terme. Une perturbation récente du climat, dans le sens d'un réchauffement, semble donc être confirmée, en accord avec ce que l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre laissait supposer.

L'affirmation selon laquelle la variation naturelle du climat est aujourd'hui perturbée, avec des changements survenant à une échelle de temps beaucoup plus courte que l'évolution naturelle, se trouve ainsi renforcée.

L'élévation du niveau de la mer constitue un autre indicateur fiable de réchauffement climatique, pour deux raisons : d'une part, le réchauffement de l'eau entraîne une dilatation thermique des océans ; d'autre part, la fonte des glaces fournit aux océans un apport d'eau douce augmentant leur volume. Il est donc intéressant ici d'évaluer l'évolution du niveau de la mer dans un passé récent.

Élévation du niveau de la mer

Les mesures du niveau de la mer sont beaucoup plus exactes et précises depuis la mise à disposition des données satellitaires à partir du milieu des années 1990. Les estimations précédentes reposaient sur des marégraphes installés sur différents sites côtiers de la planète. Une compilation des données instrumentales relatives au niveau de la mer au cours des 40 dernières années a été rendue publique en 2009[6] (Figure 4). La figure indique également les projections réalisées pour le troisième rapport d'évaluation du GIEC (2001)[7], dont la meilleure estimation était à l'époque une élévation de 1,9 mm par an pour la période 1990-2010. Le chiffre réel, qui est de 3,4 mm (soit 80 % de plus), correspond à la limite supérieure des estimations du GIEC en 2001.

Élévation du niveau de la mer entre 1970 et 2010

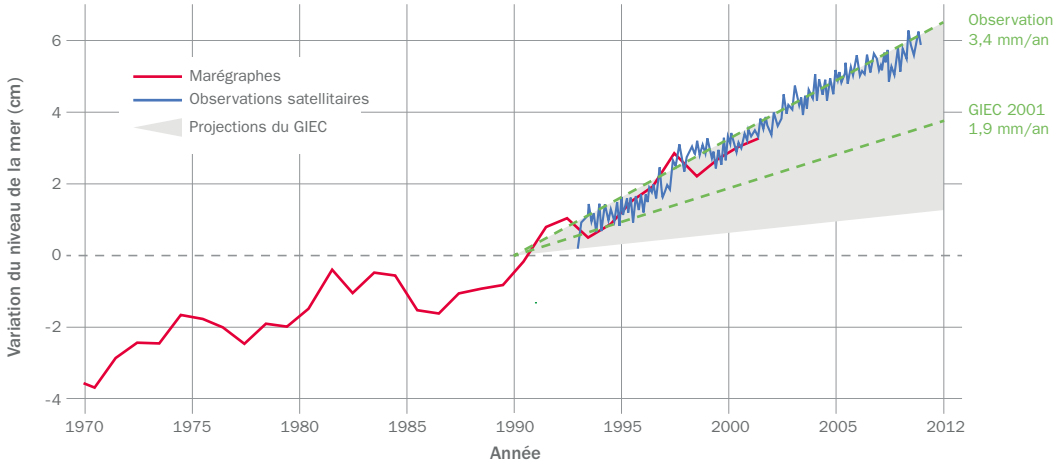


Figure 4. Élévation du niveau de la mer entre 1970 et 2010. Les données des marégraphes sont indiquées en rouge, et les données satellitaires en bleu. La bande grise présente les projections du troisième Rapport d'évaluation du GIEC à titre de comparaison. *Source : D'après Allison* et al. *(2009)*[6]

FOCUS 2 Quel est l'état des connaissances scientifiques sur le lien de cause à effet entre les émissions de gaz à effet de serre et le changement climatique ?

L'évolution actuelle du climat est sans commune mesure avec son évolution naturelle passée. Les modèles climatiques, toujours plus perfectionnés, apportent des éléments d'explication sur le réchauffement récent.

Une forte corrélation positive entre la concentration de CO_2 dans l'atmosphère et la température à la surface du globe a été démontrée. Les données paléoclimatiques révèlent des variations successives du climat terrestre entre ères glaciaires et périodes interglaciaires, provoquées par des changements de forçage solaire externe (en raison des variations de l'orbite terrestre) et amplifiées par les rétroactions positives inhérentes au cycle global du carbone. De ce fait, les fluctuations du dioxyde de carbone suivent les variations de la température avec un décalage d'environ 800 ans.

La situation à ce jour est très différente. En effet, le CO_2 ne fait plus partie d'une rétroaction ; il est directement émis dans l'atmosphère à la suite de l'extraction et de la combustion des combustibles fossiles faites par l'homme(4). C'est un phénomène sans précédent sur la planète.

Temps d'ajustement

Le taux d'émission est d'environ 8 gigatonnes par an, dont près de la moitié demeure dans l'atmosphère, tandis que le reste est principalement dissous dans les eaux de surface des océans ou stocké par la végétation. La température s'élève ensuite sans rétroaction des eaux profondes de l'océan, ou du moins sans rétroaction immédiate, du fait du temps d'ajustement long en comparaison de l'évolution actuelle du CO_2, qui a doublé en moins d'un siècle. Les eaux profondes ne peuvent ainsi pas réagir rapidement pour freiner l'augmentation du gaz carbonique dans l'atmosphère et dans les couches supérieures de l'océan[8].

Deux degrés Celsius en un siècle

Il serait possible d'avancer que la surface du globe a déjà connu des températures moyennes similaires, comme l'indiquent les carottes glaciaires (Figure 1). Le graphique révèle cependant un taux d'évolution qui n'a pas dépassé deux degrés Celsius en 5 000 ans, tandis que les dernières indications scientifiques suggèrent une évolution similaire à venir en un siècle environ. Autrement dit, l'évolution actuelle est environ 50 fois plus rapide qu'à tout autre instant ou période de l'évolution naturelle du climat.

En outre, les modèles climatiques disponibles, continuellement testés et améliorés, montrent que le réchauffement climatique récent ne

(4) La signature anthropique de l'augmentation actuelle du CO_2 est déterminée par l'évolution du rapport isotopique $^{13}C/^{12}C$, qui met en évidence l'origine des combustibles fossiles.

Variations de température observées à l'échelle du globe

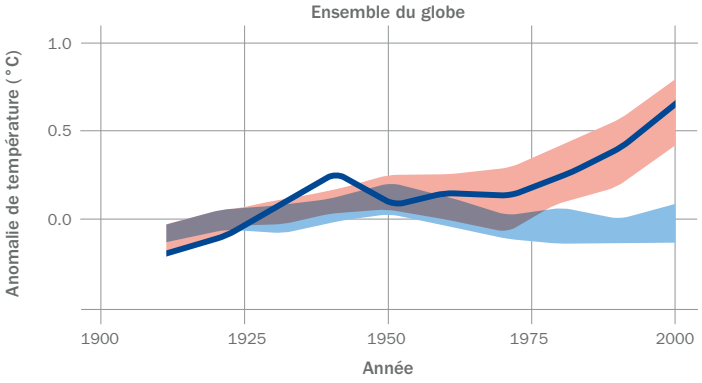


Figure 5. Variations de température (°C) observées à l'échelle du globe par rapport à la moyenne de la période 1901-1950. La ligne noire représente la variation des températures observée et les bandes ombrées la fourchette couverte par 90 % des simulations récentes. Celles-ci tiennent compte des facteurs naturels et anthropiques (en rouge) ou uniquement des facteurs naturels (en bleu). *Source : Quatrième rapport d'évaluation du GIEC (2007)[3]*

Cela revient à dire que l'évolution actuelle des températures moyennes est environ

50 fois plus rapide

qu'à toute autre époque, dans le cadre de la variabilité naturelle du climat.

peut pas uniquement être expliqué par la variabilité naturelle du climat. Par la résolution numérique des équations physiques régissant l'atmosphère, et l'inclusion d'un paramétrage toujours plus sophistiqué des phénomènes climatiques locaux, ces modèles constituent des représentations informatiques crédibles de la planète. D'importants efforts ont été déployés par la communauté scientifique pour valider leurs résultats, principalement en confrontant les simulations sur la période passée aux données historiques. S'il subsiste des incertitudes et une certaine variabilité dans les modèles, ils ont toutefois prouvé leur fiabilité et leur utilité dans la reproduction du climat terrestre. Les conclusions sur la reproduction par les modèles de la tendance de réchauffement actuelle sont fournies par le quatrième Rapport d'évaluation du GIEC (2007)[3] et illustrées Figure 5. Les modèles ne peuvent simuler les températures observées au XXe siècle qu'en intégrant des facteurs externes, tels que l'activité humaine, en plus des fluctuations du rayonnement solaire et de l'activité volcanique.

Des effets sur plusieurs siècles

Il est important de souligner le décalage temporel entre la circulation des eaux profondes de l'océan ou la dynamique des calottes glaciaires et les transformations d'origine humaine presque instantanées (à l'échelle géologique) ; il entraîne des effets irréversibles à l'échelle de temps humaine. Il ne faut donc pas s'attendre à un rétablissement rapide lorsque des mesures efficaces de réduction des émissions de CO_2 seront prises plus tard au cours de ce siècle. Le carbone accumulé restera dans l'atmosphère pour plusieurs siècles[9], à moins que des méthodes de géo-technologie performantes ne soient mises au point pour accélérer son élimination de l'atmosphère. Cette dernière possibilité repose cependant aujourd'hui sur trop de spéculations pour être fiable. L'hypothèse la plus probable est que bien des générations futures devront faire face aux effets durables du changement climatique.

Le quatrième rapport d'évaluation du GIEC (2007)[3] a mis en évidence une augmentation récente du taux d'élévation du niveau de la mer, comparé à la valeur moyenne observée depuis 1870 de 1,4 mm par an. Il est statistiquement prouvé que cette accélération est corrélée à la température de surface du globe : plus la température est élevée, plus le taux d'élévation du niveau de la mer augmente. Ceci est en accord avec le processus physique d'élévation du niveau des océans, qui découle à la fois de la dilatation thermique de l'eau et de l'afflux d'eau douce supplémentaire en raison de la fonte des neiges et des glaces.

La question de l'attribution

Comme on l'a vu ci-dessus, les données de températures et de niveau moyen de la mer indiquent un changement climatique sur les dernières décennies à l'échelle globale. Il a également été montré que la température de surface du globe était étroitement liée à la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, par le principe de l'effet de serre. La question de la responsabilité de l'homme dans le réchauffement planétaire est donc naturelle, compte tenu de la forte augmentation de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère récemment observée, incontestablement induite par l'activité humaine. Le Focus 2 présente une synthèse des éléments scientifiques imputant la responsabilité du changement climatique récent aux émissions anthropiques de gaz à effet de serre.

1.2 – Les projections climatiques

La première partie traitait de l'évolution passée du climat, identifiant les émissions de gaz à effet de serre comme principal facteur explicatif sur la période récente. Étant donné la tendance actuelle à la hausse de ces émissions, un changement climatique additionnel est à anticiper.

Rigoureusement testés et validés au préalable, les modèles climatiques présentés plus haut sont utilisés depuis longtemps pour simuler ce que pourrait être notre climat futur sous des conditions externes modifiées. Les projections de changement climatique sont essentiellement produites en injectant dans les modèles des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre calibrés suivant différentes hypothèses de croissance économique, de trajectoires démographiques ou de stratégies politiques en matière d'environnement (GIEC, 2001)[7]. Les chronologies de ces émissions sont considérées comme des facteurs externes par les modèles ; elles influencent le calcul des transferts radiatifs et entraînent, par conséquent, des variations dans leurs résultats. Les dernières avancées concernant ces simulations climatiques modifiées sont brièvement présentées dans cette deuxième partie, qui s'intéressera plus particulièrement aux températures, à l'élévation du niveau de la mer, puis au cycle de l'eau.

Projections de températures

Un ensemble de données de températures globales a été récemment publié[6], rassemblant les résultats d'un

Reconstitution de la température mondiale moyenne par rapport à la période 1800-1900 (°C)

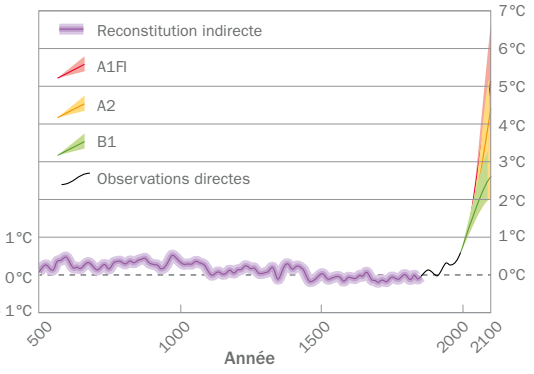


Figure 6. Reconstitution de la température moyenne globale par rapport à la période 1800-1900 (en violet) et projections de la température moyenne globale jusqu'en 2100. Les bandes B1, A2, A1FI se rapportent aux projections réalisées en 2007 par le GIEC à partir de ces scénarios. *Source : Allison* et al. *(2009)*[6]

projet de reconstitution de températures passées et les projections réalisées par le GIEC en 2007 (Figure 6). Trois différents scénarios ont été envisagés, du plus « optimiste » (B1) à l'un des plus « pessimistes » (A1FI). L'enveloppe des projections traduit la volatilité de l'ensemble des analyses de modèles effectuées pour chaque scénario d'émissions.

Les estimations hautes (A1FI), qui correspondent à un fonctionnement inchangé de l'économie au cours des prochaines décennies, font état d'un réchauffement de 4 à 7 °C, soit nettement plus que le seuil critique de 2 °C, au-delà duquel il est communément admis que des changements climatiques aux conséquences importantes sont à prévoir. Il ne serait possible de limiter le réchauffement aux estimations basses de 2 à 3 °C que si les émissions mondiales de gaz à effet de serre décroissaient rapidement après avoir atteint un pic au début des années 2020.

Projections d'élévation du niveau de la mer

Des projections de l'élévation du niveau moyen de la mer ont été réalisées pour le Rapport 2007 du GIEC à partir de modèles climatiques intégrant à la fois une composante atmosphérique et océanique, les deux modules étant reliés par la simulation des phénomènes

Projections récentes de l'élévation future du niveau de la mer

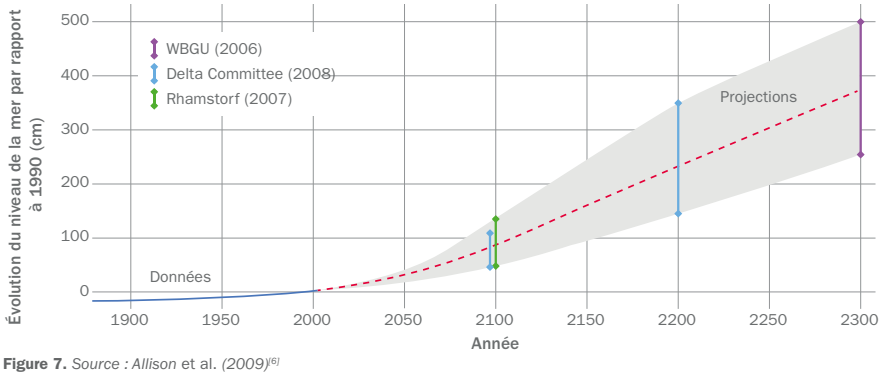
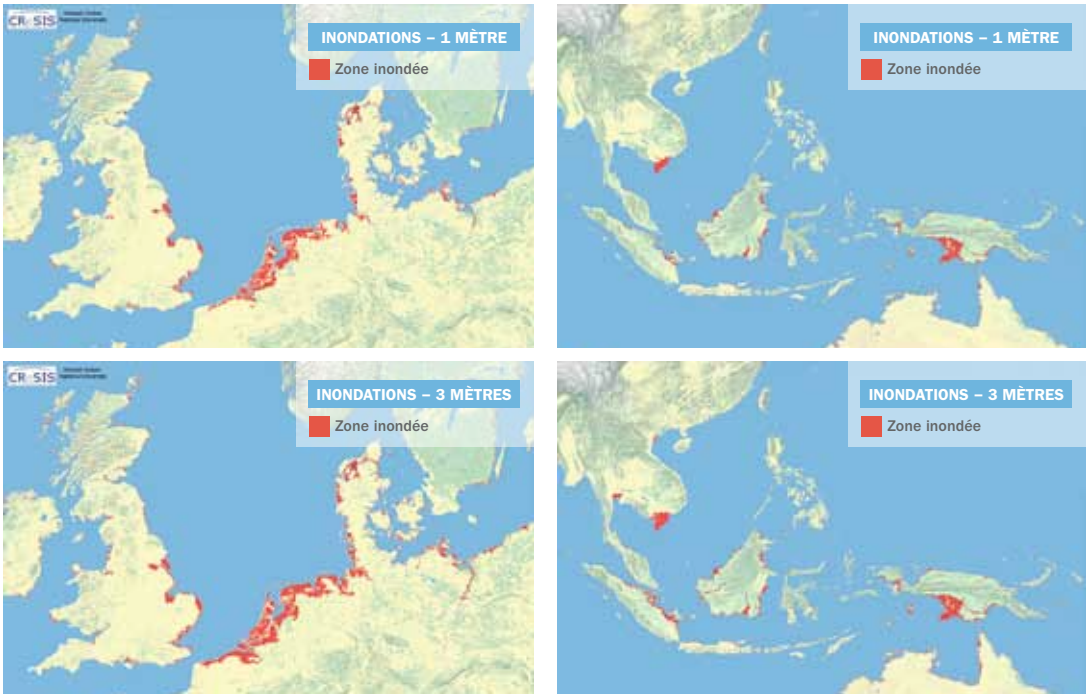


Figure 7. *Source : Allison* et al. *(2009)*[6]

Indication des zones inondées dans le nord de l'Europe et le sud-est de l'Asie



Figures 8. Indication des zones inondées dans le nord de l'Europe (à gauche) et le sud-est de l'Asie (à droite). Hypothèses : élévation du niveau de la mer de 1 mètre (en haut) et de 3 mètres (en bas). *Source : Center for Remote Sensing of Ice Sheets – Haskell Indian Nations Univ.*[10]

physiques à l'interface air-océan. À l'époque, ces modèles couplés prévoyaient une fourchette de 18 à 59 cm d'élévation d'ici 2100, sans tenir compte de l'influence de l'accélération de la fonte des glaciers, pour laquelle il n'existait pas d'estimation fiable. Les dernières mises à jour et le développement de modèles plus sophistiqués intégrant la fonte des glaciers suggèrent des projections beaucoup plus importantes. Une version récente[6] (Figure 7) révèle une accélération au cours des prochaines décennies et une élévation du niveau de la mer franchissant très probablement le seuil d'un mètre au cours du XXIIe siècle.

À titre indicatif, la Figure 8 montre les changements de frontières terrestres auxquels il faudrait s'attendre dans le nord de l'Europe et le sud-est de l'Asie si le niveau de la mer s'élevait respectivement de 1 et 3 mètres.

Le cycle hydrologique

En 2007, au moment de la publication du quatrième Rapport d'évaluation du GIEC, une augmentation de l'activité du cycle hydrologique de la Terre était escomptée sous un climat réchauffé, en raison principalement d'une augmentation de la teneur en vapeur d'eau. L'impact du réchauffement sur la teneur en vapeur d'eau n'était toutefois pas clairement confirmé par les données d'observation disponibles. Cette corrélation a depuis été démontrée de façon plus probante[11]. Elle appuie l'existence d'un mécanisme significatif de rétroaction positive : le réchauffement engendre une augmentation de la teneur en vapeur d'eau, qui renforce l'effet de serre et augmente donc le réchauffement en retour. La rétroaction double l'effet radiatif direct du CO_2. Les doutes exprimés en 2007 concernant l'origine des changements observés dans les caractéristiques de précipitation au cours des 50 dernières années ont également été en partie levés. La corrélation entre l'évolution récente des caractéristiques régionales des précipitations et le changement climatique d'origine humaine a été montrée de façon plus nette[12]. Le caractère amplificateur du changement climatique a également été confirmé, notamment par l'observation d'une intensification des précipitations dans les zones déjà pluvieuses[6].

Conclusion sur les projections

De manière générale, les dernières données scientifiques ont permis de progressivement éliminer les incertitudes exprimées dans le quatrième Rapport d'évaluation du GIEC (2007), mais aussi de renforcer le message d'alors d'une accélération du réchauffement climatique[6]. Il semble en effet que le climat soit plus sensible aux concentrations de gaz à effet de serre qu'on ne le pensait précédemment.

Alors que les projections climatiques proposent désormais des scénarios plus pessimistes, un réchauffement global n'excédant pas le seuil de 2 °C n'est peut-être déjà plus atteignable. En effet, un réchauffement global au XXIe siècle de l'ordre de 3 à 4 °C par rapport à l'ère préindustrielle semble désormais plausible. À ce niveau de réchauffement, de nombreuses régions pourraient subir des changements importants autant en termes climatiques que socio-économiques. Ce comportement non linéaire du système climatique est abordé plus en détail dans le Focus 3, page 14.

1.3 – Impacts sur les phénomènes météorologiques extrêmes

Cette partie présente les principales conséquences sur les phénomènes météorologiques extrêmes que les projections climatiques précédemment décrites laissent entrevoir.

Tout d'abord, en adoptant une approche identique à l'étude de la température, il est possible de mieux comprendre les caractéristiques des événements extrêmes futures, sous un réchauffement climatique, en étudiant la période historique récente. Munich Re, une société de réassurance majeure, publie et met régulièrement à jour les statistiques de catastrophes naturelles dans le monde. Le dernier rapport, rassemblant des données jusqu'à 2011, est présenté Figure 10. Bien que le diagramme montre une nette tendance positive en ce qui concerne le nombre d'événements naturels observés, l'attribution – ou non – de cet accroissement au changement climatique mérite d'être étudiée avec beaucoup de précaution. Deux limitations principales existent en effet :

> Premièrement, le rapport lui-même peut être biaisé par une comptabilisation des événements plus précise et exhaustive aujourd'hui qu'il y a 30 ans. Il est néanmoins probable que ce biais concerne tous les types d'événements, y compris les événements géophysiques. Ceux-ci ne présentant pas cette tendance, nous pouvons donc raisonnablement considérer ce biais comme non particulièrement significatif.

> Deuxièmement, la croissance démographique est certainement un facteur explicatif majeur de cette tendance, les catastrophes naturelles étant définies en fonction du nombre de personnes touchées ou de victimes. L'utilisation d'une base de données indépendante (EM-DAT) a permis de montrer[14] que l'accroissement de l'exposition est bien un contributeur important de la hausse du nombre de catastrophes naturelles déclarées, l'augmentation du nombre d'événements d'origine atmosphérique passant de 3,4 événements par an d'après les données brutes à 2,1 événements par an d'après les données corrigées de la croissance démographique. La tendance normalisée demeure néanmoins statistiquement significative.

Cette analyse indique seulement qu'on ne peut écarter l'hypothèse, aujourd'hui, qu'une augmentation globale du nombre de catastrophes naturelles a eu lieu au cours des 30 dernières années en raison du changement climatique. Néanmoins, il est clair que ce facteur explicatif est actuellement dominé par l'augmentation de l'exposition.

La suite de cette partie aborde plus en détail l'impact potentiel du changement climatique sur les phénomènes météorologiques extrêmes. L'accent est notamment mis sur les cyclones tropicaux et extratropicaux, ainsi que sur les événements hydrologiques. Des indications sont données à la fois sur les changements observés depuis le milieu des années 1990 et sur les projections disponibles. Certains des résultats présentés ici proviennent d'un rapport récent du GIEC (2011) sur l'étude du risque d'événements extrêmes à des fins d'adaptation[1].

FOCUS 3 Facteurs de basculement climatique : vers un risque de changement abrupt

Neuf facteurs de basculement climatique pourraient franchir leur « seuil spécifique » au XXIe siècle. Un seuil de non-retour amplifiant les changements amorcés.

Les facteurs de basculement climatique désignent des composantes régionales du système Terre qui peuvent subir un changement abrupt dès lors qu'un seuil spécifique (le point de non-retour) a été franchi. Ce comportement de seuil est associé à un mécanisme de rétroaction positive sous-jacent, amplifiant les changements amorcés par un forçage externe. Des études[13] ont récemment identifié neuf facteurs de basculement climatique qui pourraient franchir leur seuil de non-retour au cours du XXIe siècle (Figure 9). Parmi les plus alarmants se trouvent[6] :

La banquise arctique : le point de basculement pour la fonte estivale totale de la banquise serait imminent. Une fonte estivale record de la banquise arctique a récemment été observée.

La calotte polaire du Groenland : une fonte totale de la calotte polaire prendrait plusieurs siècles, mais le point de basculement vers un changement irréversible pourrait survenir bien plus tôt. Cette fonte engendrera vraisemblablement une élévation considérable du niveau de la mer à l'échelle mondiale.

La calotte polaire de l'Antarctique occidental : on estime actuellement, sans certitude toutefois, que son point de basculement serait encore éloigné.

El Niño (ENSO) : le courant du Pacifique Sud pourrait être affecté par le réchauffement des océans, qui générerait des changements climatiques d'envergure.

La mousson indienne : elle repose sur un gradient thermique entre terre et mer. Un « nuage brun » de pollution atmosphérique a déjà commencé à perturber ce gradient en réchauffant l'atmosphère plutôt que les terres. Selon les projections, les sécheresses pourraient doubler en fréquence d'ici dix ans.

La mousson de l'Afrique de l'Ouest : le ralentissement prévu de la circulation thermohaline atlantique (le Gulf Stream) pourrait entraîner un déplacement de la mousson vers le Nord. Le Sahara pourrait par conséquent reverdir.

La forêt amazonienne : la forêt pourrait reculer jusqu'à s'effacer au profit de la savane, sous l'effet de l'allongement des épisodes de sécheresse d'origine humaine. L'impact de ce changement pourrait être très important compte tenu du rôle de puits de carbone que joue cette forêt.

Principaux facteurs de basculement dans le système climatique de la Terre

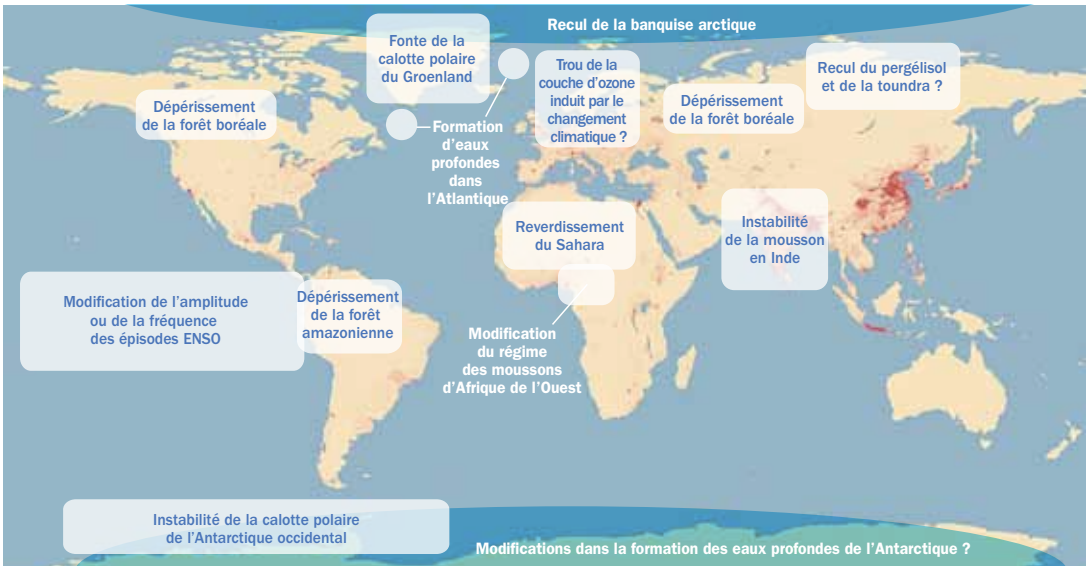


Figure 9. Principaux facteurs de basculement du système climatique de la Terre

Les cyclones tropicaux

Les ouragans de l'Atlantique Nord sont principalement alimentés par la chaleur et l'humidité de l'océan. Un réchauffement de la surface de l'océan, provoqué par le changement climatique, a donc un potentiel d'intensification de l'activité des ouragans (ou cyclones tropicaux). Des incertitudes subsistent néanmoins quant à ce lien apparemment direct. Tout d'abord, un réchauffement de l'océan serait également synonyme d'un renforcement du cisaillement vertical du vent, phénomène contrariant le développement des cyclones. Ensuite, l'intensification de l'activité des ouragans au cours des dernières décennies n'est pas facilement détectable dans les données climatiques. Ceci peut s'expliquer par la forte dépendance de l'activité cyclonique et des oscillations climatiques connues (par exemple, l'Oscillation Atlantique Multi-décennale [AMO], l'Oscillation El Niño/La Niña [ENSO] ou l'Oscillation Atlantique Nord [NAO]), liées à la variabilité naturelle du climat.

Par conséquent, il n'y a aujourd'hui qu'une confiance limitée en une quelconque tendance multidécennale observée caractérisant l'activité des cyclones tropicaux. Une corrélation a néanmoins été mise en évidence entre un réchauffement de la surface des océans et une intensification de l'activité des cyclones tropicaux, se traduisant par des ouragans plus intenses. Il est donc probable d'assister à l'avenir à des vitesses maximales de vents atteintes par les cyclones tropicaux plus élevées, bien que tous les bassins ne soient pas forcément concernés[1]. Les résultats sont moins évidents en ce qui concerne la fréquence des événements qui devrait diminuer ou rester stable[1, 15].

Les cyclones extratropicaux

Le continent européen présente un intérêt particulier en ce qui concerne l'impact du changement climatique sur les cyclones extratropicaux. Des résultats récents montrent qu'un changement de trajectoire des tempêtes vers les pôles a probablement eu lieu dans un passé proche[1], suite à une perturbation du gradient thermique entre l'équateur et les pôles, ayant modifié en retour la position moyenne des flux d'air de haute altitude (généralement appelés « courants-jets ») qui alimentent et orientent le développement spatial des tempêtes.

Le changement de trajectoire des tempêtes vers les pôles devrait se renforcer à l'avenir dans les deux hémisphères. Cela induira probablement une intensification de l'activité des tempêtes aux latitudes élevées. Par ailleurs, il a été confirmé que le nombre de tempêtes en Europe devrait globalement diminuer sous le réchauffement climatique. Dans le même temps, les tempêtes extrêmes en Europe seront très probablement plus nombreuses, et la volatilité globale des événements plus grande[16,17].

Précipitations et inondations

Il est désormais démontré que le changement climatique induira, de manière générale, des événements de précipitations et d'inondations plus prononcés. Ceci provient essentiellement de l'intensification du cycle hydrologique dans un environnement plus chaud. Ce dernier, plus riche en vapeur d'eau, fournit davantage d'eau prête à se condenser et à produire des précipitations et inondations plus intenses. Cela est déjà confirmé par les observations récentes. Des tendances statistiquement significatives sont en effet observables dans certaines régions[1], malgré de fortes variations à noter à l'échelle locale. Par ailleurs, il est important de noter que l'élévation du niveau de la mer pourrait augmenter le risque d'inondations dans les zones densément peuplées, même en l'absence de changement des régimes de précipitations.

En ce qui concerne les projections, la fréquence des épisodes de précipitations intenses devrait augmenter dans de nombreuses régions[1] malgré, à nouveau, des disparités et incertitudes à l'échelle locale aujourd'hui difficiles à évaluer. Autre phénomène notable, les pluies abondantes associées aux cyclones tropicaux devraient s'intensifier sous l'effet du réchauffement climatique. De manière générale, la résolution des modèles climatiques n'est pas assez fine, aujourd'hui, pour pouvoir pleinement rendre compte de phénomènes locaux tels que les inondations suite à une augmentation du volume des précipitations[15].

Conclusion concernant les impacts sur les phénomènes météorologiques extrêmes

Comme nous l'avons vu, certaines projections du quatrième Rapport d'évaluation du GIEC (2007) ont récemment été confirmées quant à l'impact du changement climatique sur les phénomènes météorologiques extrêmes : les cyclones tropicaux devraient s'intensifier sans pour autant se multiplier ; les cyclones extratropicaux devraient être décalés vers les pôles dans les deux hémisphères et se raréfier bien que la proportion de leurs extrêmes devrait augmenter ; les épisodes de précipitations et inondations abondantes devraient s'intensifier dans de nombreuses régions du globe.

Bien que ces projections générales puissent être dessinées, les efforts importants déployés par la communauté scientifique au sujet des implications du changement climatique sur la fréquence et l'intensité des catastrophes naturelles n'ont pas encore permis d'aboutir à des quantifications sans équivoque. Des mécanismes physiques encore méconnus et des outils de simulation de résolutions encore trop grossières, bien que continuellement affinées, en sont la cause principale.

Obtenir des projections statistiquement significatives de phénomènes de petite échelle comme les tornades et les tempêtes de grêle s'avère un défi encore plus difficile. Dans le cas des tornades, des indications existent pourtant comme quoi un rôle du changement climatique dans l'augmentation du nombre d'événements observés et des coûts induits n'est pas à exclure[18]. De manière générale, bien que de nombreuses incertitudes persistent encore concernant l'impact sur les phénomènes météorologiques extrêmes, il faut s'attendre à une volatilité accrue des régimes d'événements extrêmes sous l'effet du réchauffement climatique.

La connaissance actuellement limitée de la nature des événements extrêmes engendrés par les projections de changement climatique implique que des efforts continus sont nécessaires pour développer la science du climat, notamment vers une réduction du signal de changement climatique à plus petite échelle (régionale et locale), grâce à des modèles de résolution plus fine. Cette tâche doit être menée en parallèle de la recherche consacrée à la circulation de grande échelle, car les événements locaux sont conditionnés par cette dernière. Améliorer les connaissances scientifiques permettra de mieux évaluer le risque et, ainsi, de mieux le gérer.

Nombre de catastrophes naturelles dans le monde de 1980 à 2011

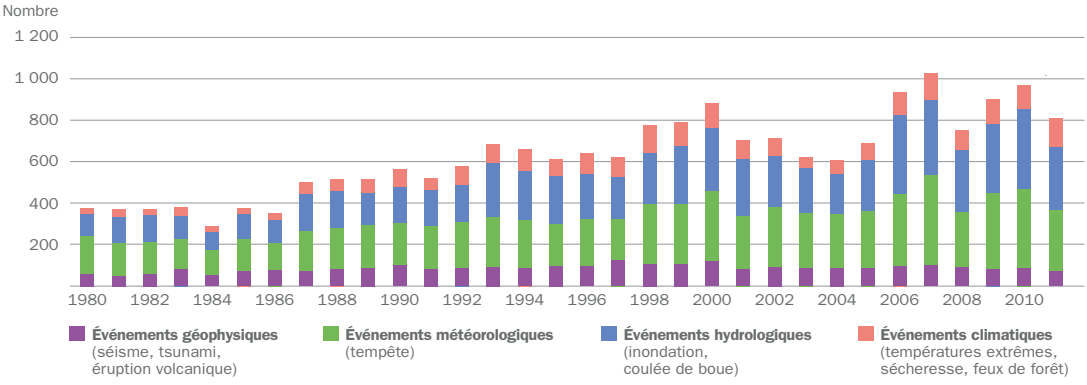
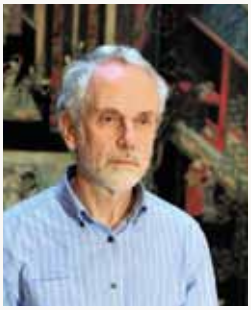


Figure 10. Nombre de catastrophes naturelles dans le monde de 1980 à 2011. Les événements géophysiques figurent en violet, tandis que les événements d'origine atmosphérique sont divisés en trois catégories : météorologiques (vert), hydrologiques (bleu) et climatiques (rose). *Source : Munich Re, 2012.*



ÉCLAIRAGE
par Sir Brian Hoskins, directeur du Grantham Institute for Climate Change (Imperial College London) et membre du Conseil Scientifique du Fonds AXA pour la Recherche

Quelle vision avez-vous du débat scientifique actuel sur l'évolution du climat et des risques climatiques ?

L'élévation de la température du globe provoquée par la future augmentation des gaz à effet de serre sera extrêmement dépendante des propriétés des nuages, de la vapeur d'eau et des particules atmosphériques, ainsi que des modalités d'évolution de ces propriétés. Malgré les nets progrès réalisés, des incertitudes demeurent et le débat n'est pas clos dans ce domaine. Observations et théories sont utilisées pour améliorer notre compréhension et les représentations de ces phénomènes dans les modèles climatiques.

Un autre axe du débat scientifique actuel porte sur le nombre et l'intensité des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes, sur l'éventualité de leur augmentation et sur le fait de savoir dans quelle mesure cela peut être attribué au changement climatique. Ces dernières années, nous avons connu nombre d'inondations, de sécheresses et de vagues de chaleur, et même des records de froid. Le nombre de fois où les températures mensuelles ont atteint des records dans un nombre défini de stations météorologiques du monde entier a quadruplé au XXe siècle. Il est possible de faire fonctionner plusieurs fois les modèles climatiques afin de connaître les niveaux de gaz à effet de serre à l'époque préindustrielle et à la fin du XXe siècle, et cela nous permet d'affirmer, par exemple, que des vagues de chaleur ont quatre fois plus de risque de se produire du fait du changement climatique. La fiabilité de ces résultats dépend toutefois du réalisme du modèle utilisé pour représenter l'événement météorologique extrême ; c'est souvent un point limite à l'heure actuelle et il conviendrait d'y remédier.

Les modèles mondiaux de prévisions météorologiques, dont on cherche à perfectionner les aptitudes prévisionnelles, sont passés à une représentation beaucoup plus détaillée de l'atmosphère que les modèles climatiques. Cela est notamment nécessaire pour représenter avec subtilité les phénomènes météorologiques extrêmes. Par conséquent, il existe une forte incitation à orienter les modèles climatiques dans cette direction. Cela exigera la mise à disposition de nouveaux supercalculateurs dédiés à la problématique du climat.

De nombreuses décisions d'adaptation importantes doivent être prises, à l'avenir, d'ici quelques années ou décennies. Auparavant, les modèles climatiques étaient utilisés dans le but de simuler les effets de l'augmentation des gaz à effet de serre sur un siècle, et il n'était pas question de prédire le comportement du système climatique sur des échelles intermédiaires, au-delà d'une ou deux saisons. Le degré de prévisibilité réel du système climatique et les moyens de réaliser cette prévisibilité sont d'autres axes de la recherche actuelle.

ES MODÈLES MONDIAL
E PRÉVISIONS
IÉTÉOROLOGIQUES
ONT PASSÉS À UNE
ERRÉSENTATION

Le degré d
prévisibilité
les moyens po
y parvenir so
d'autres axe
de la recherc
actue

Le n de fois
où les pératures
mens elles ont atteint des
reco s d s un nombre défini de
stations météorologiques du monde en
a quadruplé au XXe siècle.

2. MODÉLISATION DES RISQUES CLIMATIQUES DANS LE SECTEUR DE L'ASSURANCE

Les assureurs ont développé des outils et des techniques de modélisation spécifiques à la gestion des risques de catastrophes naturelles. Ils font de plus en plus usage de modèles de climat développés par la communauté scientifique, permettant de simuler des événements extrêmes physiquement réalistes.

Le secteur de l'assurance connaît un accroissement des pertes dues aux catastrophes naturelles, comme le montre l'évolution du montant de sinistres sur les 30 dernières années reporté Figure 11. L'évaluation de ces risques naturels est donc de plus en plus critique pour la pérennité de cette industrie.

En conséquence, les efforts de modélisation sont depuis longtemps encouragés par le secteur de l'assurance, afin d'obtenir des estimations fiables du capital nécessaire à sa solvabilité. Cette partie présente les caractéristiques des modèles de risques climatiques utilisés par le secteur et leur rapprochement progressif avec les modèles climatiques académiques. Bien que l'analyse se limite aux risques climatiques, les techniques de modélisation présentées ci-dessous peuvent s'appliquer à tous les types de risques naturels.

2.1 – Des méthodes «sur historique» aux méthodes «sur exposition»

Les assureurs utilisent depuis longtemps des modèles de probabilité simples pour modéliser les risques qui pèsent sur leur activité de dommages aux biens. La structure de ces modèles allie une composante de fréquence, représentant le nombre annuel de sinistres et une distribution de sévérité, modélisant le montant du sinistre lorsqu'un événement survient. Ces deux paramètres sont traditionnellement étalonnés en fonction des montants de sinistres historiques.

Catastrophes naturelles dans le monde de 1980 à 2011

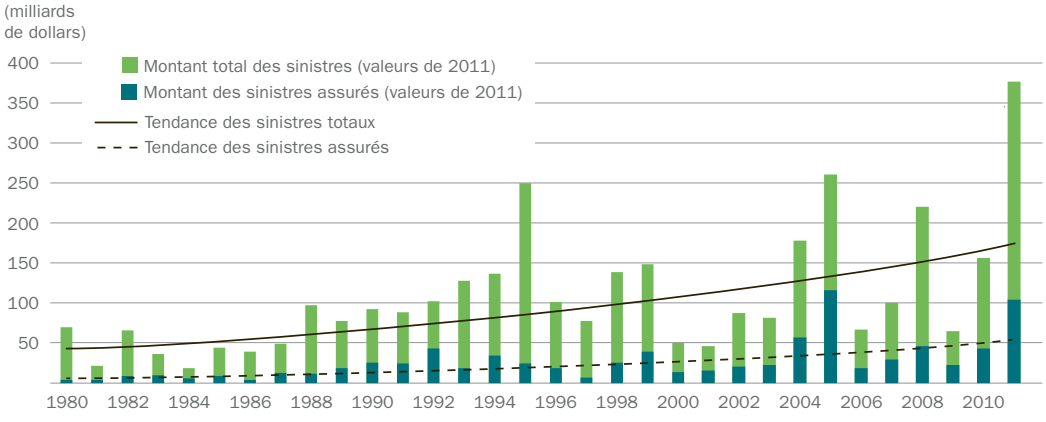


Figure 11. Catastrophes naturelles dans le monde de 1980 à 2011. Montant total des sinistres (vert), montant des sinistres assurés (bleu) et tendance.
Source : Munich Re, 2012

Structure générique des modèles de catastrophes naturelles

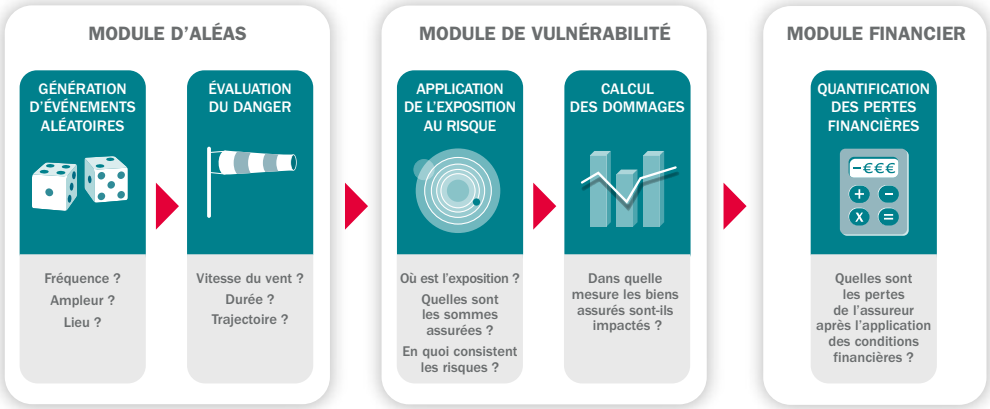


Figure 12. Structure générique des modèles de catastrophes naturelles utilisés dans le secteur de l'assurance pour évaluer la distribution des sinistres associés à un risque naturel sur un portefeuille d'exposition. *Source : d'après EQECat*[19]

Les catastrophes naturelles sont souvent décrites comme des événements peu fréquents mais de sévérité importante. En raison du caractère extrême de ces événements, les techniques traditionnelles de modélisation des sinistres que nous venons de présenter se sont révélées d'une utilité limitée. Deux facteurs compromettent largement leur exactitude :

> par définition, les événements extrêmes ne permettent pas de dresser un historique de sinistres suffisamment représentatif et fiable pour calibrer correctement le modèle,

> le modèle est régi par l'hypothèse implicite que le passé est représentatif de l'avenir, alors que le système terrestre est caractérisé par des interactions complexes, des processus non-linéaires et des mécanismes de rétroaction qui le rendent hautement non-stationnaire. Cette limite est d'autant plus critique, naturellement, si le changement climatique est intégré dans la modélisation.

Pour contourner ces difficultés techniques, des approches fondées sur l'exposition, spécialement adaptées à la modélisation des sinistres de catastrophes naturelles, ont été conçues à la fin des années 1980. L'originalité de cette méthodologie tient principalement à la combinaison de la modélisation physique du risque et de son intensité (par exemple, vitesse du vent, hauteur d'eau, nombre de jours de sécheresse, etc.) avec l'élaboration de fonctions de vulnérabilité traduisant l'intensité de l'aléa en dommages aux bâtiments. Une étape capitale vers une évaluation physique du risque fut franchie, donnant naissance aux modèles de risque de catastrophes naturelles largement utilisés aujourd'hui. La Figure 12 illustre la structure générale de ces outils, impliquant les trois principaux composants suivants :

• **le module d'aléas** définit l'éventail des événements probables (également dénommé « catalogue d'événements ») qui sont survenus ou qui pourraient survenir. Chaque événement est caractérisé par sa période de récurrence (ou fréquence) et ses principaux facteurs de risque physiques (par exemple, dans le cas d'une tempête, la vitesse du vent, le déplacement, la direction, la pression, etc.),

• **le module de vulnérabilité** convertit l'intensité physique d'un événement (par exemple la vitesse du vent) en un niveau de dommages sur une infrastructure (site industriel, maison résidentielle, etc.), en un lieu précis. C'est ici qu'est intégré le portefeuille géo-localisé de l'exposition au risque,

• **le module financier** applique les conditions d'assurance aux prévisions de dommages bruts afin d'évaluer la perte nette de l'assureur. Les parts de coassurance, franchises, plafonds, garanties facultatives ou programmes par risques font partie des conditions d'assurance.

L'une des principales fonctions – et l'un des principaux défis – d'un modèle de catastrophes naturelles est l'intégration d'un catalogue fiable d'événements probables dans le module d'aléas. Celui-ci doit être capable d'extrapoler une période historique limitée à un ensemble plus large constituant un spectre complet d'événements extrêmes susceptibles de se produire. Une description plus détaillée de cette technique de modélisation est proposée ci-dessous.

2.2 – Extrapolation des données historiques

Les modèles d'évaluation des risques liés aux catastrophes naturelles peuvent être considérés comme des outils d'extrapolation qui comblent les lacunes entre des données historiques éparses. En d'autres termes, ils proposent des événements « synthétiques » non observés, tout en conservant ces extrêmes dans une fourchette plausible. On peut ainsi en déduire une répartition complète des sinistres, qui servira en retour à alimenter des modèles traditionnels de gestion des risques (calcul de capital, optimisation de la réassurance, etc.).

De nombreux modèles de catastrophes naturelles utilisaient au départ des modules d'aléas simples décrivant le risque physique à l'aide d'un nombre limité de paramètres. Ces modèles convenaient bien aux systèmes météorologiques de structure simple. Par exemple, les ouragans peuvent être assez précisément représentés à l'aide de quelques variables, comme la pression centrale, le rayon de vent maximal ou la vitesse de

déplacement. Les événements sont alors créés par un échantillonnage statistique de ces paramètres, dont la distribution peut être évaluée grâce à des données historiques.

Les techniques d'extrapolation purement statistiques ont toutefois des limites, généralement liées à l'inadéquation entre la simplicité du modèle statistique et la complexité des systèmes météorologiques potentiellement impliqués. Par exemple, quelques paramètres physiques ne peuvent rendre compte de la structure tridimensionnelle d'un cyclone extratropical ni des processus physiques impliqués dans son développement. Il existe donc un risque bien réel que les résultats de l'extrapolation statistique génèrent un ensemble d'événements non exhaustif, voire biaisé. En d'autres termes, les techniques statistiques ne garantissent pas forcément la pertinence physique du catalogue d'événements. De nouvelles techniques plus sophistiquées furent donc nécessaires. Les modèles climatiques académiques, développés depuis des années par la communauté scientifique pour mieux comprendre le système terrestre, furent appelés en renfort.

2.3 – Émergence des modules d'aléas de nature physique

Les limites de l'extrapolation statistique ont progressivement été repoussées grâce à des modèles climatiques globaux intervenant dans la construction du catalogue d'événements.

Comme l'indique la première partie, les modèles climatiques sont de véritables copies informatiques de la planète qui résolvent, dans le temps et l'espace, les quelques équations régissant le fonctionnement de l'atmosphère et des océans. Utilisés de façon traditionnelle, ils proposent une série chronologique plausible en trois dimensions des variables physiques de la Terre. La Figure 13 illustre la structure 3D d'un modèle climatique ainsi que l'amélioration de sa résolution au fil du temps. De longues analyses de plus de cent ans sont progressivement devenues disponibles grâce au développement des performances informatiques : les prévisions climatiques évoquées dans la partie précédente ont ainsi pu être élaborées. Utilisés d'une autre façon, à des échelles spatiales et temporelles affinées, les modèles climatiques prennent la forme d'outils de prévision météorologique capables de capturer des conditions météorologiques

localisées et de les projeter sur quelques jours. Ces deux modes d'utilisation se sont révélés très utiles pour concevoir des modules d'aléas liés à des phénomènes météorologiques extrêmes complexes. En mode météorologique, les modèles permettent de reconstruire des événements réalistes d'un point de vue physique à partir des conditions atmosphériques initiales, améliorant ainsi la base de données historique. En mode climatique, ils permettent d'accéder à une vision élargie du risque, enrichissant une période d'observation – typiquement 30 à 40 ans – de nombreuses années de simulation plausibles d'un point de vue physique. La fonction d'extrapolation visée est donc atteinte et un ensemble d'événements complet peut être élaboré. Le principal avantage est la pertinence physique de l'ensemble d'événements créé.

Par ailleurs, le défi de la modélisation des risques climatiques (tempêtes, inondations, averses de grêle, sécheresse, vagues de chaleur, etc.) dans un environnement plus chaud peut aussi être résolu avec l'intégration des modèles climatiques. Lorsqu'elles sont forcées par l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre, les simulations de long terme peuvent produire des événements extrêmes représentatifs du changement climatique. Des modules d'aléas spécifiques à l'environnement futur de la Terre pourraient ainsi être créés, permettant de réaliser des études d'impact du changement climatique. L'utilisation de modèles climatiques pourrait donc devenir encore plus systématique dans la modélisation des risques d'assurance liés aux catastrophes naturelles.

Caractéristiques de la résolution spatiale des différentes générations de modèles climatiques

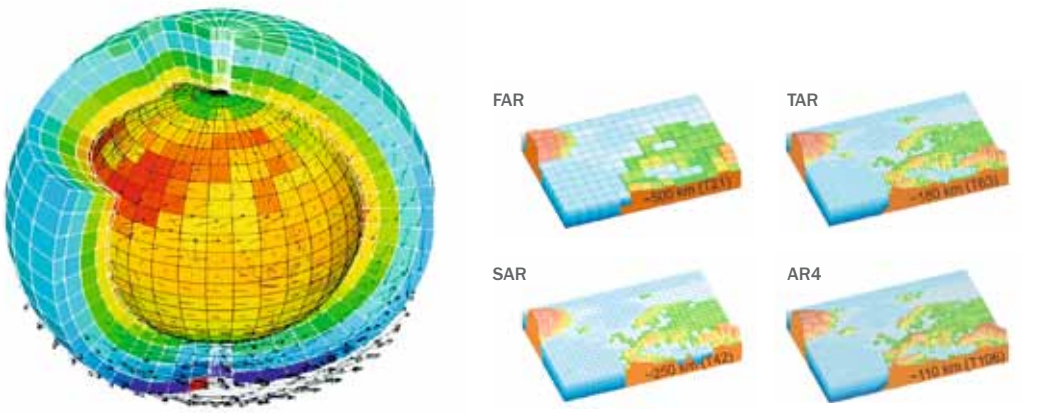
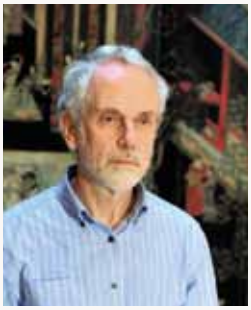


Figure 13. Caractéristiques de résolution spatiale, pour l'Europe du Nord, des différentes générations de modèles climatiques utilisés dans les rapports d'évaluation du GIEC : 1990 (FAR, premier rapport), 1996 (SAR, deuxième rapport), 2001 (TAR, troisième rapport) et 2007 (AR4, quatrième rapport). La résolution verticale a augmenté de façon comparable, passant d'un seul niveau pour l'océan et de dix niveaux pour l'atmosphère lors du premier rapport à près de trente niveaux pour l'un comme pour l'autre.
Source: L. Fairhead du Laboratoire de Météorologie Dynamique, Institut Pierre-Simon Laplace, Paris et GIEC (2007)[3]



ÉCLAIRAGE
par Sir Brian Hoskins, directeur du Grantham Institute for Climate Change (Imperial College London) et membre du Conseil Scientifique du Fonds AXA pour la Recherche

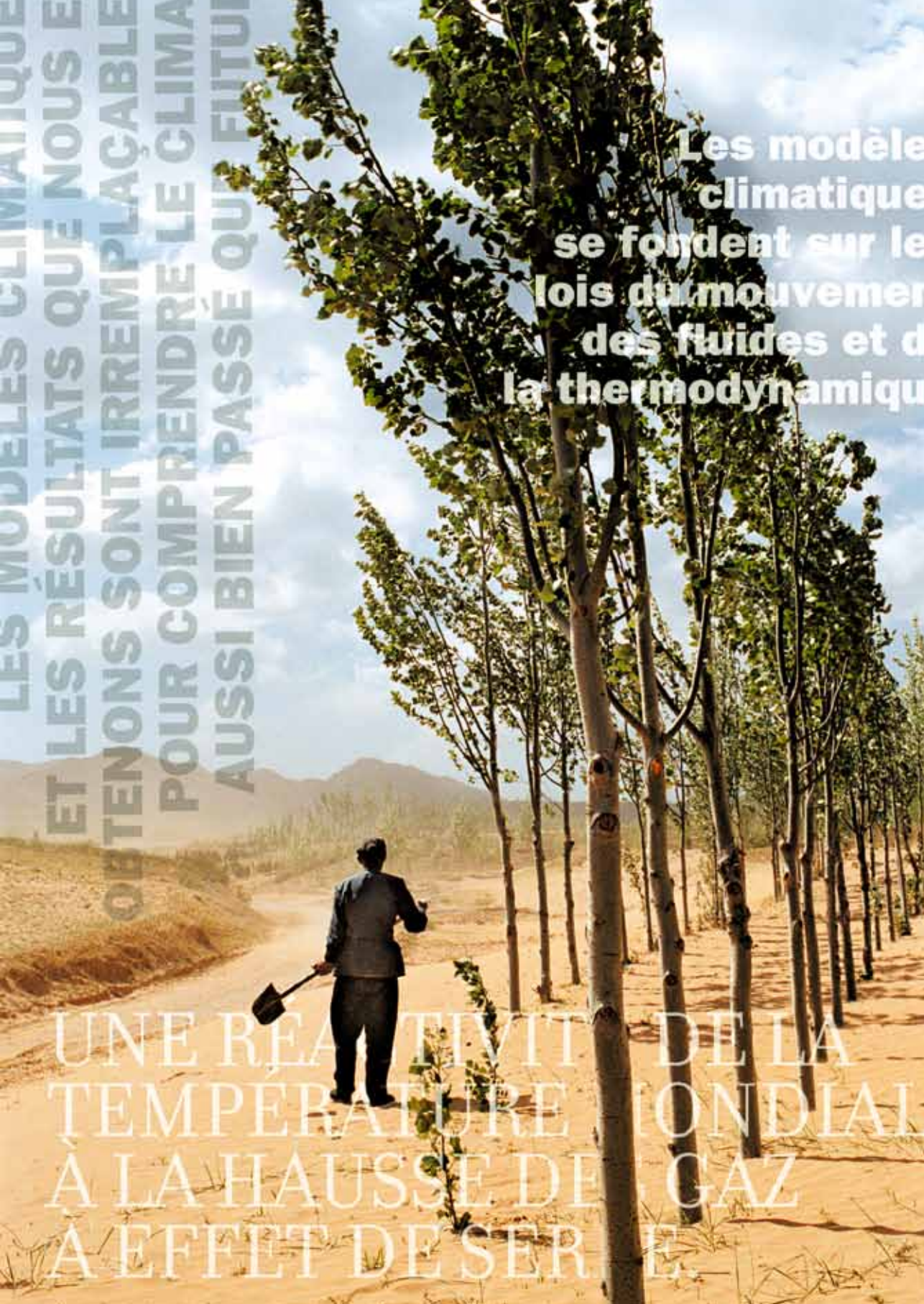
Quelle est selon vous la valeur ajoutée des modèles climatiques pour comprendre les changements climatiques ?

Les modèles climatiques se fondent sur les lois du mouvement des fluides et de la thermodynamique ; ils résument notre compréhension des processus qui doivent y être intégrés. Parmi la hiérarchie des modèles existants, les plus complexes doivent être considérés comme le haut de gamme, les modèles les plus simples (comme les modèles analytiques) en constituant la base. Cette hiérarchie assure un lien direct avec la théorie de certains aspects du système climatique. Les modèles simples d'équilibre énergétique et les modèles climatiques les plus complexes suggèrent tous une réactivité analogue de la température mondiale à la hausse des gaz à effet de serre, mais cette dernière englobe l'interaction d'un nombre beaucoup plus important de processus, fournissant des précisions sur les variations météorologiques et climatiques à l'échelle locale et régionale. Les observations sont utilisées pour évaluer le réalisme des processus inclus dans les modèles et la manière de les améliorer. Elles permettent également de tester l'aptitude des modèles à représenter la variabilité et l'évolution du climat par le passé.

Les modèles climatiques peuvent être utilisés pour expérimenter des scénarios modifiant certains aspects réels de la planète afin de nous aider à comprendre le fonctionnement du système climatique. Par exemple, quelle différence constaterait-on dans le climat de l'Europe si les montagnes Rocheuses aux États-Unis étaient moitié moins élevées ? Ils peuvent également être utilisés pour étudier l'effet probable des variations, par exemple, du nombre de particules atmosphériques ou du rayonnement solaire.

Les arguments physiques simples peuvent servir à explorer l'éventualité que les événements extrêmes qui se produisent puissent être liés aux changements climatiques, mais il faut un modèle climatique pour quantifier cela. Dans une perspective d'avenir, les arguments physiques simples peuvent aussi nous servir à projeter ce qui pourrait être la combinaison évolutive de la variabilité climatique et du changement climatique, mais pour la question quantitative il sera nécessaire d'utiliser les modèles climatiques.

Les modèles climatiques et les résultats que nous en obtenons doivent systématiquement être remis en cause, mais ils sont irremplaçables pour comprendre le climat, aussi bien passé que futur.


LES MODÈLES CLIMATIQUE
ET LES RÉSULTATS QUE NOUS E
OBTENONS SONT IRREMPLAÇABLE
POUR COMPRENDRE LE CLIMA
AUSSI BIEN PASSÉ QU'FUTU
Les modèle
climatique
se fondent sur le
lois du mouvemen
des fluides et d
la thermodynamiqu
UNE RÉACTIVITÉ DE LA
TEMPÉRATURE MONDIAL
À LA HAUSSE DE GAZ
À EFFET DE SERRE.

3. CHANGEMENT CLIMATIQUE : EFFETS SOCIO-ÉCONOMIQUES ET RÔLE DU SECTEUR DE L'ASSURANCE

Santé, biodiversité, agriculture… les changements climatiques et leurs conséquences impactent de façon radicale de nombreux domaines. Face à ces modifications de l'environnement socio-économique, le secteur de l'assurance a clairement un rôle à jouer.

3.1 – L'impact sur les communautés humaines et sur l'environnement

Comme vu précédemment, le changement climatique n'est pas la seule cause de l'augmentation des sinistres liés aux catastrophes naturelles observées au cours des dernières décennies. En effet, il semble que l'augmentation de l'exposition économique au risque en soit le facteur principal. Néanmoins, les découvertes récentes renforcent la mise en garde suivante : le changement climatique, phénomène mondial et désormais plus compréhensible, peut profondément remodeler notre environnement socio-économique. Plus intenses, imprévisibles et fréquents, les phénomènes météorologiques extrêmes auront très probablement des conséquences toujours plus dramatiques sur les communautés humaines et sur l'environnement.

Les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, que l'activité humaine multiplie, sont un défi pour l'environnement et le développement économique. Le changement climatique menace notamment la sécurité alimentaire et la biodiversité. Il peut également avoir de nombreux effets sur la santé, le rendement des récoltes, les écosystèmes, le refroidissement ou le réchauffement de l'atmosphère, autant d'éléments susceptibles d'impacter le bien-être humain.

Ainsi, l'impact du changement climatique sur l'agriculture, l'eau et la santé compte parmi les principales préoccupations des populations. Le rapport élaboré par HSBC en 2009[20] prévoyait ainsi :

– **Agriculture :** le changement climatique fera reculer la production totale de céréales vivrières entre 4,1 % et 8,7 % dans les pays du G20 d'ici à 2020, avec un coût associé de 10 à 28 milliards de dollars par an. L'Arabie Saoudite, la Turquie, la Russie, les États-Unis et l'Inde seront parmi les pays les plus durement touchés. Compte tenu de la croissance démographique, la production alimentaire par habitant chutera entre 12 % et 16 % dans l'ensemble des pays du G20, entre 21 % et 25 % en Inde et entre 20 % et 24 % aux États-Unis.

– **Eau :** le stress (ou pénurie) hydrique, mesuré par la disponibilité en eau par habitant, devrait s'accentuer dans 16 pays du G20 d'ici à 2025, notamment en Australie, au Brésil, en Indonésie, au Mexique et en Turquie.

– **Santé :** en 2009, le changement climatique était à l'origine de moins de 1 % des maladies dans le monde, et les pays du G20 pesaient pour moitié. D'ici à 2020, le nombre d'années de maladie ou d'incapacité dues au changement climatique pourrait doubler. Le coût sanitaire des inondations serait, en particulier, multiplié par cinq.

La littérature économique suggère que les dommages imputables aux phénomènes climatiques pourraient représenter en valeur entre 1 et 2 % du produit intérieur brut (PIB) mondial chaque année d'ici à 2100 si les températures progressent de 2,5 °C au-dessus des niveaux préindustriels. Les estimations atteignent entre 2 et 4 % du PIB mondial pour une hausse de 4 °C[21]. Les rares études qui étudient les conséquences d'un niveau de réchauffement extrême révèlent que, d'ici à 2100, les pertes annuelles corrélées pourraient atteindre 10,2 % du PIB mondial pour un réchauffement de 6 °C[22] et jusqu'à 11,3 % pour un réchauffement de 7,4 °C[23]. Bien que l'évaluation soit sensible aux hypothèses de taux d'actualisation et d'ampleur des effets des catastrophes, les conséquences

socio-économiques du changement climatique seront sans doute considérables.

La tendance historique à sous-estimer la rapidité du changement climatique suggère que des évolutions non-linéaires et des pertes conséquentes correspondant à la borne supérieure des fourchettes d'estimation sont possibles. À ce titre, le changement climatique constitue l'un des plus sérieux défis au développement de la planète. Il est peu probable que l'on puisse éviter les importantes conséquences qui y sont liées en se contentant des engagements actuels en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre. À moyen terme, les progrès en la matière dépendront encore davantage des engagements nationaux, basés sur les capacités propres de chaque pays, et une mise en œuvre plus poussée des solutions technologiques et légales actuelles.

3.2 – Le rôle du secteur de l'assurance

Un risque aussi important pour la viabilité de la prospérité économique que le changement climatique implique nécessairement le secteur de l'assurance au premier chef. Le changement climatique est, en effet, appelé à avoir une influence grandissante sur l'activité d'assurance, sa politique de souscription et sa stratégie d'investissement. Les risques et les opportunités ne manquent pas pour le secteur : d'une part, une augmentation des réclamations liées aux sinistres non accompagnées de la hausse appropriée des primes pourrait mettre en péril l'activité ; d'autre part, les acteurs les plus dynamiques devraient bénéficier d'un net avantage concurrentiel via l'amélioration de leur gestion des risques et l'offre de nouveaux produits et services performants. En outre, le secteur de l'assurance a la responsabilité majeure d'aider la société à mieux gérer les risques liés au climat.

L'assurance, source d'expertise

L'assurance est forte d'un large éventail de connaissances non financières : informations géographiques, compétences en météorologie et en climatologie, compréhension des codes du bâtiment et de leurs enjeux pour l'assurance des biens ; connaissances en médecine, en toxicologie et en démographie pour l'assurance maladie et l'assurance vie. Toute cette recherche-développement profite d'abord aux assurés. Elle bénéficie

également à la société dans son ensemble en facilitant information et formation, en créant des pôles de savoir, en accompagnant et finançant la recherche.

En matière de climat, l'assurance est le secteur le mieux positionné pour évaluer les risques liés aux catastrophes naturelles et leur évolution. Les assureurs disposent de précieuses données sur les sinistres, ainsi que de modèles et outils perfectionnés permettant analyse et prévision. Ils savent aussi comment transformer les données relatives aux risques en actions préventives.

Le rôle de l'assurance est de comprendre et de partager la connaissance des risques émergents. Mettre en lumière les risques méconnus, voire inconnus, qui menacent la société fait partie intégrante de sa mission. C'est particulièrement vrai du changement climatique, dont la nature et les effets à venir sont particulièrement incertains.

L'assurance, moteur d'une économie durable

L'activité d'assurance consiste à garantir une indemnité – ou prestation – en cas de réalisation d'événements aléatoires spécifiés dans un contrat (accident, dommage, blessure corporelle, invalidité, décès, etc.). Tout assuré a droit à cette indemnité – ou prestation – en contrepartie du versement d'une prime. Pour que le contrat soit équitable et viable, la prime doit évaluer correctement le risque spécifique à chaque assuré. Par conséquent, les assureurs sont des gestionnaires de risques.

Le principe est ensuite de créer des fonds alimentés par les primes des assurés afin de garantir le paiement des indemnisations en cas de l'occurrence d'un événement. Le dispositif est conçu de telle sorte que la probabilité d'un événement touchant l'ensemble des assurés en même temps soit faible. On peut donc considérer l'assureur tout d'abord comme un détenteur de fonds et, puisque ces fonds sont finalement investis, comme un investisseur.

En investissant

Puisque les contrats d'assurance accumulent des primes en contrepartie d'une indemnisation financière en cas de sinistre, les assureurs sont des acteurs majeurs en matière d'investissement. Leurs investissements contribuent pleinement au financement de l'économie tout entière. Les actifs sont généralement associés à des contrats à moyen ou long terme et constituent donc des éléments de capital stables.

Ces investissements peuvent contribuer à atténuer les effets du changement climatique au moyen, par

exemple, de véhicules financiers dits « verts ». À cet égard, le « Carbon Disclosure Project » (CDP) est un outil précieux pour identifier les valeurs pouvant faire l'objet de ces investissements « verts », car il évalue l'empreinte carbone et la performance environnementale de ces entreprises. Plus généralement, ces stratégies d'investissements « verts » sont de plus en plus fréquentes dans le cadre de l'investissement responsable auquel s'astreignent les compagnies d'assurances et d'autres investisseurs de long terme.

En facilitant le développement d'autres activités

Outre le financement de l'économie, l'assurance a beaucoup à offrir pour le développement d'autres activités. Premièrement, le secteur de l'assurance joue le rôle de catalyseur de projets. En garantissant une protection financière aux activités à risque, il confère une certaine tranquillité d'esprit à d'autres acteurs économiques, notamment dans les secteurs de l'énergie, de l'ingénierie et du bâtiment. Il réduit le montant de capital nécessaire à ces projets. Cette caractéristique est particulièrement importante dans la mesure où l'on ne pourra remédier efficacement aux impacts du changement climatique qu'en stimulant l'innovation industrielle.

L'intérêt de l'assurance peut également se constater au lendemain d'un événement extrême, comme une catastrophe naturelle. Dans ce cas, l'assurance permet d'accélérer la reconstruction et la reprise de l'activité économique. En effet, savoir un financement disponible facilite la sollicitation des entreprises de reconstruction. En ce sens, le rôle de l'assurance dans le contexte d'un changement climatique aux effets de plus en plus lourds et erratiques devrait s'avérer crucial.

En limitant les procédures judiciaires

Dans un rapport publié en 2009, Swiss Re comparait les procès liés au changement climatique à ceux qui ont conduit des dizaines de sociétés de l'industrie de l'amiante à la faillite. Il prévoyait ainsi que les premiers se développeraient beaucoup plus rapidement que les plaintes sur l'amiante.

La récente augmentation des plaintes montre que la société tolère de moins en moins les dommages provoqués par les activités humaines. Or, l'histoire a prouvé que le secteur de l'assurance pouvait apporter des solutions. Ce fut notamment le cas avec la première mise en œuvre des mécanismes d'indemnisation pour arrêt de travail des salariés / prise en charge de la responsabilité de l'employeur. L'assurance a ainsi permis d'assumer et de gérer efficacement ces besoins d'indemnisation. L'histoire démontre également que des frais de procédure et de défense peuvent engloutir de grandes quantités de capitaux, qu'il aurait été plus utile de consacrer à la création d'une garantie, à des campagnes de prévention ou à de la recherche-développement. Ce fut malheureusement le cas pour les litiges concernant l'amiante, le tabac et les déchets dangereux.

L'assurance, vecteur d'amélioration des comportements

L'assurance influence positivement le comportement des assurés. Le fait de savoir la prise en charge de certains risques, s'ils venaient à survenir, rassure. Cela procure tranquillité d'esprit pour réaliser les activités couvertes par l'assurance, tant professionnelles que personnelles.

L'assurance peut également fortement inciter à l'adoption de mesures visant à réduire le risque climatique et favoriser ainsi un véritable changement de comportements en la matière.

Elle peut contribuer ainsi à prévenir deux aspects du risque climatique :

> L'évolution future du climat : en s'attaquant aux facteurs de risques associés (tels que les émissions de gaz à effet de serre). C'est une mesure dite « d'atténuation », dans une perspective d'accompagnement du risque.

> Les conséquences néfastes du changement climatique : en renforçant la résilience des sociétés à la partie inéluctable du risque. C'est une mesure dite « d'adaptation », dans une perspective de résistance au risque.

La prévention en matière de changement climatique est susceptible de rendre nécessaires des changements profonds dans nos habitudes de consommation et nos modes de vie. Les solutions seront d'autant plus rapides, étendues et efficaces que le secteur de l'assurance sera impliqué dans le processus. Les assureurs peuvent intervenir de différentes manières :

> **Développer de nouveaux produits** définis pour mieux prendre en compte à la fois les besoins en matière d'atténuation et d'adaptation. Pour l'atténuation, citons les contrats favorisant les énergies renouvelables, de meilleures performances énergétiques, une industrie automobile plus propre et une manière de conduire plus rationnelle. La promotion de tels produits peut inciter la société à adopter des comportements plus responsables. Concernant l'adaptation, il reste encore beaucoup à faire en matière de développement de couvertures de risques d'inondations ou de tempêtes qui inciteraient les personnes et les communautés à prendre des mesures de prévention. Les assureurs, également très impliqués dans le secteur de l'immobilier, sont particulièrement bien placés pour encourager la conception de bâtiments écologiques.

> **Mettre en place une prime d'assurance fondée sur le risque** qui reflète pleinement le risque encouru par chacun. Cela peut inciter les assurés à prendre en compte le risque dans leurs décisions. Le fait même d'être informé du degré de risque auquel les expose une action, avec un montant de prime en corrélation, peut les inciter à mener ou non à bien cette action. Ainsi, la tarification fondée sur le risque est en soi une méthode de réduction du risque, puisque l'incitation financière d'une diminution de la prime peut conduire l'assuré à réduire sa vulnérabilité au risque. Cela peut par exemple dissuader de construire dans des zones à risque (zones inondables, etc.), inciter à investir dans des systèmes de protection ou à moderniser des structures existantes (murs de protection contre les ouragans, remplacement des toits peu résistants, etc.). En mettant en place une tarification fondée sur les risques, l'assurance encourage ainsi la réduction des sinistres plus efficacement que tout autre outil économique.

> **Gérer de façon « durable » les sinistres,** afin également de développer la résistance des assurés au risque climatique. Ainsi, un assureur qui impose à la suite d'une catastrophe naturelle des réparations réduisant l'exposition future à ce risque, diminuera la vulnérabilité de cet assuré tout en encourageant la prévention des risques pour la société tout entière.

Ces exemples simples illustrent la façon dont les assureurs, véritables experts et gestionnaires du risque, peuvent inciter à l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre et à l'adaptation au changement climatique. C'est pourquoi le secteur de l'assurance accorde une part de plus en plus importante à la composante « adaptation » de la protection des assurés.

Le secteur de l'assurance, partenaire des pouvoirs publics

Un partenaire solide et volontaire

Le changement climatique va au-delà de sa dimension environnementale : c'est un enjeu sociétal. Il s'agit d'une des questions politiques les plus complexes auquel le monde ait jamais dû faire face. Le problème réside dans la difficulté à allouer le coût d'une action collective et à garantir que toutes les parties prenantes assument leur part de ce coût. Au niveau municipal, régional ou national, des institutions capables de résoudre de tels problèmes existent depuis des siècles. En revanche, le changement climatique n'est un sujet de préoccupation mondial que depuis une vingtaine d'années.

Répondre efficacement aux défis du changement climatique requiert souvent des programmes de sensibilisation et des campagnes d'incitation de la part des pouvoirs publics. Si des stratégies d'adaptation peuvent être mises en œuvre au niveau national ou régional, la réduction des émissions de gaz à effet de serre n'est possible qu'au moyen d'un programme international. Les accords internationaux visant l'atténuation des

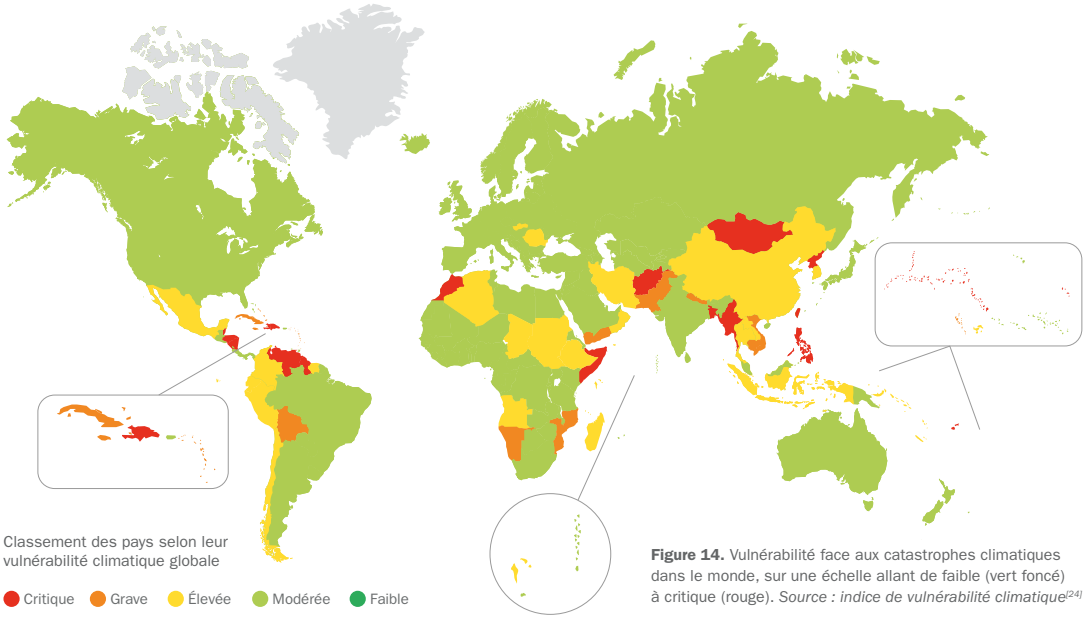


Figure 14. Vulnérabilité face aux catastrophes climatiques dans le monde, sur une échelle allant de faible (vert foncé) à critique (rouge). *Source : indice de vulnérabilité climatique*[24]

Vulnérabilité face aux catastrophes naturelles climatiques dans le monde

changements climatiques sont négociés au sein de la Conférence intergouvernementale des parties (COP) qui se tient régulièrement dans le cadre de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC).

Dans les années 1990, le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), qui assume un rôle de coordinateur international sur les questions environnementales, a estimé que le secteur privé pouvait contribuer de façon significative à la protection de l'environnement, tout en préservant sa rentabilité. C'est ainsi qu'est née l'Initiative financière du programme : un partenariat entre le PNUE et des acteurs mondiaux du secteur de la finance (principalement banques et sociétés d'assurance), qui cherche à améliorer les pratiques relatives à l'environnement et au développement durable au sein de la finance mondiale. Il a conduit au lancement, en juin 2012, des Principes pour l'Assurance Responsable. Ces principes, qui forment un cadre de référence global pour le secteur de l'assurance, facilitent la prise en compte par ses signataires des risques et opportunités d'un point de vue environnemental, social et de gouvernance (voir Focus 4 page 32).

Ces initiatives ont permis d'harmoniser les perspectives, programmes et agendas du secteur de l'assurance et des gouvernements. Néanmoins, le besoin de nouveaux partenariats public/privé reste important : le secteur de l'assurance ne peut pas, à lui seul, décider par exemple des réductions d'émissions appropriées ou de la mise en œuvre de nouvelles réglementations relatives à la construction, qui permettraient aux sociétés de mieux résister au changement climatique. En l'absence de réglementations publiques, l'assurance pourrait même s'avérer inefficace, voire impossible. Les primes nécessaires pour garantir un régime d'assurance durable pourraient en effet devenir très onéreuses dans les régions à risque élevé. Cela pourrait renforcer la menace d'un monde de moins en moins assuré à une époque où la protection est toujours plus nécessaire. Il incombe donc aux autorités gouvernementales de faciliter une prise de risque protégée et de déployer les mécanismes appropriés.

Par ailleurs, le secteur de l'assurance peut s'avérer un partenaire très efficace pour l'élaboration de programmes publics. C'est un élément à ne pas négliger dans un domaine où beaucoup de gouvernements peinent à envoyer les bons signaux aux entreprises. Les stratégies efficaces et réalisables d'un point de vue politique se sont souvent révélées difficiles à mettre en place. Tout d'abord, le secteur de l'assurance peut fournir des données capitales pour mettre en œuvre une politique mondiale : évaluations précises des coûts liés au changement climatique et estimations fiables des avantages socio-économiques de certaines mesures.

FOCUS 4 Conférence Rio+20, 20-22 juin 2012

En juin 2012, lors de la Conférence Rio+20 (soit 20 ans après le Sommet de la Terre de Rio), une trentaine des principaux groupes d'assurance mondiaux ont rejoint un projet soutenu par les Nations unies, afin de définir et de promouvoir des principes permettant d'intégrer les enjeux écologiques au sein du secteur et de mobiliser sa gestion du risque dans une perspective de durabilité environnementale, sociale et économique.

Les principes pour l'Assurance Responsable permettent une approche holistique de la gestion d'un vaste éventail de risques globaux et émergents couvrant le changement climatique, les catastrophes naturelles, le stress hydrique*, l'insécurité alimentaire et les pandémies.

Ils représentent le tout premier cadre de référence en matière de durabilité qui soit conçu pour le secteur de l'assurance et qui prenne en compte la valeur économique fondamentale du capital naturel, du capital social et de la bonne gouvernance.

Ces principes cherchent également à faire du secteur de l'assurance un levier de l'économie verte et du développement durable.

Ils sont le résultat d'un processus mené pendant six ans par l'Initiative financière du programme des Nations unies pour l'environnement (IFPNUE).

* Raréfaction de l'eau

Les données produites par le secteur et ses compétences en modélisation doivent être mieux utilisées pour évaluer coûts et bénéfices, en partenariat étroit avec les pouvoirs publics. De plus, les assureurs ont la capacité de traduire sur une échelle locale ou régionale les primes gouvernementales globales (par exemple taxes, bonus lors d'un changement de véhicule, etc.). La prise en compte de ces mesures à plus petite échelle n'est pas chose aisée, mais le secteur de l'assurance peut les transposer pour les appliquer localement. Ici encore, le partenariat public/privé permet de répondre plus efficacement au changement climatique.

Ces remarques illustrent certaines des actions que peut mener le secteur de l'assurance pour faire face, en partenariat avec les gouvernements, au changement climatique. Ces actions dépassent évidemment le simple intérêt commercial immédiat des acteurs du secteur. S'attaquer au changement climatique, c'est aussi aider les populations à interagir avec leur environnement de façon durable. Cela nécessite une réponse mondiale et des innovations en matière de protection pour lesquelles les assureurs sont particulièrement bien armés.

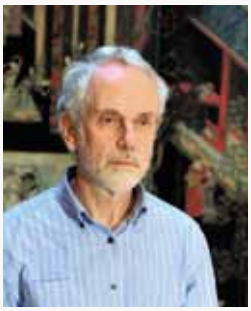
Le rôle de l'assurance dans les pays émergents

Une affirmation émerge systématiquement des études sur le risque et la vulnérabilité : le changement climatique touchera plus durement les populations déjà vulnérables des pays émergents et en développement. La Figure 14 présente la relative vulnérabilité des différents pays aux catastrophes climatiques. Elle est évaluée à l'aide d'un « indice de vulnérabilité climatique », qui associe la vulnérabilité actuelle de chaque pays à son exposition au changement climatique[24]. On note ainsi que les pays émergents ou en voie de développement d'Amérique latine, d'Asie du Sud-Est et d'Afrique, dans une certaine mesure, affichent une vulnérabilité élevée, voire critique.

Des mesures d'adaptation doivent donc être mises en œuvre dans les économies émergentes. Par ailleurs, stratégies et technologies d'atténuation doivent être transférées vers ces pays afin de ne pas limiter les mesures prises, comme la réduction des émissions de gaz à effet de serre, à quelques pays développés. Cette situation témoigne du besoin accru d'un partenariat public/privé efficace dans les pays émergents.

Le Mécanisme de développement propre (MDP) est une façon prometteuse de procéder au transfert de compétences. Les pays développés peuvent investir dans des projets de réduction d'émissions de gaz à effet de serre lancés dans les pays émergents. En retour, ils reçoivent des crédits carbone. L'assurance facilite le développement de ces projets, soit en couvrant les phases de construction, soit en garantissant une performance énergétique minimale. Les assureurs accompagnent aussi le financement de ces projets : leur implication rassure ainsi les banques, qui accepteront à leur tour plus facilement de financer ces projets.

Le secteur de l'assurance peut également jouer un rôle fondamental dans le soutien à des programmes d'adaptation spécifiques aux pays émergents.



ÉCLAIRAGE
par Sir Brian Hoskins, directeur du Grantham Institute for Climate Change (Imperial College London) et membre du Conseil Scientifique du Fonds AXA pour la Recherche

Quelles sont les prochaines grandes étapes que la société devra négocier afin d'atténuer les effets des changements climatiques et de s'y adapter ?

Pour atténuer l'impact des changements climatiques, nous devons nous concentrer sur l'offre et la demande d'énergie. En premier lieu, la société doit trouver les moyens d'accroître l'efficacité énergétique dans les transports, l'industrie et le bâtiment. Des véhicules à faible consommation existent déjà et les moteurs à combustion interne ouvrent une multitude d'autres possibilités, à condition que la réglementation et les consommateurs fassent pression. Le transport des marchandises a considérablement augmenté à une époque où les coûts étaient relativement faibles ; il faut là aussi réévaluer la situation. Les procédés industriels doivent être examinés pour déterminer de quelle manière il serait possible de réduire la consommation d'énergie. Les bâtiments doivent être conçus de façon à utiliser moins d'énergie pour le chauffage, la climatisation et l'éclairage. Il est possible et même essentiel de procéder à une réhabilitation thermique des bâtiments existants dans une optique d'économie d'énergie.

Généraliser des sources d'énergie renouvelable

En second lieu, la production énergétique doit être presque totalement décarbonisée au cours des 50 prochaines années. Cela suppose de généraliser des sources d'énergie renouvelable telles que le solaire photovoltaïque, l'énergie éolienne ou les énergies houlomotrices et marémotrices. Cela suppose aussi de développer à grande échelle la technique permettant d'éliminer le gaz carbonique dans les émissions des centrales électriques à combustible fossile et de le réutiliser ou de l'emmagasiner en sous-sol ; il faudra également remplacer les centrales moins performantes par des centrales nucléaires modernes. Le mix énergétique d'un pays dépendra de ses sources d'énergie disponibles et des choix de la société. À mesure que l'énergie deviendra sobre en émissions de carbone, les véhicules électriques devraient occuper une place grandissante dans le parc automobile. L'industrie devra s'intéresser à des processus de production moins gourmands en carbone et récupérer le carbone issu de la combustion de ses combustibles fossiles. Les maisons résidentielles pourront utiliser l'électricité pour alimenter des pompes à chaleur à air ou géothermiques.

Accroître la résilience

Il sera nécessaire de s'adapter à l'évolution du climat. Cependant, dans la plupart des régions du monde, la première mesure consiste à accroître la résilience aux conditions météorologiques et climatiques extrêmes actuelles. Dans les pays pauvres notamment, les fortes pluies et les périodes de sécheresse, qui ne sont pas particulièrement rares, peuvent occasionner des dégâts considérables dans l'agriculture et dans la société en général. Afin de préparer l'avenir, il faudra concevoir nos villes et nos pratiques agricoles de manière à pouvoir faire face à la hausse des températures, mais sans augmenter notre consommation d'énergie. Les fortes précipitations devraient se multiplier, et on en observe les premiers signes un peu partout dans le monde. Cela implique la nécessité d'une réflexion sur l'emplacement des bâtiments et l'écoulement des eaux. L'élévation du niveau de la mer fera peser un risque accru d'inondations côtières qui imposera soit d'augmenter les protections littorales soit de planifier un retrait des régions côtières.

CONCLUSION : UNE NÉCESSAIRE ACTION COLLECTIVE

En 2007, dans son quatrième Rapport d'évaluation, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) notait que « l'essentiel de l'élévation de la température moyenne du globe observée depuis le milieu du XXe siècle est très probablement attribuable à la hausse des concentrations de gaz à effet de serre anthropiques ».

Les dernières données scientifiques confirment une accélération du réchauffement climatique mondial. Contenir l'élévation des températures dans la limite de 2 °C – le seuil généralement accepté – pourrait dès à présent s'avérer impossible. Des conséquences imprévisibles sur l'environnement et la société ne peuvent être écartées.

À l'avenir, nous sommes susceptibles de connaître une intensification des cyclones tropicaux, un changement de trajectoire des cyclones extratropicaux vers les pôles dans les deux hémisphères, ainsi que des précipitations abondantes et des inondations dans de nombreuses régions du monde. Globalement, nous devrions assister à une volatilité plus forte des phénomènes climatiques extrêmes.

Les catastrophes naturelles sont un risque toujours plus grand pour la population. Pour le secteur de l'assurance, elles constituent à la fois une menace et une opportunité. Celui-ci doit remplir le rôle fondamental qui lui revient en soutenant, voire en initiant une réponse globale au changement climatique.

Ainsi, le secteur de l'assurance peut, par sa maîtrise de la gestion des risques, contribuer à l'atténuation du changement climatique et l'adaptation à celui-ci. Il peut mettre en œuvre des mesures préventives, adaptées aux besoins et à un coût raisonnable. Il peut favoriser et promouvoir le nécessaire et indispensable changement des comportements via son offre de produits et services. Il peut encourager une économie plus écologique de façon innovante, en proposant par exemple des produits et des investissements dits « verts ».

Le secteur de l'assurance peut également mieux informer et sensibiliser les populations aux risques climatiques. Il est en mesure d'aider les pouvoirs publics à définir et conduire leur action. Il peut, en outre, renforcer cette coopération en développant de nouveaux partenariats public/privé capables de mieux faire face au changement climatique.

En signant les Principes pour l'Assurance Responsable en juin 2012 lors de la Conférence des Nations unies sur le développement durable (Rio+20), un certain nombre d'acteurs du secteur ont envoyé un message clair : une action collective est nécessaire pour relever les défis actuels et futurs de la société. Le changement climatique est l'un des domaines sur lesquels le secteur de l'assurance devra mobiliser ses compétences en matière de risque afin de construire une société plus forte et plus sûre.

RÉFÉRENCES

1. IPCC, 2011: Summary for Policymakers. In: Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C. B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D., Ebi, K.L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G.-K., Allen, S. K., Tignor, M. and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
2. Petit, J.R., J. Jouzel, D. Raynaud, N.I. Barkov, J.-M. Barnola, I. Basile, M. Bender, J. Chappellaz, M. Davis, G. Delayque, M. Delmotte, V.M. Kotlyakov, M. Legrand, V.Y. Lipenkov, C. Lorius, L. Pépin, C. Ritz, E. Saltzman, and M. Stievenard, 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399: 429-436
3. IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
4. Lüthi, D., M. Le Floch, B. Bereiter, T. Blunier, J.-M. Barnola, U. Siegenthaler, D. Raynaud, J. Jouzel, H. Fischer, K. Kawamura, and T. Stocker, 2008: High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000 - 800,000 years before present. *Nature* 453: 379-382.
5. Mann, M.E., Zhang, Z., Hughes, M.K., Bradley, R.S., Miller, S.K., Rutherford, S. and F. Ni, 2008: Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol. 105, No. 36, pp. 13252-13257, September 9, 2008. doi:10.1073/pnas.0805721105.
6. The Copenhagen Diagnosis, 2009: Updating the World on the Latest Climate Science. I. Allison et al. The University of New South Wales Climate Change Research Centre (CCRC), Sydney, Australia, 60pp.
7. IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp.
8. Feely, R.A., Sabine, C.L., Takahashi, T. and Wanninkhof, R., 2001: Uptake and storage of carbon dioxide in the ocean: The global CO_2 survey, Oceanography, 4, pp. 18-32.
9. Solomon, S., Plattner, G.-K., Knutti, R. and Friedlingstein, P., 2009: Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions, PNAS, 106, pp. 1704-1709.
10. Center for Remote Sensing of Ice Sheets – Haskell Indian Nations University https://www.cresis.ku.edu/
11. Dessler, A. E. *et al.*, 2008: Water-vapor climate feedback inferred from climate fluctuations, 2003-2008. Geophysical *Research Letters* 35, L20704
12. Zhang, X. *et al.*, 2007: Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. *Nature* 448, 461-465
13. Lenton, T. M. et al., 2008: Tipping Elements in the Earth's Climate System. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, 1786-1793.
14. Jennings, S., 2011: Time's Bitter Flood – Trends in the number of reported natural disasters, Oxfam Research Report.
15. Hazard Risk Science Review – AON Benfield / Partner Re Research – 2009.

16. Ulbrich, U., G.C. Leckebusch & J.G. Pinto, 2009: Extra-tropical cyclones in the present and future climate: a review. Theoretical and Applied Climatology 96, 117–131.

17. Donat, M. G., D. Renggli, S. Wild, L. V. Alexander, G. C. Leckebusch, and U. Ulbrich, 2011: Reanalysis suggests long-term upward trends in European storminess since 1871, Geophys. Res. Lett., 38.

18. http://thinkprogress.org/romm/2012/03/04/437185/tornadoes-extreme-weather-climate-change/?mobile=nc

19. http://www.eqecat.com/

20. Too close for comfort – The HSBC Climate Vulnerability Assessment – mapping risks for the G-20 in 2020, 2009.

21. Aldy, Joseph E., Alan J. Krupnick, Richard G. Newell, Ian W.H. Parry, and William A. Pizer. "Designing Climate Mitigation Policy." Journal of Economic Literature 48.4 (December 2010): 903-934.
Aldy, Joseph E., and Robert N. Stavins, eds. Post-Kyoto International Climate Policy: Implementing Architectures for Agreement. Cambridge University Press, 2010.

22. Nordhaus, W. et Boyer, J., 2000 : Warming the World: Economic Models of Global Warming, The MIT Press.

23. Stern, N., The Economics of Climate Change, 2007.

24. Climate Vulnerability Report, http://daraint.org/climate-vulnerability-monitor/climate-vulnerability-monitor-2010/

RÉFÉRENCES COMPLÉMENTAIRES :

Church, J. A. & N. J. White, 2006: A 20th century acceleration in global sea-level rise. Geophysical Research Letters 33, L01602.

Cazenave, A. *et al.*, 2009: Sea level budget over 2003-2008: A reevaluation from GRACE space gravimetry, satellite altimetry and ARGO. Global and Planetary Change 65, 83-88.

Physical Climate Science since IPCC AR4, 2010: A brief update on new findings between 2007 and April 2010. M. Rummukainen *et al.*

Mills E., 2009: A Global Review of Industry Responses to Climate Change, The Geneva Papers, 2009, 34, (323–359).

The insurance industry and climate change – Contribution to the global debate. The Geneva Reports – Risk and Insurance Research, no.2, 2009.

Responsable de la publication : Direction de la communication et de la responsabilité d'entreprise – Communication institutionnelle & Group Risk Management – Octobre 2012
Conception et réalisation : W | W&CIE – Crédit photos : E. Henry de Frahan/Picture Tank, G. Collanges/Picture Tank, A. Sperber/Picture Tank, C. Faimali/Picture Tank, B. Fert/Picture Tank, CARE/J. Lander/imageo/AXA, J.-M. Seigné, Philippe Brault/Vu, Fotolia, X.

Ce document est imprimé avec des encres végétales sur du papier fabriqué à 100 % à base de fibres provenant de forêts gérées de manière durable et équitable ou contrôlées dans une usine certifiée ISO 14001 & EMAS, par un professionnel labellisé Imprim'Vert.