

Déclaration de l'OMM sur l'état du climat mondial en 2018

TEMPS CLIMAT EAU



ORGANISATION
MÉTÉOROLOGIQUE
MONDIALE

OMM-N° 1233

OMM-N° 1233

© Organisation météorologique mondiale, 2019

L'OMM se réserve le droit de publication en version imprimée ou électronique ou sous toute autre forme et dans n'importe quelle langue. De courts extraits des publications de l'OMM peuvent être reproduits sans autorisation pour autant que la source complète soit clairement indiquée. La correspondance relative au contenu rédactionnel et les demandes de publication, reproduction ou traduction partielle ou totale de la présente publication doivent être adressées au:

Président du Comité des publications

Organisation météorologique mondiale (OMM)

7 bis, avenue de la Paix

Case postale 2300

CH-1211 Genève 2, Suisse

Tél.: +41 (0) 22 730 84 03

Fax: +41 (0) 22 730 81 17

Courriel: publications@wmo.int

ISBN 978-92-63-21233-7

Les personnes suivantes ont contribué à l'élaboration de la présente déclaration: John Kennedy (Service météorologique britannique), Selvaraju Ramasamy (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)), Robbie Andrew (Centre de recherche international sur le climat (CICERO), Norvège), Salvatore Arico (Commission océanographique intergouvernementale (COI) de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO)), Erin Bishop (Haut-Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés (HCR)), Geir Braathen (OMM), Pep Canadell (Organisation de la recherche scientifique et industrielle du Commonwealth (CSIRO), Australie), Anny Cazanave (Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales, Centre national d'études spatiales, et Observatoire Midi-Pyrénées, France), Jake Crouch (Administration américaine pour les océans et l'atmosphère (NOAA), États-Unis d'Amérique), Chrystelle Damar (Organisation de l'aviation civile internationale (OACI)), Neil Dickson (OACI), Pierre Fridlingstein (Université d'Exeter), Madeline Garlick (HCR), Marc Gordon (Bureau des Nations Unies pour la prévention des catastrophes (UNISDR)), Jane Hupe (OACI), Tatiana Ilyina (Institut Max Planck), Dina Ionesco (Organisation internationale pour les migrations (OIM)), Kirsten Isensee (COI de l'UNESCO), Robert B. Jackson (Université de Stanford), Maarten Kappelle (Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE)), Sari Kovats (*London School of Hygien and Tropical Medicine*), Corinne Le Quéré (Centre Tyndall de recherche sur le changement climatique), Sieun Lee (OIM), Isabelle Michal (HCR), Virginia Murray (*Public Health England*), Sofia Palli (UNISDR), Giorgia Pergolini (Programme alimentaire mondial (PAM)), Glen Peters (CICERO), Ileana Sinziana Puscas (OIM), Eric Rignot (Université de Californie, Irvine), Katherina Schoo (COI de l'UNESCO), Joy Shumake-Guillemot (Bureau commun OMM /Organisation mondiale de la Santé (OMS) pour le climat et la santé), Michael Sparrow (OMM), Neil Swart (Environnement Canada), Oksana Tarasova (OMM), Blair Trewin (Bureau météorologique australien), Freja Vamborg (Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMET)), Jing Zheng (PNUE), Markus Ziese (Service météorologique allemand (DWD)).

Les organismes suivants ont apporté eux aussi leur contribution: COI de l'UNESCO, FAO, HCR, OACI, OIM, OMS, PAM, PNUE et UNISDR.

Ont également contribué les pays ci-après: Afrique du Sud, Algérie, Allemagne, Argentine, Arménie, Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Canada, Chili, Chine, Chypre, Costa Rica, Côte d'Ivoire, Croatie, Danemark, Émirats arabes unis, Espagne, Estonie, États-Unis d'Amérique, Fédération de Russie, Fidji, Finlande, France, Géorgie, Grèce, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran (République islamique d'), Iraq, Irlande, Islande, Israël, Italie, Japon, Jordanie, Kazakhstan, Kenya, Koweït, Lesotho, Lettonie, Libye (État de), Malaisie, Mali, Maroc, Mexique, Nouvelle-Zélande, Nigéria, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Philippines, Pologne, Portugal, Qatar, République centrafricaine, République de Corée, République de Moldova, République-Unie de Tanzanie, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, Serbie, Slovaquie, Suède, Suisse, Tchéquie, Tunisie, Turquie, Ukraine.

Données fournies par les organismes suivants: Centre mondial de climatologie des précipitations (DWD), Centre Hadley du Service météorologique britannique, Centres nationaux d'information sur l'environnement (NCEI) de la NOAA, CEPMET, *Goddard Institute for Space Studies* (GISS) de l'Administration américaine pour l'aéronautique et l'espace (NASA), Service météorologique japonais, Veille de l'atmosphère globale relative de l'OMM, Centre national de données sur la neige et la glace des États-Unis d'Amérique (NSIDC), *Rutgers Snow Lab*, Observatoire de Mauna Loa, Initiative sur le carbone bleu, *Global Ocean Oxygen Network*, *Global Ocean Acidification Observing Network*, Autorité du bassin du Niger, Observatoire de Hong Kong, Forum sur l'évolution probable du climat dans l'Arctique, Initiative sur le changement climatique de l'Agence spatiale européenne, Service Copernicus de surveillance du milieu marin, AVISO (archivage, validation et interprétation des données de satellites océanographiques), Service mondial de surveillance des glaciers (WGMS), Université de l'État du Colorado.

Photo de couverture: Lugard Road, Pic Victoria à Hong Kong, Chine; photographe: Chi Kin Carlo Yuen, Hong Kong, Chine

NOTE

Les appellations employées dans les publications de l'OMM et la présentation des données qui y figurent n'impliquent, de la part de l'Organisation météorologique mondiale, aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

La mention de certaines sociétés ou de certains produits ne signifie pas que l'OMM les cautionne ou les recommande de préférence à d'autres sociétés ou produits de nature similaire dont il n'est pas fait mention ou qui ne font l'objet d'aucune publicité.

Les constatations, interprétations et conclusions exprimées dans les publications de l'OMM portant mention d'auteurs nommément désignés sont celles de leurs seuls auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles de l'OMM ou de ses Membres.

Table des matières

Avant-propos	3
Déclaration du Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies	4
Déclaration de la Présidente de l'Assemblée générale des Nations Unies	5
Indicateurs climatiques	6
Température	6
Précisions sur les indicateurs climatiques	7
Sources de données et références utilisées pour calculer la température moyenne.	8
Gaz à effet de serre et ozone	9
Carbone bleu côtier	10
Océans	13
Désoxygénation de l'océan en haute mer et le long des côtes	14
Tendances au réchauffement dans l'océan Austral	15
Cryosphère	17
Bilan de masse de l'inlandsis antarctique	19
Facteurs de variabilité interannuelle.	21
Phénomènes extrêmes	23
Les risques climatiques et leurs impacts généraux	30
Agriculture et sécurité alimentaire.	30
Déplacement de populations et mobilité des êtres humains	31
Chaleur et santé	33
Conséquences sur l'environnement	33
Effets de la chaleur sur la santé.	34
Pollution de l'air et changement climatique	36
Aviation civile internationale et adaptation au changement climatique.	38



2018 se classe au quatrième rang des années les plus chaudes

Les années 2015 à 2018 sont les quatre plus chaudes jamais répertoriées, confirmant la poursuite du réchauffement climatique



Le contenu thermique de l'océan affiche des valeurs record et le niveau moyen de la mer continue d'augmenter

L'étendue de la banquise arctique comme celle de la banquise antarctique sont bien inférieures à la normale



Sur tous les continents, les populations ont pâti des conditions météorologiques extrêmes, qui ont eu un impact négatif sur le développement durable



La température moyenne à la surface du globe dépasse d'environ 1°C les valeurs préindustrielles

Nous ne sommes pas en voie d'atteindre les objectifs fixés dans le contexte du changement climatique et d'endiguer la hausse de la température

Tout réchauffement, ne serait-ce que d'une fraction de degré, a des conséquences

Avant-propos

Cette publication marque le vingt-cinquième anniversaire de la *Déclaration de l'OMM sur l'état du climat mondial*, dont la première édition se rapportait à l'année 1993. La présente déclaration représente l'aboutissement des efforts soutenus, déployés à l'échelle internationale, qui ont consisté à rendre compte des variations interannuelles du climat et de son évolution sur le long terme, à analyser les données correspondantes et à les mettre en perspective.

La *Déclaration de l'OMM sur l'état du climat mondial* a fourni l'occasion, pendant toute cette période, d'accumuler et de diffuser une somme de connaissances pour tenir les Membres de l'OMM, les organismes des Nations Unies et les décideurs au courant de l'état du système climatique. Elle vient compléter les rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), qui sont publiés tous les cinq à sept ans, en ce sens qu'elle contient des informations à jour qui servent les besoins de la Convention-cadre des Nations-Unies sur les changements climatiques et d'autres cadres d'action pour le climat.

Depuis qu'a été publiée la première Déclaration sur le climat, le savoir climatologique a atteint une rigueur scientifique sans précédent. On a pu mettre ainsi en évidence de manière irréfutable la hausse de la température moyenne et ses corollaires que sont, entre autres, l'élévation du niveau de la mer, le recul de la banquise, la perte de masse des glaciers et les phénomènes extrêmes liés à la hausse des températures tels que les vagues de chaleur. Il reste cependant des domaines qui nécessitent de renforcer encore les observations et d'approfondir la recherche, s'agissant notamment d'évaluer la contribution du changement climatique à la genèse des phénomènes extrêmes ainsi qu'aux courants océaniques et aux courants-jets atmosphériques susceptibles de provoquer des vagues de froid extrême dans certaines régions et un temps clément dans d'autres.

Parmi les faits saillants soulignés dans la présente déclaration, on mentionnera le réchauffement

record observé sans discontinuer de 2015 à 2018, l'augmentation constante des concentrations atmosphériques des principaux gaz à effet de serre, l'accélération du rythme d'élévation du niveau de la mer et le recul de la banquise tant dans l'Arctique que dans l'Antarctique.

Les répercussions sociétales de la variabilité du climat et du changement climatique sont par ailleurs mieux documentées, grâce aux liens étroits qu'entretiennent les organismes partenaires du système des Nations Unies. La présente déclaration rend compte de certaines de ces répercussions qui ont été observées dernièrement, notamment de 2015 à 2018, période particulièrement marquée par les phénomènes El Niño et La Niña dont les effets sont venus s'ajouter à ceux, à plus long terme, du changement climatique.

La température moyenne a augmenté de près de 1 °C depuis l'époque préindustrielle. Le temps dont nous disposons pour nous acquitter des engagements pris dans le cadre de l'Accord de Paris sur le climat s'amenuise rapidement.

Le présent rapport, de par les informations dignes de foi qu'il contient, alimentera les débats du Sommet Action Climat 2019 que le Secrétaire général de l'ONU a décidé de convoquer. Je saisis donc cette occasion pour remercier tous ceux qui ont contribué à son élaboration: je veux parler des auteurs, des Services météorologiques et hydrologiques nationaux, des centres mondiaux de données climatologiques et d'analyse du climat, des centres météorologiques régionaux spécialisés, des centres climatologiques régionaux et des organismes compétents du système des Nations Unies.



(P. Taalas)
Secrétaire général

Déclaration du Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies

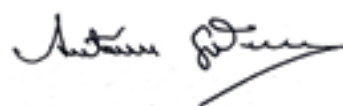
Les données divulguées dans le présent rapport sont très inquiétantes. Les quatre dernières années sont les plus chaudes jamais répertoriées et en 2018, la température moyenne à la surface du globe était supérieure d'environ 1 °C aux valeurs préindustrielles.

Ces données confirment qu'il est urgent d'agir pour le climat, comme l'a souligné récemment le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) dans son rapport spécial sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C. Le GIEC fait valoir que pour limiter à 1,5 °C le réchauffement du climat, il faudra procéder à des transitions rapides et de grande envergure dans les domaines de l'aménagement du territoire, de l'énergie, de l'industrie, du bâtiment, du transport et de l'urbanisme; les émissions mondiales nettes de dioxyde de carbone (CO₂) d'origine anthropique devront être réduites d'environ 45 % par rapport aux niveaux de 2010 d'ici à 2030, et il faudra les ramener à zéro aux alentours de 2050.

Afin de promouvoir un programme plus ambitieux de lutte contre le changement climatique, j'ai décidé de convoquer le 23 septembre prochain

un sommet sur le climat. Il s'agit de susciter une volonté politique qui soit à la hauteur de cette ambition, dans le contexte de l'action engagée pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris. J'appelle tous les dirigeants de la planète à se rendre à New York en septembre pour y présenter des plans d'action concrets et réalistes destinés à renforcer leurs contributions déterminées au niveau national d'ici à 2020, le but étant de parvenir à des émissions nettes égales à zéro vers le milieu du siècle. Le Sommet servira aussi à mettre en avant les mutations auxquelles il faudra procéder dans tous les domaines où elles s'imposent.

Il n'est plus temps de tergiverser. Je tiens à saluer la présente publication qui apporte une contribution indispensable aux efforts déployés à l'échelle internationale pour prévenir un bouleversement irréversible de notre climat.



(A. Guterres)
Secrétaire général de l'ONU



UN Photo/Loey Felipe

Le Secrétaire général de l'OMM, Petteri Taalas (à gauche) et le Secrétaire général de l'ONU, António Guterres, lors d'une réunion à New York, en septembre 2018.

Déclaration de la Présidente de l'Assemblée générale des Nations Unies



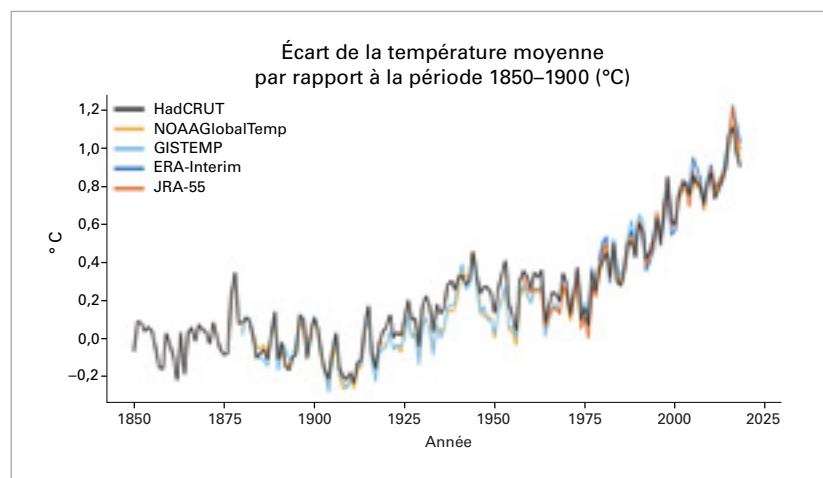
Ce vaste rapport de l'Organisation météorologique mondiale est fort instructif: il met en exergue l'urgence qu'il y a d'agir pour contrer le changement climatique et montre à quel point il est primordial de disposer de données scientifiques fiables pour aider les gouvernements à prendre des décisions en connaissance de cause. En ma qualité de Présidente de l'Assemblée générale des Nations Unies, j'ai particulièrement à cœur de souligner les répercussions du changement climatique sur notre aptitude à réaliser les objectifs de développement durable, ainsi que la nécessité de considérer dans leur totalité les conséquences socio-économiques des conditions météorologiques extrêmes, qui frappent de plus en plus durement les pays du monde entier. Ce rapport très actuel représente une précieuse contribution aux efforts que nous déployons pour attirer l'attention de la communauté internationale sur cette problématique.

María Fernanda Espinosa Garcés
Présidente de l'Assemblée générale des Nations Unies
73^{ème} session

Indicateurs climatiques

TEMPÉRATURE

Figure 1. Anomalies de la température moyenne à l'échelle du globe par rapport à la période de référence 1850–1900, selon les cinq jeux de données mondiaux. Source: Centre Hadley, Service météorologique britannique.



L'année 2018 se classe au quatrième rang des plus chaudes depuis le début des relevés, les quatre dernières années étant les quatre plus chaudes jamais enregistrées, et c'est en fait la plus « fraîche » des quatre. Contrairement aux deux années les plus chaudes (2016 et 2017), 2018 a débuté par un épisode La Niña de faible intensité, ce phénomène ayant normalement pour effet d'abaisser la température mondiale.

Dans le Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C (*Réchauffement planétaire de 1,5 °C*), il est indiqué que la température moyenne à la surface du globe

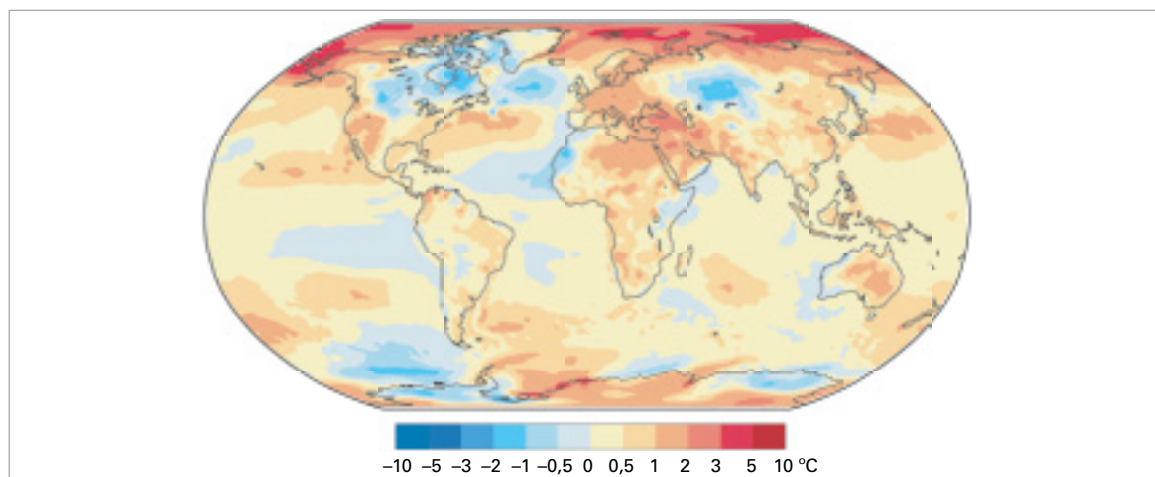
pour la décennie 2006–2015 était supérieure de 0,86 °C aux valeurs de l'époque préindustrielle. À titre de comparaison, l'anomalie moyenne par rapport à ces mêmes niveaux de référence pour la décennie la plus récente (2009–2018) était d'environ 0,93 °C \pm 0,07 °C¹ et pour ces cinq dernières années (2014–2018), de 1,04 °C \pm 0,09 °C. Ces deux périodes ont subi l'influence du puissant Niño de 2015/16, qui a poussé les températures à la hausse.

Des températures supérieures à la normale ont été observées un peu partout en 2018 (figure 2). D'après les chiffres relatifs aux différents continents émanant de la NOAA, 2018 se classe parmi les 10 années les plus chaudes qu'aient connues l'Afrique, l'Asie, l'Europe, l'Océanie et l'Amérique du Sud. Seule exception: l'Amérique du Nord, classée au 18^e rang des années les plus chaudes en 109 ans de relevés.

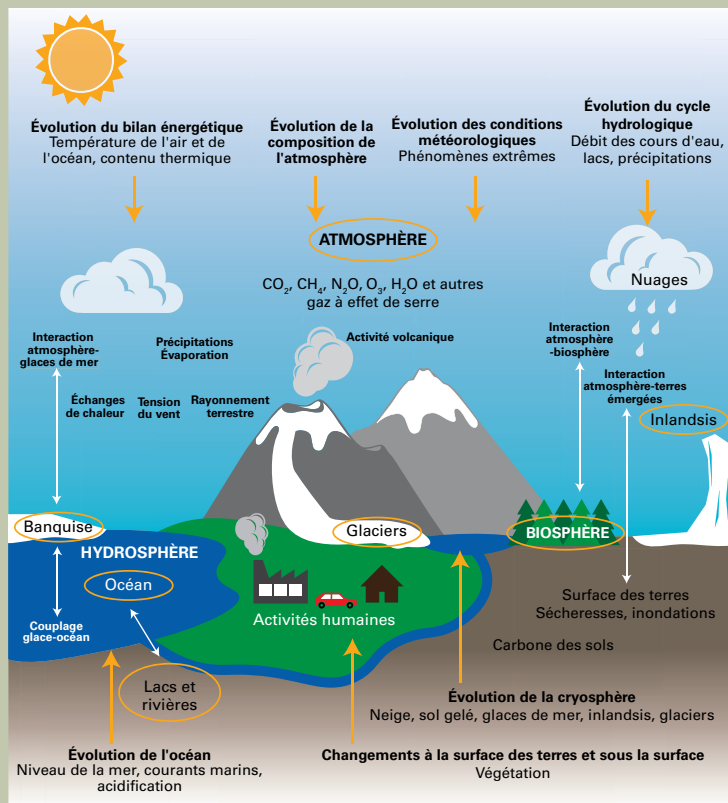
Les températures ont été nettement supérieures à la normale dans un certain nombre de régions. Dans l'Arctique, les anomalies de la température annuelle moyenne ont dépassé 2 °C un peu partout et 3 °C par endroits. Bien que généralement plus basses qu'en 2016, l'année record, les températures dans l'Arctique n'en étaient pas moins exceptionnellement élevées par comparaison à la normale calculée sur le long terme. Une zone s'étendant de l'Europe à l'Asie méridionale en passant par certaines régions d'Afrique du Nord et le Moyen-Orient a été marquée elle aussi par une chaleur exceptionnelle; certains pays – l'Allemagne, la France, la Hongrie, la Serbie, la Suisse et la

¹ Le GIEC a utilisé les jeux de données NOAA GlobalTemp et GISTEMP ainsi que deux versions de HadCRUT4 pour son évaluation. L'une des versions de HadCRUT4 utilisées par le GIEC est antérieure à celle utilisée ici, et on obtient l'autre en comblant les lacunes du réseau d'observation par une méthode statistique (Cowtan, K. et R.G. Way, 2014: Coverage bias in the HadCRUT4 temperature series and its impact on recent temperature trends. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 140:1935–1944, doi:10.1002/qj.2297).

Figure 2. Anomalie de la température moyenne de l'air en surface en 2018 par rapport à la moyenne de la période 1981–2010. Source: données (ERA-Interim) du service Copernicus de surveillance du changement climatique relevant du CEPMMT.



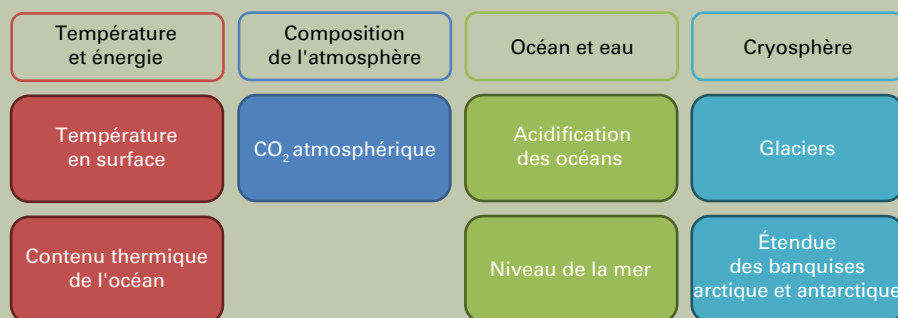
PRÉCISIONS SUR LES INDICATEURS CLIMATIQUES



Principales composantes du système climatique et interactions: bilan énergétique, composition de l'atmosphère, conditions météorologiques, cycle hydrologique, océan et cryosphère.

Les multiples indicateurs qu'utilisent déjà les climatologues servent un grand nombre d'applications scientifiques et techniques et s'adressent à un public très varié. Par conséquent, ils ne sont pas tous également adaptés aux besoins de ceux qui, sans être des scientifiques, voudraient toutefois comprendre comment le climat se transforme. En optant pour une sélection d'indicateurs clefs qui permettent d'appréhender de façon détaillée les diverses composantes du système climatique et leurs mutations, on facilite la tâche du profane désireux d'en savoir plus sur l'évolution des principaux paramètres climatiques.

L'Organisation météorologique mondiale utilise un ensemble de sept indicateurs sur l'état du climat qui font partie des 55 variables climatologiques essentielles du Système mondial d'observation du climat (SMOC), à savoir la température en surface, le contenu thermique de l'océan, la teneur de l'atmosphère en dioxyde de carbone (CO_2), l'acidification des océans, le niveau de la mer, le bilan de masse des glaciers et l'étendue des banquises arctique et antarctique. Un certain nombre d'indicateurs supplémentaires sont généralement pris en compte lorsqu'il s'agit de décrire plus précisément les changements survenus dans le domaine considéré. On citera, et la liste n'est pas exhaustive, les précipitations, les gaz à effet de serre autres que le CO_2 , le manteau neigeux, les nappes glaciaires, les phénomènes extrêmes et les incidences du climat.



Indicateurs utilisés par l'OMM pour surveiller la variabilité du climat et le changement climatique à l'échelle du globe, à savoir la température en surface, le contenu thermique de l'océan, le CO_2 atmosphérique, l'acidification des océans, le niveau de la mer, le bilan de masse des glaciers et l'étendue des banquises arctique et antarctique. Ces indicateurs font partie des 55 variables climatologiques essentielles du SMOC.

Source: <https://gcas.wmo.int/en/global-climate-indicators>.

SOURCES DE DONNÉES ET RÉFÉRENCES UTILISÉES POUR CALCULER LA TEMPÉRATURE MOYENNE

Les températures moyennes présentées ici sont calculées à partir de cinq jeux de données. Trois d'entre eux sont des relevés de température provenant de stations météorologiques terrestres, de navires et de bouées océanographiques et combinés via des méthodes statistiques, et chacun des centres que sont les NCEI de la NOAA¹, le GISS de la NASA², le Centre Hadley du Service météorologique britannique et la Section de recherche sur le climat de l'Université d'East Anglia³ applique ses propres méthodes de traitement des données pour obtenir la moyenne mondiale. Les deux autres sont des jeux de données de réanalyse, qui proviennent du CEPMMT et de son service Copernicus de surveillance du changement climatique (ERA-Interim) ainsi que du Service météorologique japonais (JRA-55). Des millions de données d'observation météorologique et océanique, y compris par satellite, sont combinées avec les résultats de modèles de façon à obtenir une «réanalyse» complète de l'atmosphère. Cette méthode permet d'estimer les températures partout dans le monde et à tout moment, même dans les régions où le réseau d'observation est peu dense comme au voisinage des pôles. La très bonne concordance des moyennes mondiales issues des différents jeux de données témoigne de la grande fiabilité des relevés mondiaux de température.

On utilise souvent le terme «anomalies» lorsqu'on se réfère aux températures moyennes, ce terme exprimant l'écart de température par rapport à la normale calculée pour une période de référence. Bien que les températures effectives puissent varier fortement sur de courtes distances, par exemple entre la base et le sommet d'une montagne, les anomalies de température sont représentatives de zones beaucoup plus vastes, dans la mesure où s'il fait plus chaud que la normale sur un sommet, c'est aussi sans doute le cas au pied du relief. Moyennée sur un mois, une anomalie de température spécifique, qu'elle soit positive ou négative, peut s'étendre sur des milliers de kilomètres. Pour estimer de façon acceptable l'anomalie de la température moyenne à l'échelle du globe, quelques stations suffisent dans chacune de ces vastes zones caractérisées par des anomalies uniformes. Cela dit, pour obtenir une mesure exacte de la température, des stations en bien plus grand nombre sont nécessaires, de même qu'un échantillonnage minutieux et représentatif de la grande diversité des climats.

¹ Les NCEI de la NOAA constituent et tiennent à jour des jeux mondiaux de données sur la température appelés NOAA GlobalTemp.

² Le GISS de la NASA constitue et tient à jour un jeu mondial de données sur la température appelé GISTEMP.

³ Le Centre Hadley du Service météorologique britannique et la Section de recherche sur le climat de l'Université d'East Anglia constituent et tiennent à jour un jeu mondial de données sur la température appelé HadCRUT4.

La période de référence retenue pour calculer les anomalies dépend généralement de l'objet de la mesure. Les plus courantes sont les périodes 1961–1990, 1981–2010 et 1850–1900, cette dernière étant souvent désignée sous le nom de période préindustrielle. Dans certains cas, par exemple pour déterminer l'évolution de la température au XX^e siècle, on peut choisir indifféremment ou presque une période de référence ou une autre.

L'OMM recommande actuellement de choisir comme référence la période 1961–1990 pour évaluer le changement climatique. Le GIEC s'y est systématiquement référé dans ses trois derniers rapports (les troisième, quatrième et cinquième rapports d'évaluation), ce qui en fait un point de comparaison stable sur la durée. De gros efforts ont d'ailleurs été consentis pour calculer et diffuser des normales climatologiques relatives à cette période.

Le chiffre de 14 °C est couramment retenu lorsqu'on se réfère à la température moyenne de la période 1961–1990. Cette valeur n'est pas connue avec une grande précision, il faudrait peut-être retrancher ou ajouter un demi-degré. Comme il est dit plus haut, la marge d'erreur en l'occurrence est nettement plus grande que pour les anomalies annuelles de la température, où elle est en général de quelque 0,1 °C.

La période de référence 1981–2010 est utilisée pour la surveillance du climat. Elle a souvent la préférence car étant la plus récente, c'est la plus représentative des conditions actuelles, dites «normales». Les moyennes calculées sur 30 ans sont souvent désignées sous le nom de «normales climatologiques». Le fait de se référer à une normale relative aux années 1981–2010 signifie que l'on peut prendre en compte des données satellitaires et des données de réanalyse à des fins de comparaison, ce type de donnée n'étant guère disponible avant cette période. La température moyenne des années 1981 à 2010 dépasse d'environ 0,3 °C celle des années 1961 à 1990.

Dans le Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C, ainsi que dans la présente déclaration, la période 1850–1900 sert à illustrer les conditions qui régnaient à l'époque préindustrielle. Il est important de s'y référer dans le contexte de l'Accord de Paris sur le climat, qui vise à limiter le réchauffement à 1,5 °C ou 2 °C par rapport aux valeurs préindustrielles. Le choix de cette période de référence a cependant pour point faible le fait que les données d'observation étaient alors relativement rares et que les incertitudes qui s'y rattachent sont par conséquent plus grandes. La température moyenne des années 1850 à 1900 est inférieure de quelque 0,3 °C à celle des années 1961 à 1990.

Tchéquie – ont d’ailleurs connu en 2018 l’année la plus chaude de leur histoire, depuis qu’il existe des relevés, et d’autres – la Belgique, l’Estonie, Israël, la Lettonie, le Pakistan, la République de Moldova, la Slovaquie et l’Ukraine – l’une des cinq plus chaudes. Cette année est d’ailleurs l’une des trois plus chaudes qu’aient connues l’Europe dans son ensemble. Au nombre des régions anormalement chaudes on mentionnera aussi le sud-ouest des États-Unis d’Amérique, l’est de l’Australie (pour l’ensemble du pays, 2018 se classe au troisième rang des années les plus chaudes) et la Nouvelle-Zélande, où 2018 a égalé un record précédent de deuxième année la plus chaude.

En revanche, les zones continentales plus froides que la normale ont été plus restreintes. Certaines régions d’Amérique du Nord et du Groenland, l’Asie centrale, l’ouest de l’Afrique du Nord, une partie de l’Afrique de l’Est, les régions côtières de l’ouest de l’Australie et l’ouest de la région tropicale de l’Amérique du Sud ont connu des anomalies négatives, qui n’avaient cependant rien d’exceptionnel.

GAZ À EFFET DE SERRE ET OZONE

Les gaz à effet de serre, dont la teneur dans l’atmosphère ne cesse d’augmenter, sont les principaux facteurs du changement climatique. Les concentrations atmosphériques de ces gaz représentent le bilan des sources (y compris les émissions liées aux activités humaines) et des puits (absorption par la biosphère et les océans, par exemple). En 2017, les concentrations de gaz à effet de serre ont atteint de nouveaux pics, les fractions molaires, moyennées à l’échelle du globe, atteignant $405,5 \pm 0,1$ parties par million (ppm) pour le dioxyde de carbone (CO_2), $1\,859 \pm 2$

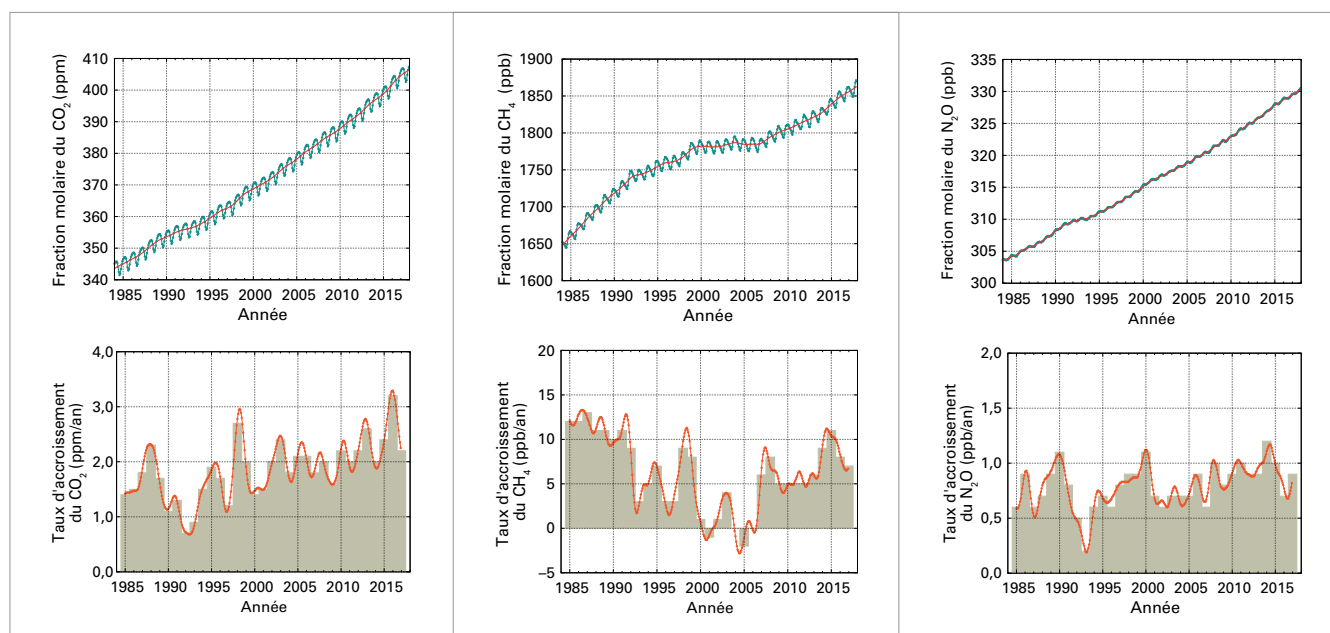
parties par milliard (ppb) pour le méthane (CH_4) et $329,9 \pm 0,1$ ppb pour le protoxyde d’azote (N_2O) (figure 3). Ces valeurs représentent respectivement 146 %, 257 % et 122 % des niveaux préindustriels (avant 1750). Les moyennes mondiales pour 2018 ne seront disponibles qu’à la fin de 2019. Selon les données obtenues en temps réel pour un certain nombre de sites, notamment Mauna Loa (Hawaï) et Cape Grim (Tasmanie), les concentrations de CO_2 , CH_4 et N_2O ont continué d’augmenter en 2018. Selon le rapport spécial du GIEC sur un réchauffement planétaire de $1,5^\circ\text{C}$, pour limiter le réchauffement à $1,5^\circ\text{C}$ par rapport aux valeurs préindustrielles, il faudrait ramener à zéro les émissions nettes de CO_2 à l’échelle du globe aux alentours de 2050, tout en procédant à d’importantes réductions des émissions d’autres agents de forçage, en particulier le CH_4 .

BILAN CARBONE

L’évaluation précise des émissions de CO_2 et de leur redistribution dans l’atmosphère, les océans et les terres émergées – le «bilan mondial du carbone» – nous aide à mieux comprendre comment nous modifions le climat de la Terre, facilite l’élaboration des politiques climatiques et améliore les projections concernant l’évolution future du climat.

Les émissions de CO_2 fossile ont augmenté de façon quasi constante depuis deux cents ans (figure 4), avec des pauses de courte durée correspondant seulement aux périodes de fort ralentissement de l’économie mondiale. Elles ont continué de croître au rythme de $1,6\%$ en 2017 et de $2,0\%$ (chiffre préliminaire, fourchette comprise entre $1,1$ et $3,4\%$) en 2018. On estime que cette même année, $36,9 \pm 1,8$ milliards de tonnes de

Figure 3. En haut: fractions molaires (mesure de la concentration) moyennées à l’échelle du globe du CO_2 (ppm, à gauche), du CH_4 (ppb, au milieu) et du N_2O (ppb, à droite), de 1984 à 2017. La ligne rouge correspond à la moyenne mensuelle de la fraction molaire, après élimination des variations saisonnières; les ronds et la ligne en bleu indiquent les moyennes mensuelles. En bas: taux d’accroissement représentant la hausse des moyennes annuelles successives des fractions molaires du CO_2 (ppm/an, à gauche), du CH_4 (ppb/an, au milieu) et du N_2O (ppb/an, à droite). Source: *Veille de l’atmosphère globale, OMM.*



Carbone bleu côtier

Kirsten Isensee¹, Jennifer Howard², Emily Pidgeon², Jorge Ramos²,

¹ COI de l'UNESCO, France

² Conservation International, États-Unis d'Amérique

Généralement, on entend par «carbone bleu» le carbone stocké et piégé dans les écosystèmes océaniques et côtiers, ainsi que celui qui circule dans ces écosystèmes dans le cadre de son cycle naturel. Mais dans le domaine de l'atténuation des effets du climat, le carbone bleu (également appelé «carbone bleu des zones humides côtières»)¹ est défini comme étant le carbone stocké dans le sol des mangroves, des marais salés soumis aux marées et des herbiers marins; la biomasse vivante au-dessus du sol (feuilles, branches, tiges); la biomasse vivante dans le sol (racines et rhizomes); et la biomasse non vivante (litière et bois mort)² (voir tableau). Lorsqu'ils sont protégés ou remis en état, les écosystèmes de carbone bleu côtier, qui couvrent une superficie d'environ 49 Mha, jouent le rôle de puits de carbone (voir figure a)). On les retrouve sur tous les continents, à l'exception de l'Antarctique.

À l'heure actuelle, pour qu'un écosystème de carbone bleu soit reconnu pour son rôle de facteur atténuant des effets du climat dans les politiques générales à l'échelle nationale et internationale, il doit remplir les critères suivants:

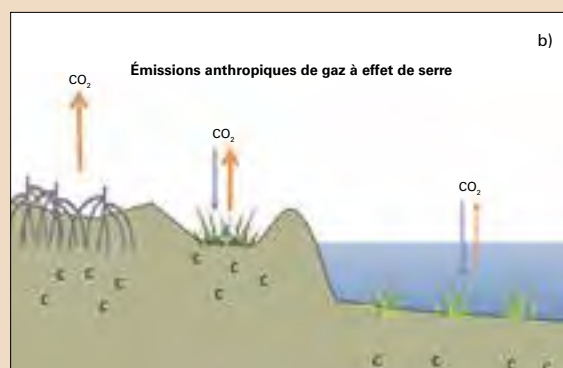
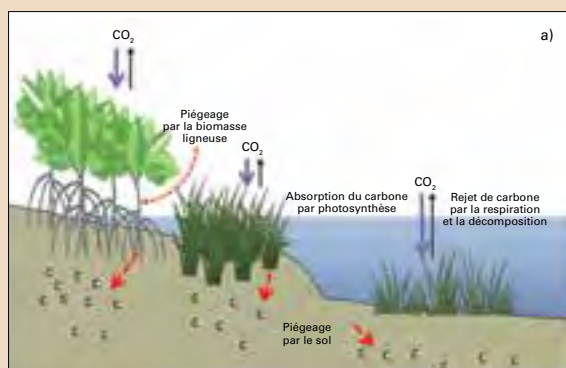
- La quantité de carbone éliminée et stockée ou la prévention des émissions de carbone par l'écosystème est d'une ampleur suffisante pour avoir une influence sur le climat;
- Les grands stocks et flux de gaz à effet de serre peuvent y être quantifiés;
- L'incidence de facteurs anthropiques sur le stockage ou les émissions de carbone est prouvée;

- Il est possible, en théorie et en pratique, de gérer l'écosystème de façon à maintenir ou augmenter les niveaux de piégeage du carbone ou de réduction des émissions;
- Il est possible de gérer l'écosystème sans qu'il y ait préjudice d'un point de vue social ou environnemental.

Mais les services écosystémiques rendus par les mangroves, les marais maritimes et les herbiers marins ne se limitent pas au stockage et au piégeage du carbone. Ils contribuent également à l'amélioration de la qualité des eaux côtières, fournissent des habitats à des espèces de poissons d'importance économique et protègent les côtes contre les inondations et les tempêtes. Selon des estimations récentes, les services écosystémiques associés aux mangroves représentent au moins 1,6 milliard de dollars par an.

Malgré leur importance avérée pour la santé des océans et le bien-être humain, les mangroves, les marais maritimes et les herbiers marins disparaissent à un rythme allant jusqu'à 3 % par an (voir tableau). Lorsqu'ils sont dégradés ou détruits, ces écosystèmes libèrent dans l'océan et l'atmosphère le carbone qu'ils ont stocké pendant des siècles et se transforment alors en sources de gaz à effet de serre (voir figure b)).

Sur la base des données du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), on estime que jusqu'à un milliard de tonnes de CO₂ sont rejetées chaque année par des écosystèmes de carbone bleu côtiers dégradés (les trois systèmes sont concernés – mangroves, marais maritimes et herbiers marins), ce qui équivaut à 19 % des émissions dues au déboisement des forêts tropicales dans le monde³.



Piégeage et dégagement de carbone dans des écosystèmes intacts et dégradés – a) Dans les zones humides côtières intactes (de gauche à droite: mangroves, marais maritimes et herbiers), le carbone est absorbé par photosynthèse (flèches mauves) et piégé pendant de longues durées dans la biomasse ligneuse et le sol (flèches rouges en pointillés) ou libéré par respiration (flèches noires). b) Lorsqu'il y a drainage du sol des zones humides côtières dégradées, le carbone stocké dans ces sols est consommé par des micro-organismes qui, en respirant, émettent du CO₂ en tant que déchet métabolique. Ce processus est accéléré lorsque les sols sont drainés et que l'oxygène est présent en plus grandes quantités, ce qui entraîne une augmentation des émissions de CO₂. La dégradation, le drainage et la conversion des écosystèmes côtiers de carbone bleu dus aux activités humaines (à savoir, déboisement et drainage, retenue des zones humides à des fins agricoles, dragage) entraîne une diminution de l'absorption du CO₂ en raison de la disparition des végétaux (flèches mauves) et la libération dans l'atmosphère d'émissions de gaz à effet de serre en quantités considérables à l'échelle du globe.

Potentiel de stockage du carbone: écosystèmes côtiers et marins¹

		<i>Mangroves</i>	<i>Marais maritimes</i>	<i>Herbiers</i>
Superficie (en millions d'hectares)		13,8–15,2 ^{4,5}	2,2–40 ^{6,7}	30–60 ⁶
Taux de piégeage (Mg C ha ⁻¹ an ⁻¹)		2,26 ± 0,39 ⁶	2,18 ± 0,24 ⁶	1,38 ± 0,38 ⁶
Total du carbone piégé par an (superficie x taux de piégeage) (en millions de Mg C an ⁻¹)		31,2–34,4	4,8–87,2	41,4–82,8
Estimation moyenne du stock de carbone à l'échelle du globe (total = (sol + biomasse) x superficie)	Réservoir de biomasse à un mètre de profondeur (Mg C ha ⁻¹)	280 ⁸	250 ⁸	140 ⁸
	Réservoir de biomasse (Mg C ha ⁻¹)	127 ⁸	9 ⁸	2 ⁸
	Total (en millions de Mg C)	5 617–6 186	570–10 360	4 260–8 520
Stabilité du stock de carbone (années)		Siècles à millénaires	Siècles à millénaires	Siècles à millénaires
Taux de conversion anthropique (% an ⁻¹)		0,7–3,0 ⁹	1,0–2,0 ^{10,11}	0,4–2,6 ^{12,13}
Émissions potentielles dues à la conversion anthropique, partant de l'hypothèse que la totalité du carbone est convertie en CO ₂ ((stock total de carbone par ha x ha convertis par an) x 3,67 (taux de conversion en CO ₂))		144,3–681,1	20,9–760,4	62,5–813,0

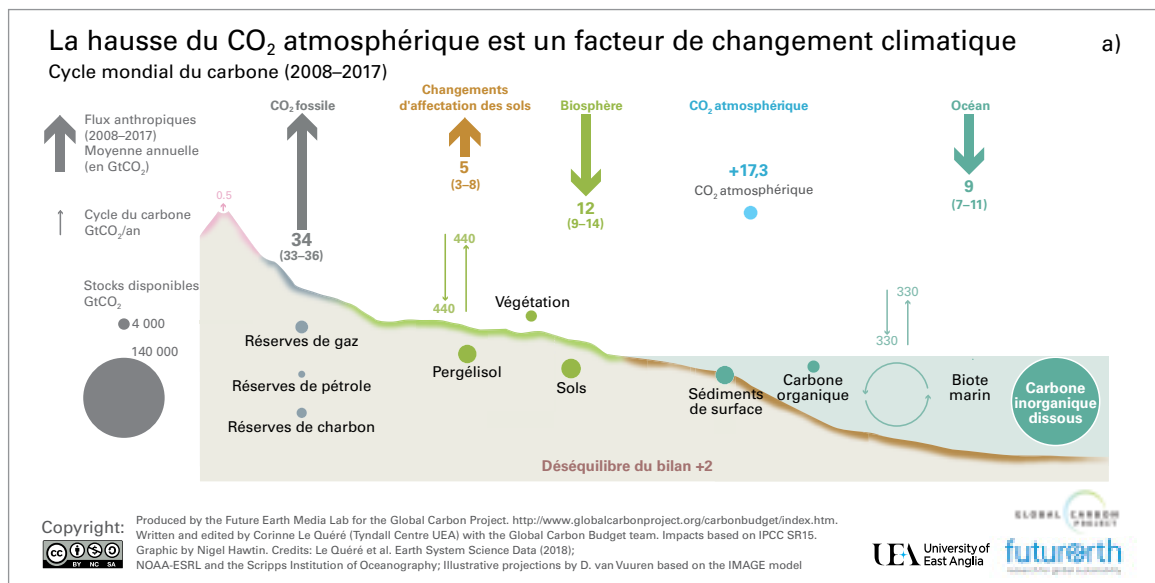
- ¹ Howard, J., A. Sutton-Grier, D. Herr, J. Kleypas, E. Landis, E. Mcleod, E. Pidgeon et S. Simpson, 2017: Clarifying the role of coastal and marine systems in climate mitigation. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(1):42–50, doi:10.1002/fee.1451.
- ² Howard, J., S. Hoyt, K. Isensee, M. Telszewski et E. Pidgeon (éd.), 2014: *Coastal Blue Carbon: Methods for Assessing Carbon Stocks and Emissions Factors in Mangroves, Tidal Salt Marshes, and Seagrasses*. Conservation International, COI-UNESCO, Union internationale pour la conservation de la nature. Arlington, Virginie, État-Unis d'Amérique.
- ³ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2006: *Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre*. (H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara et K. Tanabe, éd.). Élaborées par le Programme sur les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Kanagawa, Japon, IGES.
- ⁴ Giri, C., et al., 2011: Status and distribution of mangrove forests of the world using Earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20:154–59.
- ⁵ Spalding, M., M. Kainuma et L. Collins, 2010: *World Atlas of Mangroves*. Londres et Washington, D.C., Earthscan.
- ⁶ Mcleod, E., G.L. Chmura, S. Bouillon, R. Salm, M. Björk, C.M. Duarte, C.E. Lovelock, W.H. Schlesinger et B.R. Silliman, 2011: A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10):552–560, doi:10.1890/110004.
- ⁷ Duarte, C.M., et al., 2013: The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. *Nature Climate Change*, 3:961–68.
- ⁸ Pendleton, L., et al., 2012: Estimating global “blue carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. *PLoS ONE*, 7(9):e43542.
- ⁹ Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2007: *The World's Mangroves 1980–2005*. FAO Forestry Paper 153. Rome, FAO.
- ¹⁰ Duarte, C.M., J. Borum, F.T. Short et D.I. Walker, 2005: Seagrass ecosystems: their global status and prospects. In: *Aquatic Ecosystems: Trends and Global Prospects* (N.V.C. Polunin, éd.). Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press.
- ¹¹ Bridgman, S. D., J.P. Magonigal, J.K. Keller, N.B. Bliss et C. Trettin, 2006: The carbon balance of North American wetlands. *Wetlands*, 26(4):889–916.
- ¹² Waycott, M., et al., 2009: Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106:12377–12381.
- ¹³ Green, E.P. et F.T. Short (éd.), 2003: *World Atlas of Seagrasses*. Berkeley, University of California Press.

Figure 4

a) Bilan mondial du carbone, en moyenne annuelle, sur la décennie 2008–2017. Les flux sont exprimés en milliards de tonnes de CO₂. Les cercles correspondent aux stocks de carbone, exprimés en milliards de tonnes.

b) Évolution du bilan mondial du carbone entre 1900 et 2017. Les émissions de carbone vont dans l'atmosphère, les puits océaniques et les puits continentaux. Le «déséquilibre» constaté entre les émissions totales et l'ensemble des puits reflète les lacunes des réseaux d'observation, des modèles ou de notre connaissance du cycle du carbone.

Source: *Projet mondial sur le carbone*, <http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/>; Le Quéré, et al., 2018².



CO₂ ont été rejetées dans l'atmosphère, soit un chiffre record.

Les émissions nettes de CO₂ résultant des changements d'affectation des terres et des modifications du couvert végétal se sont chiffrées en moyenne à $5,0 \pm 2,6$ milliards de tonnes par an sur les dix dernières années, les estimations annuelles se caractérisant toutefois par une grande marge d'incertitude. Cumulées, les émissions dues aux changements d'affectation des terres et aux combustibles fossiles ont atteint un niveau estimé à $41,5 \pm 3,0$ milliards de tonnes de CO₂ en 2018.

La persistance de hauts niveaux d'émission a entraîné une forte accumulation de CO₂ dans l'atmosphère, à savoir $2,82 \pm 0,09$ ppm en 2018³. Or ce chiffre ne représente qu'une partie de la quantité totale de CO₂ rejetée dans l'atmosphère, vu qu'environ 55 % des émissions sont absorbées

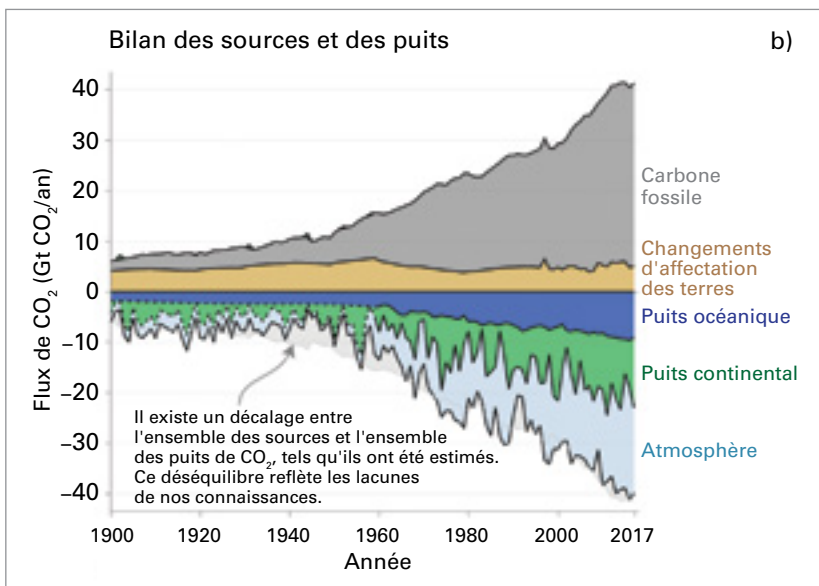
par les puits de CO₂ que sont les océans et la végétation terrestre.

Les puits de CO₂, continentaux ou océaniques, sont répartis sur les deux hémisphères, mais les flux de ce gaz dans les régions tropicales (30 °S–30 °N) ont un bilan carbone proche de zéro, la quantité de dioxyde de carbone absorbée étant largement compensée par les émissions résultant de la déforestation. Dans l'hémisphère austral, ce sont les océans qui éliminent la majeure partie du CO₂ tandis que dans l'hémisphère boréal, les puits de CO₂ sont plus actifs, constitué à parts égales ou presque par les océans et le couvert végétal.

OZONE

Le Protocole de Montréal a tenu ses promesses et il a été mis fin à l'utilisation des halons et des chlorofluorocarbures (CFC). Toutefois, du fait de leur longue durée de vie, ces composés resteront présents dans l'atmosphère pendant de nombreuses décennies. La quantité de chlore et de brome qui subsiste dans l'atmosphère est plus que suffisante pour détruire complètement l'ozone à certaines altitudes au-dessus de l'Antarctique entre août et décembre. Par conséquent, l'évolution de la taille du trou dans la couche d'ozone d'une année à l'autre est largement déterminée par les conditions météorologiques.

En 2018, les températures stratosphériques dans la région du pôle Sud étaient inférieures à la moyenne calculée sur la période 1979–2017.



² Le Quéré et al., 2018: Global carbon budget 2018. *Earth System Science Data*, 10:2141–2194; avec mise à jour des chiffres en mars 2019.

³ NOAA, 2019: *Trends in atmospheric carbon dioxide*, https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gl_gr.html.

Le tourbillon stratosphérique polaire était relativement stable et le flux de chaleur turbulent moins actif que la normale entre le mois de juin et la mi-novembre. Le processus de déperdition d’ozone a démarré relativement tôt en 2018 et s’est maintenu à un niveau supérieur à la normale jusque vers la mi-novembre (figure 5).

Le trou dans la couche d’ozone a atteint sa superficie maximale pour 2018 le 20 septembre – 24,8 millions de km², contre 28,2 millions de km² en 2015 (le 2 octobre) et 29,6 millions de km² en 2006 (le 24 septembre) – selon une analyse de la NASA. Bien que le tourbillon polaire ait été relativement froid et stable, le trou d’ozone a été moins étendu en 2018 que les années où les températures étaient similaires, comme en 2006. C’est là le signe que le processus de destruction de l’ozone commence à réagir à la diminution du chlore stratosphérique résultant de l’application du Protocole de Montréal.

OCÉANS

TEMPÉRATURES DE SURFACE DE LA MER

En 2018, les températures de surface de la mer ont été anormalement élevées dans diverses régions océaniques, notamment dans la majeure partie de l’océan Pacifique à l’exception de la partie orientale du Pacifique tropical et d’une zone située au nord de Hawaï, où les températures étaient inférieures à la normale. Une chaleur inhabituelle a également régné dans l’ouest de l’océan Indien, dans l’Atlantique tropical et au large de la côte est des États-Unis, dans l’Atlantique Nord. Des eaux de surface anormalement froides ont été par ailleurs observées dans une zone située au sud du Groenland, l’une des régions du monde où l’on constate un refroidissement sur le long terme.

En novembre 2017, une vague de chaleur est survenue dans la mer de Tasman, qui a persisté jusqu’en février 2018. Les températures de surface de la mer dans cette zone ont connu une anomalie positive de plus de 2 °C un peu partout et les valeurs quotidiennes ont dépassé la normale de plus de 4 °C à certaines occasions (figure 6). Ces records de chaleur étaient liés aux températures anormalement élevées enregistrées en Nouvelle-Zélande, qui a connu son été et son mois (janvier en l’occurrence) les plus chauds de son histoire depuis qu’il existe des relevés. La période novembre–janvier a été par ailleurs la plus chaude jamais observée en Tasmanie. La chaleur de la mer s’accompagnait d’un fort taux d’humidité, et plusieurs épisodes de précipitations extrêmes ont frappé la Nouvelle-Zélande en février, alors que le pic de la vague de chaleur marine était déjà passé.

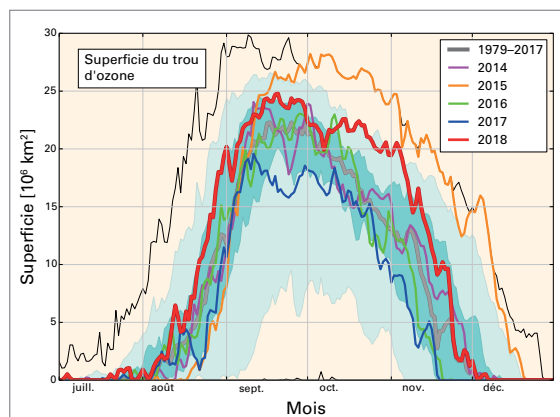


Figure 5. Étendue (en millions de km²) de la surface où la colonne totale d’ozone est inférieure à 220 unités Dobson. Les zones ombrées bleu-vert, l’une sombre et l’autre claire, représentent respectivement les valeurs comprises entre le 30° et le 70° centile, et entre le 10° et le 90° centile pour la période 1979–2017. Le trait fin noir indique les valeurs maximales et minimales quotidiennes pendant la période 1979–2017. Source : d’après les données du site Web Ozone Watch de la NASA (cartographeur et profileur d’ozone (OMPS), instruments de surveillance de l’ozone (OMI) et spectromètre de cartographie de l’ozone total (TOMS)).

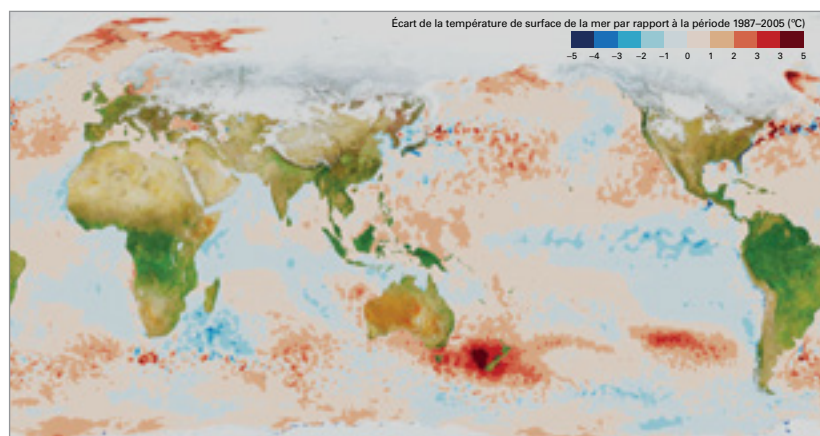
CONTENU THERMIQUE DE L’OCÉAN

Les océans absorbent plus de 90 % de l’énergie piégée par les gaz à effet de serre, et leur contenu thermique traduit directement cette accumulation d’énergie dans les couches marines supérieures. Contrairement aux températures de surface, dont le rythme annuel d’accroissement sur le long terme est généralement inférieur à la variabilité interannuelle causée par El Niño et La Niña, le contenu thermique de l’océan augmente plus régulièrement, et ses fluctuations interannuelles sont moins prononcées (figure 7). Il a d’ailleurs atteint de nouveaux pics en 2018 entre 0 et 700 m de profondeur (relevés remontant à 1955) et entre 0 et 2 000 m (relevés remontant à 2005), pulvérisant les records de 2017.

NIVEAU DE LA MER

Le niveau de la mer est l’un des sept indicateurs clefs du changement climatique mis en évidence par le Système mondial d’observation du climat (SMOC)⁴ et que l’OMM a choisis pour décrire l’état du climat mondial dans le cadre de ses déclarations annuelles. La hausse du niveau de la mer s’est poursuivie à un rythme accéléré (figure 8, graphique de gauche). En 2018, le niveau moyen

Figure 6. Anomalies de la température de surface de la mer le 29 janvier 2018, en moyenne journalière, par rapport à la normale calculée pour la période 1987–2005. Source : Centre Hadley du Service météorologique britannique.



⁴ Indicateurs climatiques mondiaux, <https://gcos.wmo.int/en/global-climate-indicators>.

Désoxygénation de l'océan en haute mer et le long des côtes

IOC Global Ocean Oxygen Network (GO2NE),
Kirsten Isensee¹, Denise Breitburg²,
Marilaure Grégoire³

¹ COI de l'UNESCO, France

² Smithsonian Environment Research Center,
États-Unis d'Amérique

³ Université de Liège, Belgique

Tant les observations que les modèles numériques montrent que l'oxygène diminue en haute mer et dans les eaux côtières, y compris dans les estuaires et les mers semi-fermées. Depuis le milieu du siècle dernier, la teneur en oxygène de l'océan à l'échelle du globe aurait, selon les estimations, baissé de 1 % à 2 % (soit de 2,4–4,8 Pmol ou 77 milliards–145 milliards de tonnes)^{1,2}, alors que dans des centaines de sites situés dans des zones côtières, la teneur en oxygène est telle qu'elle entrave les processus biologiques, voire est fatale à de nombreux organismes. Les régions où cette teneur a toujours été faible s'agrandissent et de nouvelles régions montrent désormais des signes de raréfaction de l'oxygène. On ne connaît pas avec précision l'importance relative des différents mécanismes responsables de cet appauvrissement en oxygène de l'océan à l'échelle du globe, mais il est estimé que le réchauffement climatique contribue directement à cette baisse, car la solubilité de l'oxygène diminue à mesure que l'eau se réchauffe, et indirectement, en raison des variations de la dynamique des océans qui affaiblissent la ventilation de l'océan, processus grâce auquel l'oxygène est amené vers les couches intermédiaires de l'océan. Les simulations effectuées par des modèles pour la fin de ce siècle montrent une baisse de la teneur en oxygène en haute mer, que les scénarios portent sur des émissions élevées ou faibles.

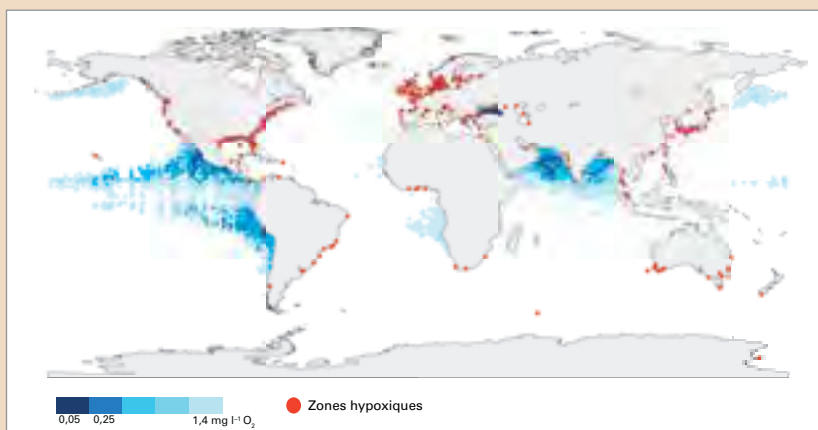
Dans les zones côtières, l'augmentation, depuis les années 1950, des apports en azote et en phosphore provenant des cours d'eau a entraîné l'eutrophisation des masses d'eau dans le monde entier. Cette eutrophisation augmente la consommation d'oxygène et, lorsqu'elle s'accompagne d'une ventilation faible, entraîne une raréfaction de l'oxygène dans les eaux proches de la surface. On s'attend à ce

que le changement climatique amplifie encore la désoxygénation dans les zones côtières. Or ces dernières subissent déjà l'influence des rejets anthropiques de nutriments, de la baisse de la solubilité de l'oxygène, du ralentissement de la ventilation dû à l'intensification et à la prolongation des périodes de stratification saisonnière de la colonne d'eau et, dans les cas où une hausse des précipitations est prévue, de l'augmentation de l'apport en nutriments.

Le volume des régions anoxiques des zones de minimum d'oxygène a augmenté depuis 1960², ce qui a modifié les mécanismes biogéochimiques en ouvrant la voie à des processus qui consomment de l'azote fixé et libèrent des phosphates, du fer, du sulfure d'hydrogène (H₂S) et potentiellement du N₂O (voir figure). En raison de la disponibilité relativement limitée d'éléments essentiels tels que l'azote et le phosphore, ces altérations sont capables de perturber la composition chimique d'équilibre de l'océan. En outre, on ne sait pas dans quelle mesure et comment les boucles de rétroaction positive (remobilisation du phosphore et du fer présents dans les particules sédimentaires, etc.) sont susceptibles d'accélérer le déséquilibre.

La désoxygénation a une influence sur de nombreux aspects des services écosystémiques fournis par les océans et les eaux côtières du monde. Ainsi, elle a de l'effet sur la biodiversité et les réseaux alimentaires et peut freiner la croissance, la reproduction et la survie d'organismes marins. Les changements de répartition spatiale des espèces capturées liés à une raréfaction de l'oxygène peuvent modifier les zones et les pratiques de pêche et diminuer la rentabilité des pêcheries. En outre, en raison de la désoxygénation, il pourra s'avérer encore plus difficile de donner des avis fiables sur la gestion des pêcheries.

Zones de minimum d'oxygène (en bleu) et zones côtières en état d'hypoxie (en rouge) à l'échelle du globe. Les zones hypoxiques côtières représentées ici sont des systèmes dans lesquels des teneurs en oxygène < 2 mg/l ont été relevées et où les nutriments d'origine anthropique sont un facteur important de raréfaction de l'oxygène. Sources: données tirées de la référence 3 et Diaz, J.R., non publié; figure basée sur les références 4, 5 et 6.



¹ Bopp, L., L. Resplandy, J.C. Orr, S.C. Doney, J.P. Dunne, M. Gehlen, P. Halloran, C. Heinze, T. Ilyina et R. Seferian, 2013: Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: projections with CMIP5 models. *Biogeosciences*, 10:6225–6245.

² Schmidtko, S., L. Stramma et M. Visbeck, 2017: Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. *Nature*, 542:335–339.

³ Diaz, R.J. et R. Rosenberg, 2008: Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321:926–929.

⁴ Isensee, K., L.A. Levin, D.L. Breitburg, M. Grégoire, V. Garçon et L. Valdés, 2015: The ocean is losing its breath. *Ocean and Climate*, *Scientific Notes*. http://www.ocean-climate.org/wp-content/uploads/2017/03/ocean-out-breath_07-6.pdf.

⁵ Breitburg, D., M. Grégoire et K. Isensee (éd.), 2018: *The Ocean is Losing Its Breath: Declining Oxygen in the World's Ocean and Coastal Waters*. Global Ocean Oxygen Network. IOC Technical Series No. 137. COI-UNESCO.

⁶ Breitburg, D., et al., 2018: Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *IOC Global Ocean Oxygen Network. Science*, 359(6371):p.eaam7240.

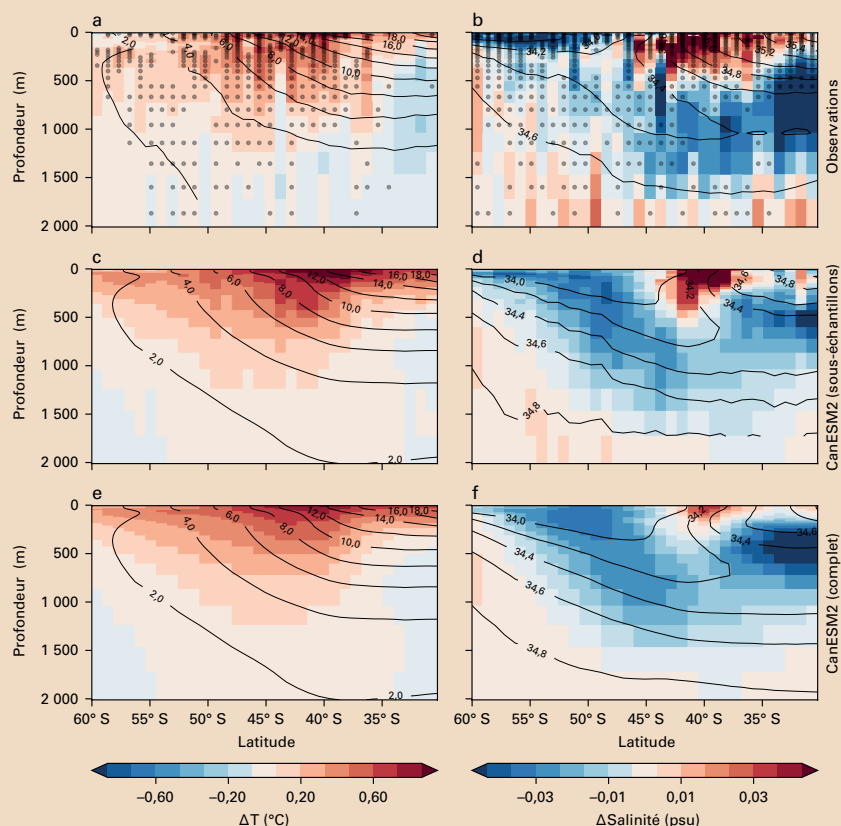
Tendances au réchauffement dans l'océan Austral

Neil Swart,¹ Michael Sparrow²

¹ Environnement Canada

² OMM

C'est dans l'océan Austral que l'élévation de la température océanique est la plus forte, le réchauffement climatique atteignant les couches les plus profondes. On observe néanmoins des différences considérables selon les régions. Au sud du courant circumpolaire antarctique (ACC), on a constaté un retard dans le réchauffement des couches supérieures subpolaires, voire un léger refroidissement ces dernières décennies^{1,2}. Mais au nord de ce courant (de 30° S à 60° S environ), on a relevé un réchauffement rapide de l'océan Austral depuis la surface jusqu'à une profondeur de 2 000 m (voir la figure), à un rythme à peu près équivalent à deux fois celui de l'océan à l'échelle du globe^{3,4,5}. Cette tendance au réchauffement retardé au sud et au réchauffement plus rapide depuis la surface jusqu'à une profondeur intermédiaire au nord est induite par l'advection de la chaleur vers le nord et vers les couches plus profondes entraînée par la circulation méridienne de retournement de l'océan Austral^{1,2}. Ce transfert de chaleur de la surface vers les couches plus profondes fait de l'océan Austral la principale région d'absorption de chaleur due aux activités humaines⁶. En effet, il a été clairement établi que le réchauffement rapide observé au nord du courant circumpolaire antarctique était dû à l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre³. Les changements observés dans les régimes de vent d'ouest et le phénomène, anormal, de transfert des eaux froides (transport d'Ekman) vers le nord qui en résulte, stimulés par la diminution de l'ozone stratosphérique, peuvent également contribuer à ce refroidissement en surface subpolaire^{7,8} et au réchauffement au nord³. Enfin, les couches profondes (> 2 000 m) et les régions abyssales (> 4 000 m) de l'océan Austral se réchauffent à une vitesse nettement plus élevée que la moyenne à l'échelle du globe^{9,10}. Ce phénomène pourrait être lié à des changements au niveau du rythme de formation des eaux de fond dans l'Antarctique et à une modification de la branche inférieure de la circulation méridienne de retournement.



⁴ Gille, S.T., 2002: Warming of the Southern Ocean since the 1950s. *Science*, 295(5558):1275–1277, DOI: 10.1126/science.1065863.

⁵ Gille, S.T., 2008: Decadal-scale temperature trends in the southern hemisphere ocean. *Journal of Climate*, 21:4749–4765, <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2131.1>.

⁶ Roemmich, D., J. Church, J. Gilson, D. Monselesan, P. Sutton et S. Wijffels, 2015: Unabated planetary warming and its ocean structure since 2006. *Nature Climate Change*, 5(3):240–245.

⁷ Kostov, Y., D. Ferreira, K.C. Armour et J. Marshall, 2018: Contributions of greenhouse gas forcing and the southern annular mode to historical southern ocean surface temperature trends. *Geophysical Research Letters*, 45:1086–1097, <https://doi.org/10.1002/2017GL074964>.

⁸ Ferreira, D., J. Marshall, C.M. Bitz, S. Solomon et A. Plumb, 2015: Antarctic ocean and sea ice response to ozone depletion: A two-time-scale problem. *Journal of Climate*, 28:1206–1226, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00313.1>.

⁹ Desbruyères, D.G., S.G. Purkey, E.L. McDonagh, G.C. Johnson et B.A. King, 2016: Deep and abyssal ocean warming from 35 years of repeat hydrography. *Geophysical Research Letters*, 43:10356–10365.

¹⁰ Purkey, S.G. et G.C. Johnson, 2010: Warming of global abyssal and deep southern ocean waters between the 1990s and 2000s: Contributions to global heat and sea level rise budgets. *Journal of Climate*, 23:6336–6351, <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3682.1>.

Écart entre la moyenne calculée pour la période 2006–2015 et celle de la période 1950–1980: température (à gauche) et salinité (à droite). Les graphiques du haut (a, b) sont fondés sur des observations et ceux du bas, sur des modèles, divisés en sous-échantillons pour correspondre aux observations (c, d) et sur un forçage avec la moyenne d'ensemble pour l'échantillon complet (e, f). Les variations observées sont principalement dues à la hausse des gaz à effet de serre. Source: référence 3.

¹ Sallée, J.B., 2018: Southern ocean warming. *Oceanography*, 31(2):52–62, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2018.215>.

² Armour, K.C., J. Marshall, J.R. Scott, A. Donohoe et E.R. Newson, 2016: Southern Ocean warming delayed by circumpolar upwelling and equatorward transport. *Nature Geoscience*, 9:549–554, <https://doi.org/10.1038/ngeo2731>.

³ Swart, N.C., S.T. Gille, J.C. Fyfe et N.P. Gillett, 2018: Recent southern ocean warming and freshening driven by greenhouse gas emissions and ozone depletion. *Nature Geoscience*, 11:836–842, <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0226-1>.

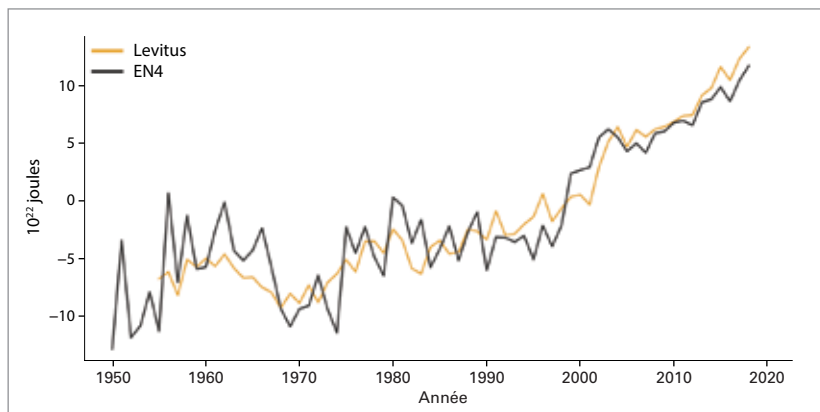


Figure 7. Variation du contenu thermique de l'océan à l'échelle du globe ($\times 10^{22}$ J) dans la couche 0–700 m par rapport à la normale de la période 1981–2010. Les courbes correspondent aux moyennes annuelles résultant de l'analyse Levitus des NCEI de la NOAA, et de l'analyse EN4 du Centre Hadley du Service météorologique britannique. *Source: Centre Hadley du Service météorologique britannique, d'après les données des NCEI de la NOAA.*

de la mer dépassait de quelque 3,7 mm celui de 2017 et c'était le plus haut jamais constaté. Entre janvier 1993 et décembre 2018, le rythme annuel moyen d'élévation du niveau de la mer était de $3,15 \pm 0,3$ mm, l'accélération étant estimée à $0,1 \text{ mm/an}^2$. Le rythme accru de perte de masse glaciaire des inlandsis est la cause principale de l'accélération de la hausse du niveau moyen de la mer, ainsi qu'il ressort des données altimétriques transmises par satellite (Programme mondial de recherche sur le climat, Groupe sur le bilan du niveau de la mer, 2018)⁵.

On est mieux à même, en déterminant le bilan du niveau de la mer, de comprendre et de quantifier les causes de l'élévation du niveau de la mer. Le bilan est clos lorsque l'évolution du niveau moyen de la mer mise en évidence par l'altimétrie satellitaire correspond à la somme des contributions dues à l'expansion thermique et à l'évolution de la masse océanique (d'après les données *in situ* de température et de salinité recueillies depuis 2005 entre 0 et 2 000 m de profondeur dans le cadre du projet international Argo). On peut déterminer l'évolution de la masse océanique en

recourant à la gravimétrie satellitaire (expérience GRACE, depuis 2002) ou bien en faisant la somme des contributions apportées par les glaciers, les nappes glaciaires et le stockage d'eau terrestre (figure 8, graphique de droite). Si l'on ne parvient pas à clore le bilan, cela signifie que l'évaluation de certaines des contributions est inexacte ou qu'il existe des éléments dont la contribution n'est pas prise en compte.

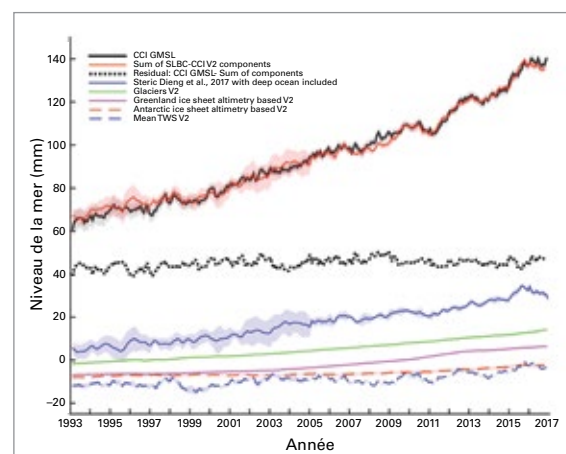
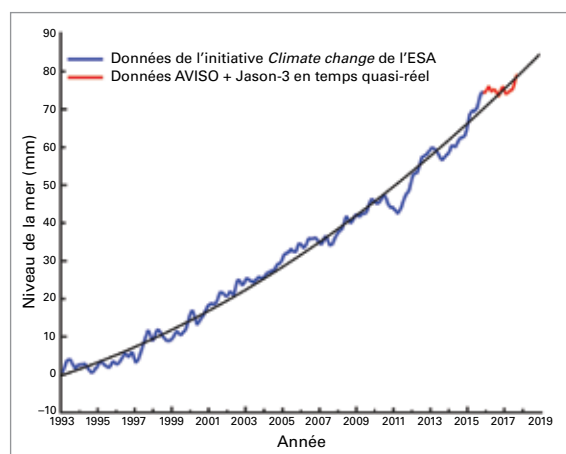
ACIDIFICATION DES OCÉANS

Ces dix dernières années, les océans ont absorbé environ 30 % des émissions anthropiques de CO_2 . Le CO_2 absorbé réagit avec l'eau de mer et modifie le pH de l'océan. Ce processus d'acidification est combiné à une modification de la chimie des carbonates marins qui peut influencer sur l'aptitude des organismes marins, comme les mollusques et les coraux constructeurs de récifs, à fabriquer et maintenir de la coquille et du squelette. Il est donc d'autant plus nécessaire de décrire parfaitement les modifications qui interviennent dans la chimie des carbonates marins. Les observations faites en haute mer ces 30 dernières années ont clairement mis en évidence la diminution du pH (figure 9). Dans son cinquième Rapport d'évaluation, le GIEC fait état d'une diminution de 0,1 unité du pH de l'océan en surface depuis le début de la révolution industrielle (1750). À proximité des côtes toutefois, le signal est moins clair, car l'environnement y est très dynamique sous l'influence de nombreux facteurs comme les variations de température, les ruissellements d'eau douce, l'apport d'éléments nutritifs, l'activité biologique et les grandes oscillations océaniques, qui ont un impact sur les niveaux de CO_2 . Pour décrire la variabilité de l'acidification des océans et recenser les facteurs déterminants et leurs incidences, il est primordial de pouvoir disposer de données d'observation à haute résolution spatiotemporelle.

Comme l'annonçaient déjà un certain nombre de rapports et de projections concernant l'acidification des océans, le pH de l'océan mondial

Figure 8. À gauche: évolution du niveau moyen de la mer entre 1993 et 2018, déterminée par altimétrie satellitaire. La fine ligne noire est une fonction quadratique qui représente l'accélération. À droite: contribution des différents facteurs à l'élévation du niveau moyen de la mer entre 1993 et 2016. Les zones ombrées entourant les courbes rouge et bleue représentent la marge d'incertitude. *Source: Initiative sur le changement climatique relevant de l'Agence spatiale européenne.*

⁵ Groupe sur le bilan du niveau de la mer relevant du Programme mondial de recherche sur le climat, 2018: Global sea-level budget 1993–present. *Earth Systems Science Data*, 10:1551–1590.



continue de baisser. Des données complémentaires recueillies par des stations récemment établies en Nouvelle-Zélande révèlent des tendances similaires et viennent combler d'importantes lacunes du réseau d'observation de l'acidification de l'océan dans l'hémisphère Sud. Les données exploitables sont encore rares, mais la nouvelle méthodologie adoptée pour l'indicateur 14.3.1 «Acidité moyenne des mers (pH) mesurée à plusieurs points de prélèvement représentatifs» de l'Objectif de développement durable 14 devrait déboucher sur l'expansion du réseau d'observation de l'acidification des océans à l'échelle du globe.

CRYOSPHERE

Composante du système terrestre, la cryosphère englobe les précipitations solides, le manteau neigeux, les glaces de mer, de lac et de rivière, les glaciers et les calottes glaciaires, les inlandsis et les sols gelés de façon permanente ou saisonnière. Bien qu'elle livre de précieuses informations sur le changement climatique, c'est l'une des moins explorées des composantes du système terrestre. Dans l'idéal, ce seraient au moins 30 propriétés de la cryosphère qu'il conviendrait de mesurer. Beaucoup d'entre elles se mesurent en surface, mais le réseau d'observation est généralement

peu dense. Certaines propriétés sont mesurées par satellite depuis de nombreuses années et d'autres sont en voie de l'être. Les principaux indicateurs cryosphériques de l'état du climat mondial sont les glaces de mer, les glaciers et l'inlandsis groenlandais. Le manteau neigeux fait aussi partie des critères d'évaluation abordés dans la présente section.

GLACES DE MER

L'étendue de la banquise arctique a été bien inférieure à la normale tout au long de 2018, affichant des records à la baisse en janvier et février. Le maximum annuel a été observé à la mi-mars et la superficie moyenne pour ce mois était de 14,48 millions de km², soit environ 7 % de moins que la normale de la période 1981–2010. Cette moyenne de mars figure au troisième rang des plus faibles qui aient été constatées depuis 1979, lorsqu'ont débuté les observations par satellite, d'après les données du NSIDC et du service Copernicus de surveillance du changement climatique (C3S). Seules les moyennes calculées pour mars 2016 et mars 2017 étaient inférieures.

L'étendue de la banquise s'est maintenue ensuite en dessous de la normale, se classant au deuxième rang des plus faibles jusqu'à la fin du mois de mai puis parmi les dix plus faibles jusqu'à la

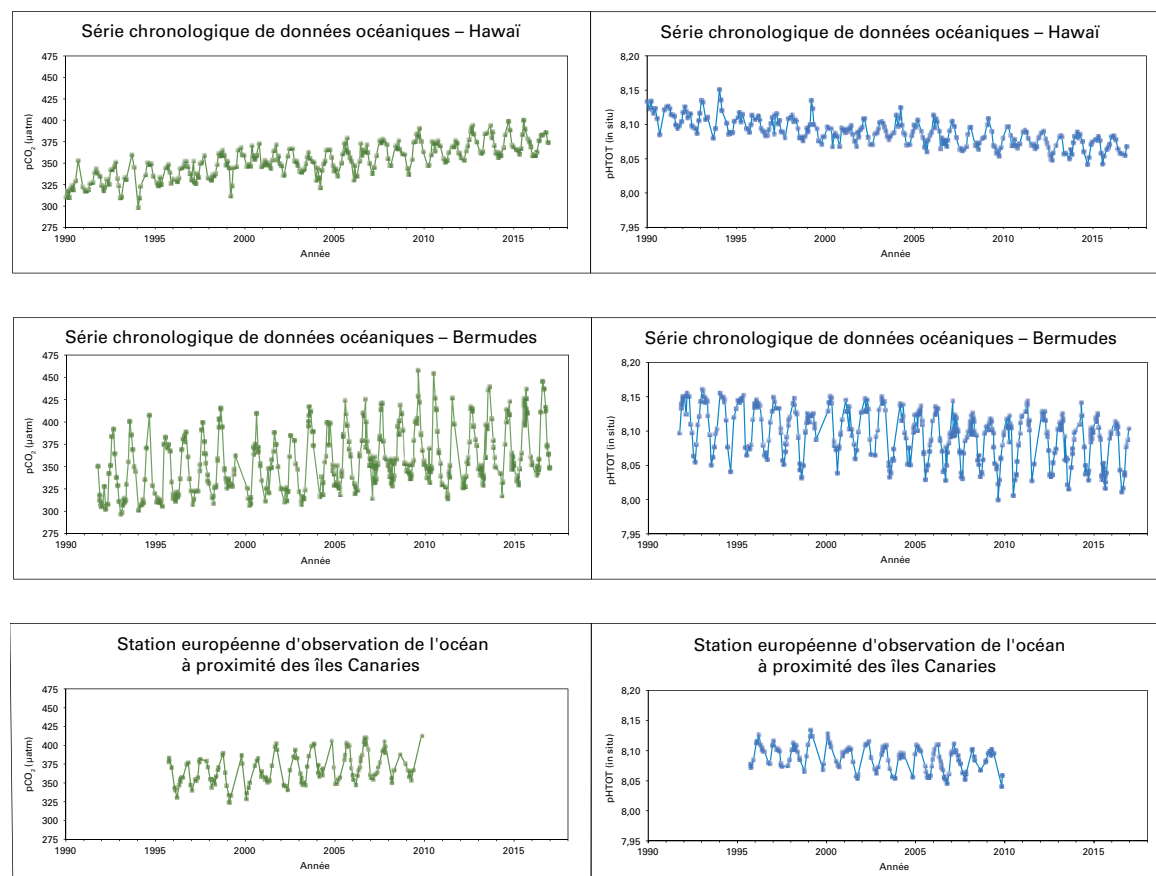


Figure 9. Données sur le pCO₂ et le pH recueillies par trois stations d'observation de l'océan sur de longues périodes. En haut: série chronologique de Hawaï pour l'océan Pacifique. Au milieu: série chronologique des Bermudes pour l'océan Atlantique. En bas: Station européenne d'observation de l'océan à proximité des îles Canaries. *Source: Richard Feely (Laboratoire sur le milieu marin de l'océan Pacifique relevant de la NOAA) et Marine Lebre (Centre de coordination de l'action internationale relative à l'acidification des océans de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA)).*

fin du mois d'août. Comme en 2017, un puissant système de basses pressions bien campé sur l'Arctique a contribué à limiter la perte de glace et à maintenir les températures en dessous de la normale, en particulier à la fin de l'été. L'étendue de la banquise arctique a atteint son minimum à la mi-septembre, et la moyenne pour ce mois – 5,45 millions de km², soit 28 % environ de moins que la normale – se classe au sixième rang des plus faibles jamais observées pour un mois de septembre (figure 10, à gauche). Les 12 moyennes de septembre les plus faibles sont toutes postérieures à 2006. La banquise était particulièrement réduite dans la mer de Sibérie orientale, le nord de la mer des Laptev et le nord de la mer des Tchouktches. En revanche, elle était proche de la normale ou supérieure à la normale dans l'est de la mer de Beaufort et le nord des mers de Kara et de Barents.

Après le minimum de septembre, la banquise s'est remise à croître à un rythme inférieur à la normale jusqu'à la mi-octobre, puis à un rythme accéléré jusqu'à la fin du mois de novembre. En décembre, l'expansion de la banquise avait à nouveau ralenti, et à la fin de 2018 l'étendue des glaces de mer, en moyenne journalière, était proche des plus faibles jamais observées.

L'étendue de la banquise antarctique a été elle aussi bien inférieure à la normale tout au long de 2018. La valeur moyenne de janvier se classait au deuxième rang des plus faibles et celle de février au premier rang. Le minimum saisonnier a été enregistré fin février, la moyenne pour ce mois s'établissant à 2,28 millions de km², soit 33 % de moins que la normale. Ce chiffre est classé au premier rang des plus faibles dans le jeu de données du C3S et au deuxième rang dans celui du NSIDC. La banquise de fin d'été en Antarctique accuse une grande variabilité depuis plusieurs années, le maximum record pour cette

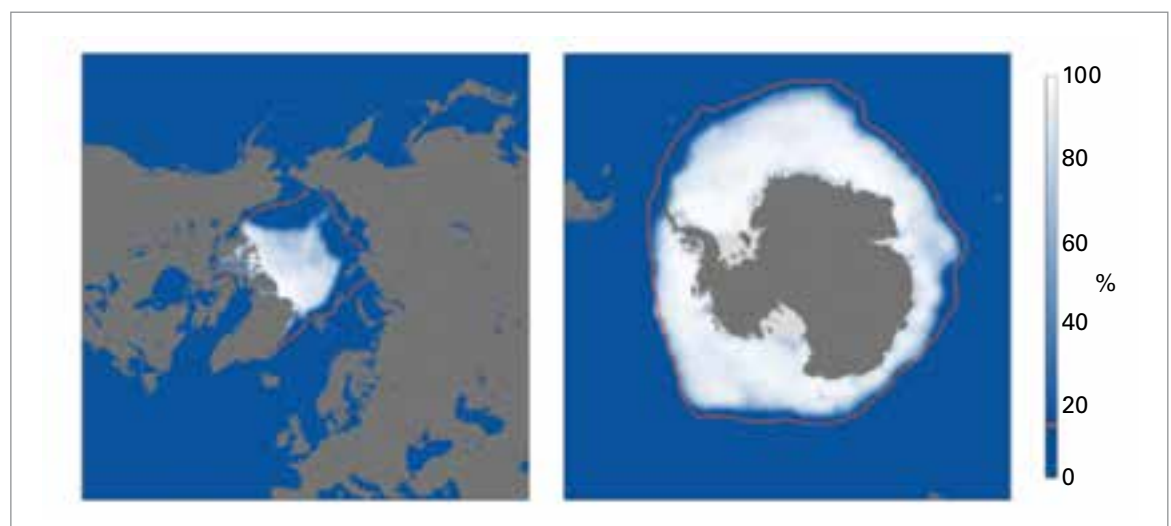
période ne datant que de 2008. Sur la période février-août, chaque valeur mensuelle figurait parmi les dix plus faibles jamais observées pour le mois en question.

L'étendue de la banquise antarctique a atteint son maximum saisonnier à la fin du mois de septembre et au début du mois d'octobre. La moyenne pour septembre était de 17,82 millions de km², soit 4 % de moins que la normale. Il s'agit de la deuxième étendue la plus faible selon le jeu de données du C3S et la cinquième la plus faible d'après les données du NSIDC (figure 10, à droite). L'étendue des glaces de mer s'est avérée inférieure à la normale par endroits dans le nord de la mer de Weddell et le sud de l'océan Indien. Après son pic du début du printemps, l'étendue de la banquise antarctique a diminué rapidement, chaque valeur mensuelle, jusqu'à la fin de l'année, se classant parmi les cinq plus faibles jamais constatées. Sur les derniers jours de 2018, elle a atteint un minimum record en moyenne journalière.

GROENLAND

L'inlandsis groenlandais accuse une perte de masse glaciaire presque chaque année depuis 20 ans. Le bilan de masse en surface, qui constitue une estimation préliminaire des changements intervenant à la surface de l'inlandsis, prend en compte l'apport de glace résultant notamment des précipitations et la perte de glace résultant de facteurs comme le ruissellement des eaux de fonte, l'évaporation et l'ablation par le vent. Pour calculer le bilan massique de la glace, il faut aussi tenir compte des pertes résultant de l'écoulement de la glace et du vélage d'icebergs dans l'océan. Or celles-ci ne sont pas comptabilisées dans le bilan de masse en surface, qui affiche de ce fait des valeurs plus élevées que ce qui correspondrait au changement de masse total observé en définitive.

Figure 10. Concentration (en %) des glaces de mer en septembre 2018, d'après l'analyse du C3S (dégradé en bleu et blanc). La ligne rose correspond à la position moyenne de la lisière des glaces pour la période 1981–2010. Source: données (ERA-Interim) du service Copernicus de surveillance du changement climatique relevant du CEPMMT.



Bilan de masse de l'inlandsis antarctique

Eric Rignot¹, Michael Sparrow²

¹ Université de Californie et *Jet Propulsion Laboratory*, Institut de technologie de Californie

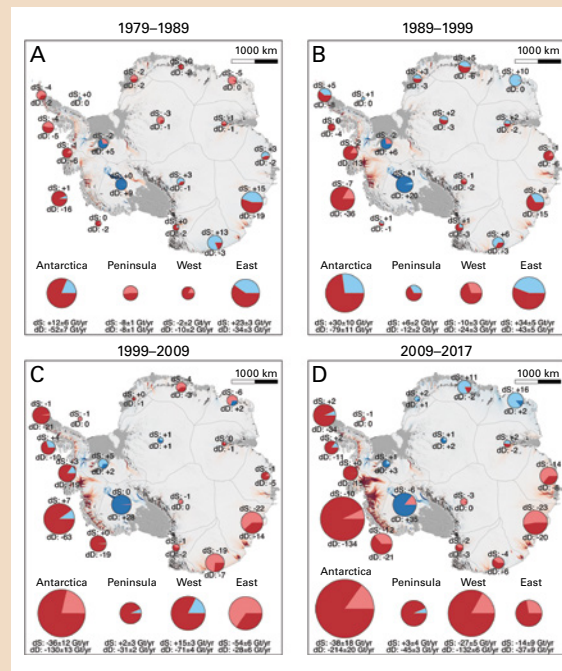
² OMM

L'Antarctique renferme un volume de glace qui représente 57,2 m en équivalent niveau de la mer¹. Sa production annuelle nette de masse glaciaire imputable aux chutes de neige est de 2 100 Gt, barrières de glace non comprises, ce qui équivaut à une fluctuation de 5,8 mm du niveau moyen de la mer². Dans un état d'équilibre de la masse glaciaire, l'accumulation de neige à l'intérieur des terres compenserait l'ablation en surface (par le vent et par sublimation) et le déversement de glace en périphérie dans l'océan Austral. Près de la moitié des glaces continentales qui passent la ligne d'échouage pour former des barrières de glace flottante fond au contact de l'océan, tandis que l'autre moitié se brise et se détache pour former des icebergs^{3, 4}.

Des observations récentes ont révélé que l'inlandsis perdait de sa masse le long de sa périphérie à cause de l'écoulement de ses glaciers à un rythme qui ne cesse de s'accroître, alors qu'à l'intérieur, l'accumulation de neige sur le long terme reste stable. Des chercheurs⁵ ont récemment évalué le bilan de masse de l'inlandsis antarctique sur les 40 dernières années en utilisant des observations satellitaires précises et exhaustives ainsi que les produits d'un modèle atmosphérique régional du climat, afin de mettre en évidence son incidence sur l'élévation du niveau de la mer. La perte de masse est causée avant tout par l'écoulement accéléré des glaciers dans les zones les plus proches des eaux profondes circumpolaires, chaudes et salées, notamment dans l'Antarctique orientale, où la perte de masse glaciaire a été particulièrement importante durant toute la période. Il est probable que ces mêmes régions apporteront la principale contribution de l'Antarctique à l'élévation du niveau de la mer dans les décennies à venir à la faveur du renforcement des vents d'ouest polaires, qui pousseront de plus en plus les eaux profondes circumpolaires vers les glaciers.

La perte totale de masse de l'inlandsis antarctique est passée de 40 ± 9 Gt/an dans les années 1979–1989 à 50 ± 14 Gt/an sur la période 1989–1999, 166 ± 18 Gt/an sur la période 1999–2009 et 252 ± 26 Gt/an sur la période 2009–2017, c'est-à-dire qu'elle a été multipliée par six (voir la figure).

L'évolution des glaciers et des barrières de glace cadre avec le renforcement des vents d'ouest qui est provoqué par la hausse des concentrations de gaz à effet de serre et par la déperdition d'ozone et qui pousse une plus grande quantité d'eau profonde circumpolaire sur le plateau continental. Cette intrusion accrue d'eau profonde



Bilan de masse glaciaire de l'Antarctique sur quatre périodes: a) 1979–1989, b) 1989–1999, c) 1999–2009 et d) 2009–2017. La taille du cercle est proportionnelle à l'amplitude de l'anomalie, en valeur absolue, et les couleurs varient du rouge (perte de masse) au bleu (gain de masse). Source: référence 5.

circumpolaire étant la cause principale de la perte de masse glaciaire dans l'échancrure de la mer d'Amundsen et l'ouest de la péninsule Antarctique, Rignot *et al* donnent à entendre qu'on assiste au même scénario dans la région de la terre de Wilkes, pour laquelle il serait hautement nécessaire de disposer de nouvelles données océanographiques sur le long terme. Le bilan de masse glaciaire, tel qu'il est évalué par ces scientifiques, compte tenu également des résultats d'études antérieures, laisse supposer que le secteur situé entre la plate-forme de Cook, le glacier Ninnis et la barrière ouest pourrait être exposé à des intrusions d'eau profonde circumpolaire, ce qui pourrait entraîner une hausse de plusieurs mètres du niveau de la mer si le changement climatique devait se poursuivre au même rythme.

¹ Fretwell, P., *et al.*, 2013: Bedmap2: improved ice bed, surface and thickness datasets for Antarctica. *Cryosphere*, 7:375–393.

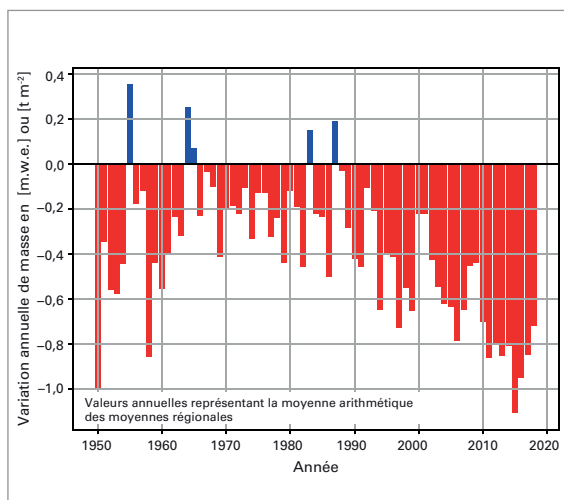
² van Wessem, J.M., *et al.*, 2018: Modelling the climate and surface mass balance of polar ice sheets using RACMO2 – Part 2: Antarctica (1979–2016). *Cryosphere*, 12:1479–1498.

³ Rignot, E., S. Jacobs, J. Mouginot et B. Scheuchl, 2013: Ice-shelf melting around Antarctica. *Science*, 341:266–270.

⁴ Liu, Y., J.C. Moore, X. Cheng, R.M. Gladstone, J.N. Bassis, H.-X. Liu, J.-H. Wen et F.-M. Hui, 2015: Ocean-driven thinning enhances iceberg calving and retreat of Antarctic ice shelves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112:3263–3268.

⁵ Rignot, E., J. Mouginot, B. Scheuchl, M. van den Broeke, M.J. van Wessem et M. Morlighem, 2019: Four decades of Antarctic ice sheet mass balance from 1979–2017. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(4):1095–1103, <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1812883116>.

Figure 11. Bilan de masse annuel de glaciers de référence pour lesquels on dispose de plus de 30 ans de mesures glaciologiques ininterrompues. Les variations annuelles de masse sont exprimées en mètres d'équivalent en eau (m.w.e.)/tonnes par m² (t m⁻²). Source: Service mondial de surveillance des glaciers (2017, rapport actualisé et rapports précédents), <https://wgms.ch/faqs/>.



En 2018, comme en 2017, le bilan de masse en surface a accusé une hausse en raison de chutes de neige plus abondantes que la normale, en particulier sur la partie orientale du Groenland, et d'une saison de fonte proche de la normale. Malgré un été frais et neigeux, trois épisodes de fonte en surface se sont produits en juillet et août, qui ont touché à chaque fois plus de 30 % de la surface de l'inlandsis. Un excédent de quelque 150 gigatonnes de masse glaciaire par rapport à la normale de la période 1981–2010 est venu s'ajouter à l'inlandsis, soit la sixième valeur la plus haute qui ait été constatée depuis le début des relevés, en 1960. C'est le gain net de masse le plus élevé qu'ait enregistré le bilan de masse en surface depuis 1996, et le Groenland n'avait pas connu de chutes de neige aussi abondantes depuis 1972. Cette augmentation globale du bilan de masse en surface ne représente toutefois qu'une petite exception dans la tendance générale constatée depuis deux décennies, l'inlandsis du Groenland ayant perdu environ 3 600 gigatonnes de glace depuis 2002. Une étude récente a porté sur des carottes de glace prélevées au Groenland, qui nous renseignent sur les épisodes de fonte survenus entre aujourd'hui et le milieu du XVI^e siècle. Il s'avère que la nappe glaciaire du Groenland n'avait pas connu d'épisodes de fonte d'une telle intensité depuis au moins 500 ans.

GLACIERS

Le Service mondial de surveillance des glaciers suit de près le bilan de masse de ces derniers en s'appuyant sur un ensemble de glaciers de référence, répartis dans 19 régions montagneuses du monde, pour lesquels on dispose de plus de 30 ans de données d'observation sur la période 1950–2018. D'après les résultats préliminaires disponibles pour 2018, qui concernent une partie de ces glaciers de référence, l'année hydrologique 2017/18, qui se caractérise par un bilan de masse de $-0,7$ m d'équivalent en eau (figure 11), est la 31^e année consécutive affichant un bilan de masse

négatif. La perte totale de glace enregistrée depuis 1970 équivaut à 21,1 m d'équivalent en eau⁶.

La canicule qui a frappé certaines régions d'Europe, où des records de chaleur ont été enregistrés par endroits, a causé d'énormes pertes de glace pour un grand nombre de glaciers alpins. Les abondantes chutes de neige de l'hiver 2017/18 ont protégé en partie les glaciers de la chaleur estivale, et en avril/mai, des épaisseurs de neige record ont été mesurées sur de nombreux glaciers suisses. Très peu de neige est tombée cependant durant les mois d'été en Suisse, qui a connu le troisième été le plus chaud de son histoire et où les glaciers ont perdu en moyenne 1,5 à 2 mètres d'épaisseur de glace. Selon la Commission d'experts pour la cryosphère de l'Académie suisse des sciences naturelles, les glaciers suisses ont perdu un cinquième de leur volume ces dix dernières années.

MANTEAU NEIGEUX

En 2018, l'étendue moyenne du manteau neigeux dans l'hémisphère Nord était de 25,64 millions de km², soit 0,77 million de km² de plus que la moyenne des années 1981 à 2010, ce qui la classe au treizième rang des plus importantes, en moyenne annuelle, qui aient été enregistrées depuis novembre 1966, lorsqu'ont débuté les observations par satellite, et juste derrière celle de 2017. La plupart des valeurs mensuelles ont été elles aussi supérieures à la normale, sauf à la fin du printemps et en été, où elles accusaient des anomalies négatives. Les anomalies de l'étendue du manteau neigeux à l'échelle continentale étaient généralement plus marquées en Amérique du Nord qu'en Eurasie.

Il n'existe pas de statistiques comparables pour l'hémisphère Sud où, à l'exception de l'Antarctique, la neige est généralement cantonnée aux régions de haute montagne. Dans les hautes terres de la Nouvelle-Galles du Sud et dans certaines régions de l'État de Victoria, en Australie, la saison hivernale a démarré plus tôt que les années précédentes, d'abondantes chutes de neige survenant dès la mi-juin. À Spencers Creek, en Nouvelle-Galles du Sud, un cumul de 73,6 cm de neige a été relevé sur cinq jours en juin, soit la plus grande épaisseur de neige qui ait été constatée si tôt dans la saison depuis 2000. La région a connu pendant le reste de la saison d'hiver de nombreux fronts froids et des températures inférieures à la normale, la neige continuant de s'accumuler à un rythme régulier. Les chutes de

⁶ Cela représente la hauteur de la lame d'eau que l'on obtiendrait en répartissant de façon uniforme sur la surface des zones glaciaires l'eau résultant de la perte totale de neige et de glace survenue ces 48 dernières années. Ce serait une colonne d'eau de 21,1 m de hauteur au-dessus de chaque m² de glacier.

neige se sont poursuivies sur les plus hautes terres de la Nouvelle-Galles du Sud, l'épaisseur de neige culminant à 224,6 cm à Spencers Creek à la fin du mois d'août, soit un peu moins que le pic de 240,9 cm observé en septembre 2017 mais plus que la normale qui est de 190 cm, s'agissant de l'épaisseur de neige maximale.

FACTEURS DE VARIABILITÉ INTERANNUELLE

L'étude des données d'archives relatives à la pression et à la température de surface de la mer permet d'identifier certains régimes dominants et récurrents, appelés souvent «modes» de variabilité, qui exercent leur influence sur de vastes régions du globe aux échelles saisonnières à interannuelles, voire sur de plus longues périodes.

Le phénomène El Niño/Oscillation australe (ENSO) est l'un des principaux facteurs de variabilité interannuelle du climat, qui a des répercussions sur les conditions météorologiques à l'échelle du globe ainsi que sur la température moyenne. L'océan Pacifique exerce aussi une influence sur le reste du globe sur de plus longues périodes via l'oscillation décennale du Pacifique (ODP). Quant au dipôle de l'océan Indien, qui est lié aux variations du gradient de température de surface de la mer dans cet océan, il a une incidence sur les conditions météorologiques observées à l'échelle du bassin ainsi que sur la mousson d'Asie. Dans l'Atlantique Nord, la lente évolution des températures de surface de la mer, désignée sous le nom d'oscillation atlantique multidécadale (OAM), a un effet sur le climat à l'échelle du bassin, en particulier sur la genèse des ouragans. L'oscillation arctique et l'oscillation nord-atlantique sont deux modes de variabilité de la circulation atmosphérique aux moyennes et hautes latitudes de l'hémisphère Nord qui sont étroitement corrélés. En phase positive, ces oscillations se traduisent par un renforcement de la circulation d'ouest aux latitudes moyennes, alors qu'en phase négative, celle-ci s'affaiblit. Les variations de l'oscillation arctique et de l'oscillation nord-atlantique s'observent à toutes les échelles temporelles, que ce soit sur quelques jours ou sur plusieurs décennies. Dans l'hémisphère austral, on en trouve le pendant qui est l'oscillation antarctique, souvent appelée «mode annulaire austral» (SAM).

Le début de l'année 2018 a été marqué par un épisode La Niña de faible intensité, qui s'est traduit par un refroidissement des eaux de surface dans le Pacifique tropical. Le phénomène a persisté jusqu'en mars, les températures retrouvant alors des valeurs proches de la normale. Vers la fin de l'année, les eaux de surface dans l'est du Pacifique tropical se sont réchauffées, ce qui semblait dénoter le retour d'un épisode El Niño.

Les conditions atmosphériques n'étaient cependant pas celles que l'on associe en général au Niño, et les manifestations d'un épisode El Niño bien installé – affaiblissement des alizés sur l'océan Pacifique, augmentation de la nébulosité à proximité de la ligne de changement de date, diminution du gradient de pression au-dessus du Pacifique, etc. – étaient absentes. Bien que La Niña ait eu une incidence – limitée – sur les moyennes annuelles des températures dans le Pacifique, on n'a pas véritablement observé, en 2018, des régimes de précipitations caractéristiques de la variabilité ENSO, qu'il s'agisse de La Niña ou d'El Niño (voir la section sur les précipitations).

Depuis la fin des années 1990 et jusqu'aux alentours de 2014, l'oscillation décennale du Pacifique était dans une phase le plus souvent négative. Cet état de fait a été avancé pour expliquer le ralentissement temporaire du rythme de réchauffement en surface, alors que la chaleur continuait de s'accumuler sans relâche dans les océans. L'oscillation décennale du Pacifique a été positive tout au long des années 2015 et 2016, tandis qu'en 2018 elle était de nouveau le plus souvent négative. Sur de courtes périodes, il est difficile de faire la part entre les effets d'ENSO et ceux de l'oscillation décennale du Pacifique.

Le plus souvent en phase négative pendant le premier semestre de 2018, le dipôle de l'océan Indien est resté en phase positive de septembre à décembre. Or, lorsque ce dipôle est positif durant le printemps austral, le temps est plus sec dans le centre et le sud de l'Australie.

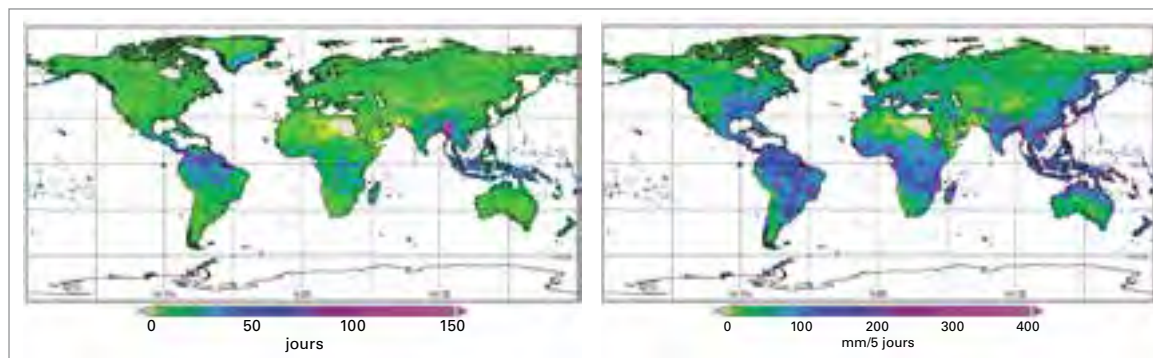
En 2018, les valeurs mensuelles de l'oscillation nord-atlantique étaient largement positives, sauf en mars et en novembre. En hiver, un indice positif se traduit généralement par un temps doux et humide en Europe septentrionale et un temps sec et plus frais plus au sud, alors qu'un indice négatif est souvent associé à un temps plus sec et plus froid dans le nord de l'Europe. En mars, une vague de froid a balayé le Royaume-Uni et l'Europe du Nord, s'étendant jusqu'en Asie, alors que plus au sud les températures étaient supérieures à la normale. De la fin du mois d'octobre jusqu'au mois de décembre, le mode annulaire austral est resté en phase positive: à cette période de l'année, cela accroît la probabilité de précipitations supérieures à la normale dans certaines régions de l'est de l'Australie.

PRÉCIPITATIONS

Bien que des conditions caractéristiques d'un épisode La Niña de faible intensité aient été observées au début de l'année 2018, puis qu'elles soient devenues neutres par la suite, leurs effets habituels sur les précipitations ne se sont pas fait ressentir. Ainsi, plusieurs inondations se sont

Figure 12.

À gauche: nombre de jours de pluie consécutifs en 2018. À droite: valeur maximale des précipitations sur 5 jours en 2018. Source: Centre mondial de climatologie des précipitations, Service météorologique allemand (DWD).



produites en Californie, ce qui est exceptionnel lors d'épisodes La Niña.

Contrairement à d'autres grandes variables climatiques, il n'existe pas d'indicateur unique qui permette de faire une synthèse utile de l'évolution des précipitations à l'échelle du globe. De fait, certains effets que le changement climatique devrait, selon les prévisions, avoir sur les précipitations concernent la fréquence et l'intensité de ces dernières, mais de simples moyennes mensuelles ou annuelles ne suffisent pas à les refléter. Un certain nombre d'indices ont donc été mis au point pour apporter ces informations supplémentaires. L'un de ces indicateurs est le «nombre de jours de pluie consécutifs», qui correspond au nombre le plus élevé de journées pluvieuses consécutives enregistré pendant une période donnée (figure 12). Un autre est l'indice «RX5», qui correspond à la valeur maximale des précipitations sur 5 jours.

On observe le nombre le plus élevé de jours de pluie consécutifs pendant la mousson indienne et dans la zone de convergence intertropicale (ZCIT) en Amérique du Sud et en Asie du Sud-Est insulaire. Les zones où l'on relève des jours de fortes précipitations (total journalier > 20 mm) sont celles qui subissent l'influence de la ZCIT ou des moussons africaine et indienne, mais aussi

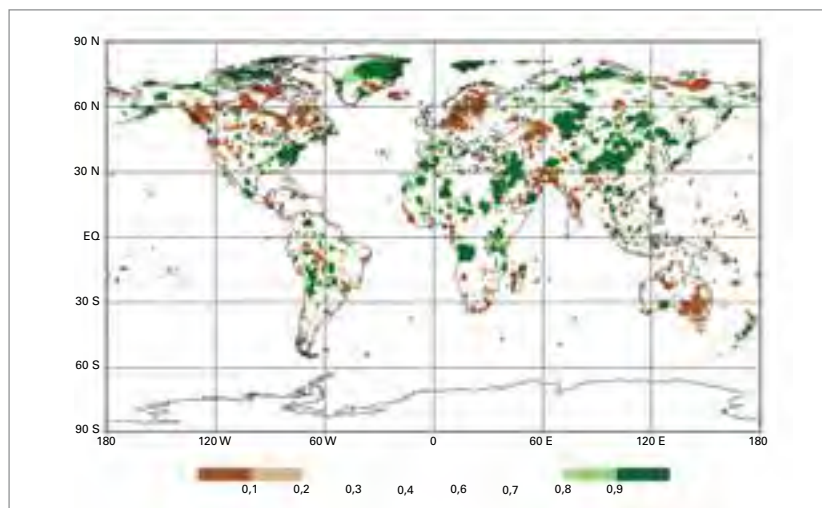
celles qui se trouvent sur la trajectoire de tempêtes tropicales ou sur la pente au vent de montagnes côtières des latitudes moyennes. Ces régions sont également, en moyenne, celles où la valeur maximale des précipitations sur 5 jours (RX5) est la plus élevée (figure 12, à droite). Plus de 300 mm ont été relevés localement sur 5 jours en Afghanistan, suite à une série d'épisodes pluvieux qui se sont produits en mai, les pluies intenses ayant causé des crues soudaines meurtrières.

En 2018, d'importantes anomalies positives de précipitations par rapport à la climatologie de 1951–2010 ont été observées dans certaines régions d'Afrique du Nord et de l'Est, de la péninsule arabique, d'Asie centrale et du Sud-Est, d'Asie du Sud-Est insulaire, du sud-ouest de l'Australie, de Nouvelle-Zélande et de l'est de l'Amérique du Nord (figure 13). Ces anomalies étaient à certains endroits supérieures au 90^e percentile. Des précipitations supérieures à la normale ont également été observées au Japon, dans le sud-ouest et le sud-est de l'Europe, dans certaines régions d'Amérique du Sud et en Afghanistan (voir ci-dessus). Des précipitations supérieures à la normale ont également été observées autour de l'océan Arctique.

Des précipitations inférieures à la normale, en partie inférieures au 10^e centile, ont été enregistrées dans le centre et l'est de l'Australie, sur les côtes Nord et Est de la mer d'Oman et au nord-est de la mer Caspienne, mais aussi dans certaines régions de l'Amérique centrale, de l'Amérique du Nord et de l'Afrique australe. Des déficits pluviométriques ont également été signalés dans le centre et le nord de l'Europe et en Argentine. Dans certaines de ces régions, les précipitations avaient déjà été inférieures à la normale en 2017, notamment en Afrique australe, dans l'est de l'Australie ou au nord de l'Amérique du Nord.

En Inde, pendant la mousson d'été, on a relevé des précipitations inférieures à la normale dans les Ghats occidentaux et la partie orientale de l'Himalaya, mais supérieures à la normale dans la partie occidentale de l'Himalaya. De juin à septembre 2018, les précipitations à l'échelle du pays ont été inférieures d'environ 9 % à la normale.

Figure 13. Cumuls de précipitations annuels pour 2018 exprimés en centiles de la période de référence 1951–2010, pour les zones qui auraient figuré dans la fourchette des 20 % d'années les plus sèches (marron) et des 20 % d'années les plus arrosées (vert) de la période de référence, des nuances plus foncées de marron et de vert indiquant les zones qui auraient fait partie, respectivement, de la fourchette des 10 % les plus sèches et des 10 % les plus arrosées. Source: Centre mondial de climatologie des précipitations, Service météorologique allemand (DWD).



En Afrique, la mousson, qui s'est accompagnée de précipitations supérieures à la normale dans la plupart des régions, a pénétré profondément dans le Sahel. Mais dans une région située entre le Sénégal et la Côte d'Ivoire, les précipitations ont été inférieures à la normale.

Des événements notables liés à de fortes précipitations ou à des pluies soutenues se sont produits dans la région située entre le lac Victoria et les plateaux d'Éthiopie; sur les côtes Est et Nord du golfe du Bengale jusqu'à la partie orientale de l'Himalaya en raison de la mousson d'été indienne; et dans le sud-est de l'Asie en raison de la fréquence élevée de tempêtes tropicales. Les fortes précipitations ont été fréquentes dans nord de la Méditerranée et des épisodes répétés de fortes précipitations ont entraîné des crues soudaines au Moyen-Orient. En Argentine, certaines régions ont subi des conditions de sécheresse tandis que d'autres étaient aux prises avec des crues soudaines. L'Europe centrale a été victime d'inondations au début de l'année, mais a par la suite fait face à des conditions de grave sécheresse. En Islande, l'année a été particulièrement pluvieuse à Reykjavik, où on a enregistré 261 jours de pluie, soit le nombre le plus élevé depuis le début des relevés. Le mois de mai, pendant lequel il a plus tous les jours, a été le plus pluvieux jamais enregistré, les valeurs relevées étant trois fois plus élevées que la normale pour ce mois. En novembre, la ville a enregistré sa plus forte pluviométrie sur deux jours: 83,2 mm.

PHÉNOMÈNES EXTRÊMES

TEMPÊTES TROPICALES

La saison cyclonique 2018 de l'hémisphère Nord a été active. Le nombre de systèmes dépressionnaires tropicaux s'est avéré supérieur à la moyenne dans chacun des quatre bassins océaniques de l'hémisphère. Au total, 74 systèmes se sont développés dans l'hémisphère Nord en 2018, soit un chiffre nettement supérieur à la normale, qui est de 63. La saison cyclonique a été particulièrement active dans le Pacifique Nord-Est, où l'énergie cyclonique cumulée (ACE)⁷ était de 316 kt², soit la plus élevée depuis le début des relevés satellites (figure 14). Dans l'hémisphère Sud, la saison cyclonique 2017/18 était proche de la normale, puisqu'elle a totalisé 22 systèmes dépressionnaires tropicaux.

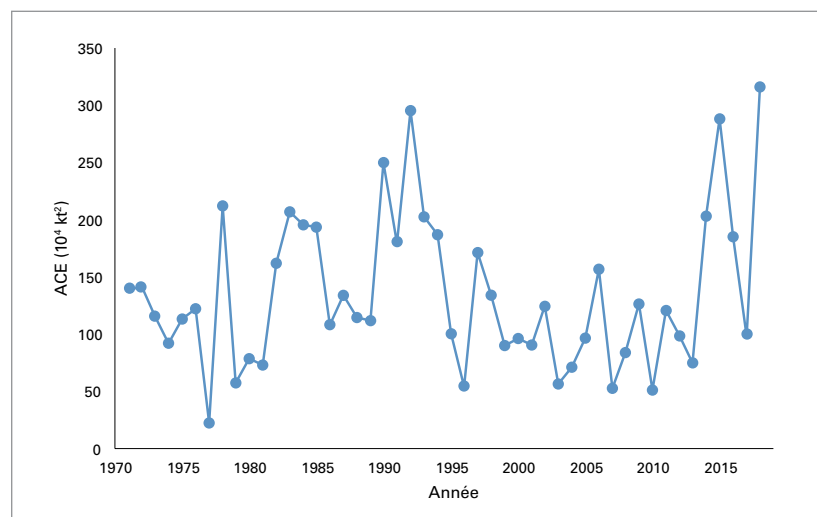
Parmi les cyclones tropicaux les plus intenses de l'année figurent les typhons *Mangkhut (Omping)* et *Yutu (Rosita)*, qui ont sévi dans le nord-ouest

du Pacifique. *Mangkhut (Omping)* a traversé le nord des Philippines à la mi-septembre, puis frôlé le sud de Hong Kong, Chine, avant d'atterrir dans la province chinoise du Guangdong. Plus de 2,4 millions de personnes ont subi les conséquences de son passage. Selon le Ministère philippin de l'agriculture, plus de 550 000 hectares de terres agricoles ont été touchées, ce qui a entraîné de lourdes pertes agricoles. Sur les 134 victimes signalées, 127 se trouvaient aux Philippines. À Hong Kong, Chine, la surcote de 2,35 m observée dans le détroit de Victoria Harbour est la plus élevée jamais enregistrée. Le typhon *Yutu (Rosita)*, qui a traversé les îles Mariannes septentrionales en octobre à une intensité proche de son maximum, a fait des ravages dans la région.

Le typhon *Jebi*, qui a atterri près de Kobe le 4 septembre, est le plus intense à avoir touché terre au Japon depuis 1993. Les crues et l'onde de tempête associées ont entraîné de nombreuses inondations et la majeure partie de l'aéroport international du Kansai (près d'Osaka) a été inondée. Au mois de juillet, *Son-Tinh* a causé de graves inondations au Viet Nam et en République démocratique populaire lao, où il a provoqué la rupture d'un barrage qui a fait au moins 55 victimes. À la fin du mois d'août, *Soulik* a traversé la péninsule coréenne, donnant lieu à de graves inondations en République populaire démocratique de Corée, où au moins 86 personnes ont perdu la vie. Le 29 décembre, la dépression tropicale *Usman* a frappé la région centrale des Philippines, provoquant de fortes précipitations et des glissements de terrain.

Deux ouragans importants ont touché terre sur le continent américain en 2018, faisant des dégâts cumulés estimés à environ 49 milliards de dollars des États-Unis. Même s'il a été rétrogradé de la catégorie 4 à la catégorie 1 avant d'atterrir en Caroline du Nord en septembre, l'ouragan *Florence* n'en a pas moins provoqué des pluies extrêmes et de graves inondations, surtout sur le littoral.

Figure 14. Énergie cyclonique cumulée (ACE) dans l'est du Pacifique Nord de 1971 à 2018. Source: Université de l'État du Colorado.



⁷ L'énergie cyclonique cumulée associe l'intensité et la durée de vie de chaque cyclone pour en mesurer l'activité totale.

En octobre, *Michael* a touché terre à Mexico Beach, en Floride, alors qu'il était classé en catégorie 4 avec une pression au centre de 919 hPa (estimation provisoire), soit l'ouragan le plus puissant ayant atteint les côtes dans cette région depuis le début des relevés et le plus puissant du continent américain depuis au moins 1992. Les vents et l'onde de tempête ont provoqué d'importants dégâts. Aux États-Unis, *Florence* et *Michael* auraient fait au moins 53 et 49 victimes, respectivement.

Dans l'est et le centre du Pacifique, trois ouragans ont atteint la catégorie 5 en 2018: *Lane*, *Walaka* et *Willia*. Le plus remarquable par ses conséquences est *Lane*, qui est passé à proximité d'Hawaï (à une intensité pourtant bien inférieure à son intensité maximale), provoquant des pluies extrêmement abondantes; 1 321 mm ont été relevés en 96 heures entre le 22 et le 26 août à Mountain View, sur l'île d'Hawaï, soit le total le plus élevé jamais enregistré à Hawaï, qui n'a été surpassé aux États-Unis que lors du passage d'*Harvey* en 2017. Plus tôt dans l'année, les 14 et 15 avril, lors d'un épisode non lié à un système dépressionnaire tropical, 1 262 mm de pluie sont tombés en 24 heures à Hanalei, sur la côte Nord de Kauai, établissant un nouveau record américain.

Trois des cinq cyclones qui se sont formés dans le nord de l'océan Indien ont touché le Yémen: *Sagar* et *Mekunu* en mai et *Luban* en octobre. Le plus puissant d'entre eux, *Mekunu*, a touché terre près de Salalah (Oman) à la fin du mois de mai. Au moins 24 victimes sont à déplorer, la plupart sur l'île de Socotra. *Titli* a atterri le 11 octobre dans l'Andhra Pradesh, sur la côte Est de l'Inde,

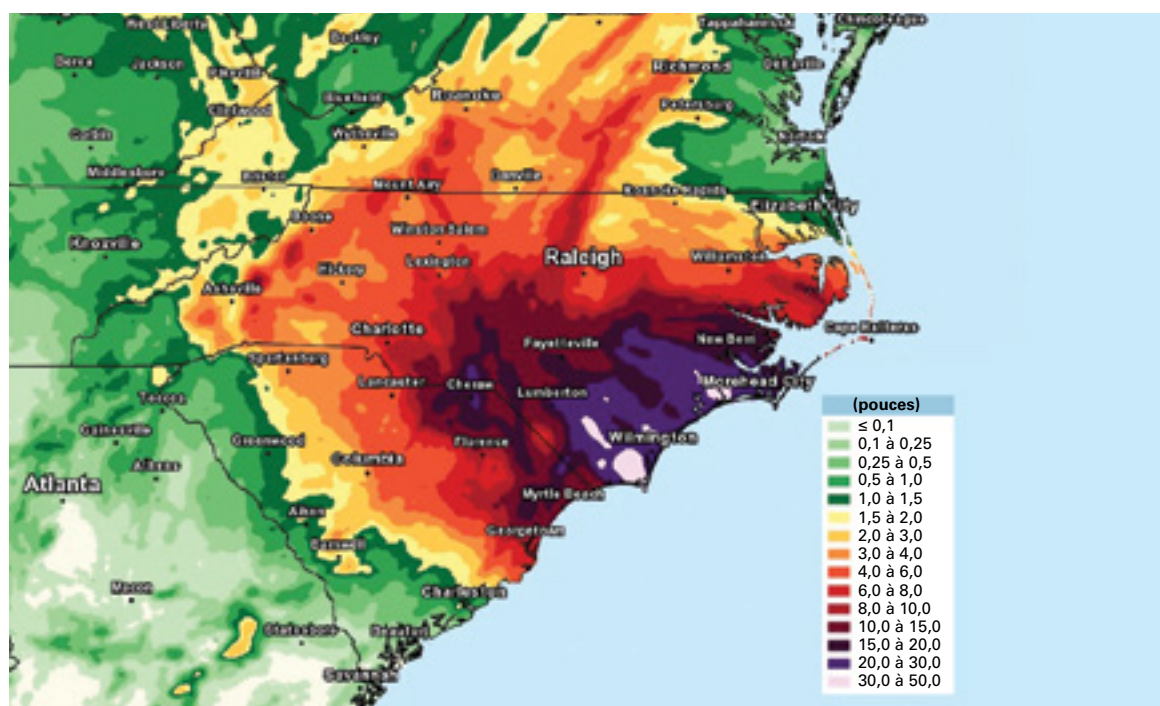
faisant au moins 85 victimes, principalement en raison des inondations.

Deux cyclones tropicaux ont fait des ravages sur la côte Est de Madagascar début 2018, *Ava* en janvier et *Eliakim* en mars. Tous deux sont arrivés à proximité immédiate de la côte, causant d'importantes inondations et faisant de nombreuses victimes. Des pluies extrêmement abondantes associées à des cyclones tropicaux ont également été enregistrées début 2018 à La Réunion, où un cumul de 847,5 mm sur 24 heures a été relevé à Grand Coude le 18 janvier lors du passage du cyclone tropical *Berguita*, et un cumul de 176 mm en une heure a été relevé à Sainte-Rose le 24 avril, lors du passage du cyclone *Fakir*; ce dernier est le cumul horaire le plus élevé jamais observé sur un site de relevés automatiques à La Réunion.

Dans le Pacifique Sud, en février 2018, *Gita*, ouragan le plus intense qu'aient jamais connu les Tonga, est passé à 30 km au sud de Tongatapu, l'île la plus densément peuplée de l'archipel. Tempête la plus coûteuse de l'histoire des Tonga, *Gita* a également causé des dégâts importants au Samoa, aux Samoa américaines et dans les îles extérieures des Fidji.

INONDATIONS, PRÉCIPITATIONS EXTRÊMES ET TEMPÊTES EXTRATROPICALES

En août, l'État du Kerala, dans le sud-ouest de l'Inde, a subi d'importantes inondations, qui seraient les pires depuis 1924, en raison de la persistance de fortes pluies de mousson.



Pour ce mois, les précipitations dans la région ont été supérieures de 96 % à la normale, les totaux hebdomadaires pour les semaines du 9 au 15 et du 16 au 22 août étant respectivement supérieurs de 258 % et de 218 % à la normale. À Nilambar, on a relevé 400 mm de pluie le 9 août et à Peermade, 620 mm en 2 jours, les 15 et 16 août. Les inondations qui en ont résulté ont fait 223 victimes et, selon les rapports de l'Autorité nationale de gestion des catastrophes, plus de 1,4 million de sinistrés ont été relogés dans des camps de secours et plus de 5,4 millions de personnes ont été touchées d'une manière ou d'une autre. Les pertes économiques totales ont été estimées à 4,3 milliards de dollars.

De grandes parties de l'ouest du Japon ont subi des inondations destructrices à la fin du mois de juin et au début du mois de juillet en raison de pluies persistantes provenant d'un front de Baiu quasi-stationnaire. À Yanase, sur l'île de Shikoku, les précipitations totales ont atteint 1 025 mm en 48 heures au maximum d'intensité du système et un total de 1 853 mm a été relevé pour la période du 28 juin au 8 juillet. En tout, au moins 245 victimes ont été signalées et 6 767 maisons ont été détruites.

Sous l'effet des fortes pluies qui ont débuté fin août, d'importantes inondations se sont produites dans certaines parties du bassin du fleuve Niger et de ses affluents en septembre, en particulier dans le nord et le centre du Nigéria et au Niger. Les pics d'inondation ont généralement été inférieurs à ceux observés en 2012, mais les conséquences n'en demeurent pas moins importantes, puisque les inondations ont fait 200 victimes et entraîné le déplacement de 561 000 personnes à l'intérieur de leur pays.

Il y a eu de nombreuses inondations dans l'est de l'Afrique en mars et en avril, en particulier au Kenya et en Somalie, qui avaient précédemment subi une grave sécheresse, ainsi qu'en Éthiopie et dans le nord et le centre de la République-Unie de Tanzanie. De mars à mai, les précipitations ont représenté plus du double de la normale dans la majeure partie du Kenya et dans le nord de la République-Unie de Tanzanie. Au moins 87 décès ont été attribués aux inondations au Kenya et 14 en Tanzanie.

De fortes pluies et des crues soudaines ont été observées dans diverses régions du Moyen-Orient à la fin d'octobre et en novembre. Notamment, on a relevé 84 mm en 6 heures à Abu Hamor (Qatar) le 20 octobre, 102,8 mm en 24 heures à Al Fujairah (Émirats arabes unis) le 28 octobre, et 49,2 mm en 24 heures à l'aéroport de Koweït le 9 novembre. Des crues soudaines ayant fait des victimes ont été signalées en Jordanie fin octobre et les 9 et 10 novembre, ainsi qu'en Iraq, du 2 au 25 novembre.

VAGUES DE CHALEUR ET SÉCHERESSE

À partir de la fin du printemps et pendant tout l'été 2018, une grande partie de l'Europe subissait le contrecoup d'une chaleur et d'une sécheresse exceptionnelles. Dans la majeure partie du nord et de l'ouest de l'Europe, à compter du mois d'avril, la température a été nettement supérieure à la normale et les précipitations, nettement inférieures.

Certaines des conditions les plus anormales ont été observées dans le nord de l'Europe de mai à juillet. Cette période a été la plus sèche et la plus chaude jamais enregistrée dans de nombreuses régions du centre et du sud de la Scandinavie et de la Finlande; à Lund, dans le sud de la Suède, pays où le début des relevés remonte à 1748, les précipitations ne se sont établies, de mai à juillet, qu'à environ la moitié de la valeur la plus faible jamais enregistrée. Le Danemark a connu son été le plus chaud et sa période de mai à juillet la plus sèche depuis le début des relevés, et la Norvège et la Finlande, leur mois de juillet le plus chaud. Au plus fort de ces conditions, une vague de chaleur s'est installée fin juillet-début août: de nombreux records de chaleur ont été battus au nord du cercle polaire arctique, et des températures élevées ont persisté pendant un nombre de jours record, notamment à l'aéroport d'Helsinki où le mercure a dépassé 25 °C pendant 25 jours consécutifs et à Lääne-Nigula, en Estonie, où il n'est pas descendu en dessous de 30 °C pendant 8 jours consécutifs. Cette période a également été caractérisée par des températures nocturnes et une humidité élevées. Ainsi, des records ont été battus à Riga (Lettonie), qui a enregistré sept nuits consécutives au-dessus de 20 °C, et à Karlskrona (Suède), où un point de rosée de 24,8 °C a été enregistré le 1^{er} août (record national). Il a aussi fait exceptionnellement chaud et sec au Royaume-Uni et en Irlande.

Les conditions ont repris le chemin de la normale dans ces régions à partir de la mi-août, mais sont néanmoins restées exceptionnellement chaudes et sèches plus au sud. La sécheresse a persisté particulièrement longtemps en Allemagne, où la période avril-septembre s'est placée au deuxième rang des périodes équivalentes les plus sèches jamais enregistrées, entraînant de lourdes pertes agricoles, ainsi que dans l'est de la Suisse (période d'avril à novembre la plus sèche jamais enregistrée), dans l'ouest de la Pologne, en Tchéquie (période de janvier à août la plus sèche depuis le début des relevés), aux Pays-Bas et dans le nord-est de la France. La Lettonie a connu son année la plus sèche jamais enregistrée (29 % en dessous de la normale) et en Tchéquie, 2018 se place au deuxième rang des années les plus sèches (24 % en dessous de la normale), tandis que plus au nord, Stockholm a connu son année la plus sèche depuis 1892. À Uccle

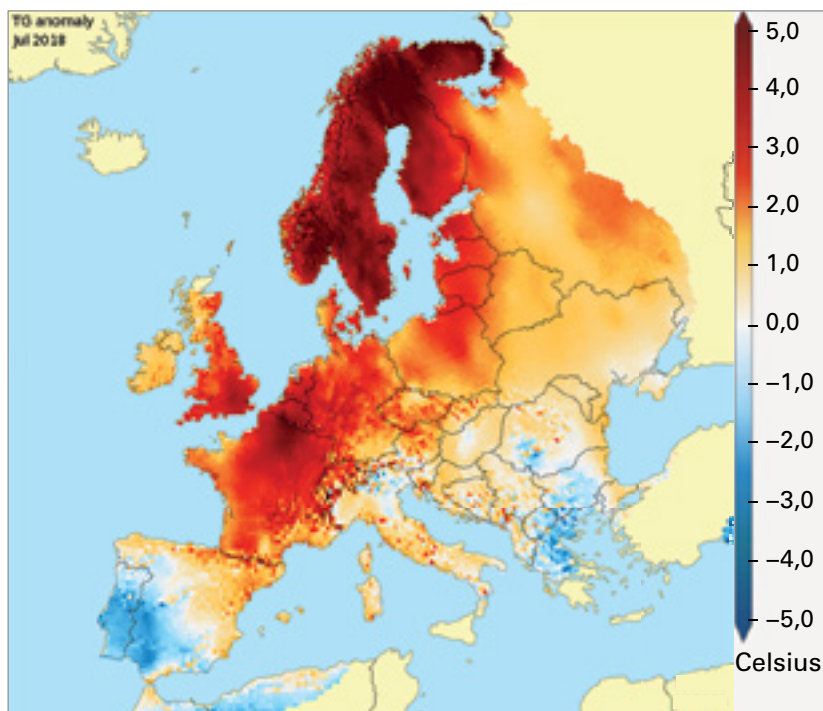


Figure 16. En 2018, pendant plusieurs mois, l'Europe a connu des températures élevées, comme on le voit ici pour le mois de juillet. *Source: rapports mensuels sur le climat du service Copernicus de surveillance du changement climatique.*

(près de Bruxelles), 2018 se place également au deuxième rang des années les plus sèches (25 % en dessous de la normale).

En Europe centrale, la canicule la plus importante s'est produite fin juillet et début août; en France, elle a été d'une durée semblable à celle de 2003, mais moins intense; on a néanmoins signalé une surmortalité de 1 500 décès. En Allemagne, certains sites de la région de Francfort ont relevé 18 jours consécutifs au-dessus de 30 °C du 23 juillet au 9 août. Plus au sud-ouest, une vague de chaleur, courte mais intense, a frappé l'Espagne et le Portugal début août. Dans ce dernier pays, le 4 août a été la journée la plus chaude du XXI^e siècle, des records ayant été établis dans 40 % des stations, dont Lisbonne – Gago Coutinho (44,0 °C). L'Arménie a connu son mois de juillet le plus chaud jamais enregistré, le mercure ayant atteint 43,7 °C à Erevan, établissant un nouveau record national.

Les feux de forêt ont atteint une ampleur sans précédent en Suède, où plus de 25 000 hectares ont brûlé. Un nombre anormal d'incendies s'est également déclaré en Lettonie, en Norvège, en Allemagne, au Royaume-Uni et en Irlande. En raison des conditions sèches, le débit de certains cours d'eau d'Europe centrale était très faible. Celui du Rhin a frôlé des niveaux records à la mi-octobre, avant de repartir légèrement à la hausse au cours du mois de décembre, ce qui a fortement perturbé le transport fluvial: le transport de marchandises (en poids) a diminué de 20 à 25 % par rapport à 2017. Le transport sur la partie serbe du Danube a également été perturbé.

L'est de l'Australie a subi une sécheresse prononcée en 2018. Les terres intérieures de la partie orientale du pays ont payé le plus lourd tribut, en particulier la Nouvelle-Galles du Sud et le sud du Queensland, où les précipitations ont été inférieures de plus de 50 % à la normale dans une grande partie de la région sur les neuf premiers mois de l'année. Dans le bassin Murray-Darling, les précipitations de janvier à septembre ont été les plus faibles depuis 1902. Ces conditions anormalement sèches s'étendaient également aux régions côtières de l'est de l'État de Victoria, où 2018 a été la deuxième année sèche consécutive, et sur la côte Est, dans les alentours de Sydney et au sud de la ville. Dans une grande partie des terres intérieures du Queensland méridional, ainsi que dans le nord-ouest de l'État de Victoria et dans le sud des terres intérieures de la Nouvelle-Galles du Sud, les précipitations sont inférieures à la normale pendant la majeure partie de la période depuis le début de 2012, et cette période sèche n'a été interrompue que brièvement par de fortes précipitations pendant l'hiver et le printemps 2016. Pourtant connu pour son déficit hydrique, le centre de l'Australie a connu des conditions particulièrement sèches, et un record de 160 jours consécutifs sans pluie a été enregistré à Alice Springs. Au milieu de l'année, ces conditions sèches se sont étendues à certaines parties de l'Indonésie: une grave sécheresse a sévi à Java de juillet à octobre, avant que les précipitations ne redeviennent proches de la normale à partir de novembre.

L'Afghanistan a été gravement touché par la sécheresse, les faibles précipitations du début de l'année ayant eu un impact considérable sur les semis, bien que de fortes pluies soient tombées sur certaines parties du pays en mai. La sécheresse persistante frappe également l'ouest du Pakistan, les précipitations au Baloutchistan ayant été inférieures d'au moins 28 % à la normale au cours de chacune des cinq années comprises entre 2014 et 2018. L'année 2018 a été particulièrement sèche (62 % de moins que la normale), s'établissant au quatrième rang des années les plus sèches depuis le début des relevés dans la région, en 1961. Des conditions de sécheresse ont également été signalées dans certaines régions d'Iran.

Une grave sécheresse a sévi en Uruguay, ainsi que dans le nord et le centre de l'Argentine fin 2017 et début 2018, son pic d'intensité ayant duré d'octobre 2017 à mars 2018. Dans les cinq provinces argentines les plus touchées (Entre Ríos, Santa Fe, Córdoba, Buenos Aires et La Pampa), les précipitations sur six mois ont été inférieures de 43 % à la normale de la période 1981–2010, soit les plus faibles jamais enregistrées. Buenos Aires (364,7 mm) et Córdoba (329,2 mm) ont connu leur période octobre-mars la plus sèche depuis le début des relevés. La sécheresse s'est atténuée en avril, et le mois de mai a été le plus humide

jamais enregistré en Argentine. Les conditions sèches ont entraîné de lourdes pertes pour les cultures d'été, en particulier le soja et le maïs, et les pertes agricoles ont été estimées à 5,9 milliards de dollars. Plus tard dans l'année, un mois de décembre sec a contribué, pour les producteurs de soja de l'État du Paraná, au Brésil, à des pertes estimées à 30 %.

Une vague de chaleur d'une importance historique a perturbé certaines parties de l'Asie de l'Est à la fin de juillet et au début du mois d'août. La région la plus touchée a été le Japon, qui avait fait face à de graves inondations au début du mois. Un record national de 41,1 °C a été établi à Kumagaya le 23 juillet. Au total, cette vague de chaleur a fait 153 victimes dans le pays. L'été 2018 a été le plus chaud jamais enregistré dans l'est du Japon. La péninsule coréenne n'a pas été épargnée. Un record national a été établi en République de Corée (41,0 °C à Hongcheon le 1^{er} août) et Séoul a battu son record de chaleur, avec 39,6 °C. La chaleur a aussi causé des maladies et des pertes agricoles en République populaire démocratique de Corée.

L'été 2018 a été marqué par des vagues de chaleur en Amérique du Nord. L'impact le plus important a été observé dans l'est du Canada, qui a été confronté à la vague de chaleur la plus longue et la plus intense que la région ait connue depuis des années. Des températures supérieures à 35 °C, associées à un point de rosée compris entre 20 °C et 25 °C, ont été relevées à Montréal au début du mois de juillet, alors que des conditions extrêmes sévissaient dans d'autres régions du sud du Québec et de l'est de l'Ontario. Montréal a enregistré un record de 5 jours consécutifs pendant lesquels la température était supérieure ou égale à 33 °C. Cette vague de chaleur a fait plus de 86 victimes au Québec⁸. Plus tard au cours de l'été, Calgary a connu sa journée la plus chaude jamais enregistrée le 10 août, lorsque le thermomètre a atteint 36,5 °C.

Des températures exceptionnellement élevées ont été relevées dans de nombreuses régions du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord à la fin du mois de juin et au début du mois de juillet. Le 26 juin, la température nocturne à Quriyat (Oman) n'est pas descendue en dessous de 42,6 °C, soit l'un des minima nocturnes les plus élevés du monde. Début juillet, la vague de chaleur s'est étendue à l'Afrique du Nord et des records ont été enregistrés à plusieurs endroits en Algérie,

notamment à Ouargla, où un nouveau record national de 51,3 °C a été établi.

FROID ET NEIGE

À la fin du mois de février et au début du mois de mars, l'Europe a subi l'une des plus importantes vagues de froid de ces dernières années. Le froid s'est d'abord installé fin février dans le nord-est du continent européen, où la période du 21 au 28 février s'est placée au deuxième rang des plus froides jamais enregistrées en Estonie. L'Irlande et le sud de la France ont été confrontés à des chutes de neige anormales, 15 à 30 cm étant tombés dans les environs de Nîmes et de Montpellier, ainsi que dans le sud de l'Italie aux alentours de Naples, tandis que dans certaines régions de l'est de l'Irlande, plus de 50 cm de neige étaient relevés. De la neige en quantités inhabituellement abondantes est également tombée à des altitudes plus élevées en Algérie. En outre, phénomène rare dans ce pays, une averse verglaçante s'est produite au Portugal. La température maximale de -4,7 °C relevée le 1^{er} mars à Tredegar, au Pays de Galles, établit un record britannique pour le mois de mars.

Plus tôt pendant l'hiver, des chutes de neige inhabituelles ont été observées dans certaines régions désertiques du Maroc: le 30 janvier, la neige est tombée sur la ville de Zagora pour la première fois depuis 1960. Les conditions humides de l'hiver ont entraîné de très fortes accumulations de neige à des altitudes plus élevées dans les Alpes européennes: la commune suisse d'Arosa a relevé 530 cm de neige pendant la saison, soit une accumulation saisonnière située au deuxième rang des plus élevées des 50 dernières années.

En Afrique australe, le Lesotho a connu un épisode de neige inhabituel à la mi-août, avec une accumulation de 5 à 30 cm de neige dans tout le pays. Les totaux les plus élevés ont été enregistrés dans les monts Maluti. De fortes chutes de neige ont été observées dans le pays aussi récemment que 2016, mais il convient de noter qu'elles étaient plus fréquentes en hiver par le passé, puisqu'elles étaient une réalité pendant la plupart des hivers du XIX^e et de la première moitié du XX^e siècle.

En janvier, une vague de froid a frappé certaines parties du sous-continent indien. Entre le 3 et le 13 janvier, le froid a fait 135 morts dans l'Uttar Pradesh.

En Amérique du Sud, deux rares épisodes neigeux ont été observés dans différentes régions du continent. En juin, un front froid particulièrement actif a provoqué des chutes de neige dans le district central de Santiago, au Chili. Le système

⁸ Lebel, G., M. Dubé et R. Bustinza, 2019: Surveillance des impacts des vagues de chaleur extrême sur la santé au Québec à l'été 2018. Institut national de santé publique du Québec, *Bulletin d'information en santé environnementale* (sous presse).

dépressionnaire s'est également accompagné de températures aussi basses que -14°C dans certaines parties de l'État plurinational de Bolivie, et de la neige atteignant 40 cm d'épaisseur a recouvert de grandes régions du Pérou. En août, un rare épisode neigeux a été observé dans certaines parties de l'Uruguay lors du passage d'un front froid particulièrement actif, qui a provoqué l'apparition de neige dans le sud-est du pays et l'accumulation de graupels (neige recouverte d'une fine couche de glace, parfois appelée «grêle molle ou neige roulée») de l'autre côté de la frontière, en Argentine.

INCENDIES DE FORÊT

D'importants incendies de forêt ont fait des ravages dans la région d'Athènes le 23 juillet. Ces incendies se sont propagés rapidement en raison de vents violents, inhabituels en cette période de l'année, accompagnés de rafales atteignant 124 km/h au nord d'Athènes. Au moins 99 victimes sont à déplorer, soit le nombre le plus élevé jamais enregistré pour un incendie de forêt dans le monde depuis les incendies du samedi noir qui avaient endeuillé l'Australie en 2009.

Aux États-Unis, le 8 novembre, un feu de forêt a ravagé la ville californienne de Paradise et ses environs. Atteint par des vents violents dans un contexte de sécheresse persistante, cet incendie a en grande partie détruit la ville, faisant 85 morts, soit le nombre de victimes dues à un incendie de forêt aux États-Unis le plus élevé depuis plus de 100 ans. Plus de 18 000 constructions ont été détruites.

D'importants incendies se sont également déclarés en Californie en juillet et en août. Le méga-incendie de Mendocino a été le plus important de l'histoire de cet État, ravageant une superficie totale de 185 800 hectares, tandis que l'incendie de Carr, qui a particulièrement touché la ville de Redding, a causé la perte de 1 604 constructions et fait 8 victimes. Les pertes assurées s'élèvent à 1,5 milliard de dollars. La saison des feux de forêt a également été très active dans l'Ouest canadien. Pour la deuxième année consécutive, la Colombie-Britannique a battu son record de la plus grande superficie brûlée lors d'une saison, avec un total de 1,35 million d'hectares ravagés. Les pertes matérielles ont été minimales compte tenu de l'ampleur des incendies et aucune victime n'a été déplorée, mais une épaisse fumée a envahi l'intérieur de la province, ainsi que des villes de la côte Ouest comme Vancouver et Seattle, où elle a perduré pendant de longues périodes. Les pertes totales associées à la saison 2018 des incendies de forêt aux États-Unis ont été estimées à 24 milliards de dollars, soit le montant le plus élevé jamais enregistré pour une saison donnée.

FORTES TEMPÊTES

En Europe, la plus importante tempête de vent de l'hiver 2017/18 a été *Friederike* (connue sous le nom de *David* en France), qui a traversé l'Irlande et le Royaume-Uni du 17 au 19 janvier, avant de balayer les Pays-Bas, le nord de l'Allemagne et la Pologne. L'Allemagne a été la plus touchée. Les rafales de vent ont atteint 203 km/h au Brocken (la vitesse la plus élevée depuis 1990) et plus de 140 km/h à certains endroits à basse altitude. Les effets ont également été considérables aux Pays-Bas (fermeture de l'aéroport d'Amsterdam) et en Belgique. Cette tempête a fait treize morts.

Une tempête aux caractéristiques de système dépressionnaire tropical a traversé la Méditerranée orientale à la fin du mois de septembre. Pendant les premières phases du système, de fortes pluies et des crues soudaines ont été signalées en Tunisie et en Lybie: la ville tunisienne de Nabeul a enregistré 205 mm de précipitations en 24 heures. La tempête s'est ensuite intensifiée à mesure qu'elle se déplaçait vers l'est, avant d'arriver le 29 septembre, avec une pression minimale de 989 hPa, dans l'ouest de la Grèce, où elle a causé des dégâts considérables.

Aux États-Unis, la saison des phénomènes météorologiques violents a été moins active que la normale – 1 102 tornades ont été signalées pendant le mois de novembre, soit environ 10 % de moins que la normale de la période 1991–2010. 2018 a été la première année depuis le début des relevés exhaustifs en 1950 pendant laquelle aucune tornade d'intensité F4 ou F5 sur l'échelle de Fujita améliorée n'a été confirmée. Toutefois, dans la région de Dallas-Fort Worth le 6 juin et dans le corridor Denver-Boulder-Fort Collins les 18 et 19 juin, des tempêtes de grêle ont provoqué de graves dégâts estimés à 1,3 milliard et 2,2 milliards de dollars, respectivement.

Un système dépressionnaire particulièrement actif accompagné de vents violents s'est développé en Méditerranée à la fin du mois d'octobre, entraînant des inondations dans plusieurs pays. L'Italie a été la plus touchée. Le 29 octobre, on a relevé des rafales maximales de 179 km/h au Mont Cimone et de 161 km/h à Kredarica, en Slovénie. Des précipitations extrêmement abondantes ont également été enregistrées en Italie, avec des cumuls sur 24 heures de 406 mm à Casera Pradut dans les contreforts alpins du nord-est du pays et de 308 mm à Cabane en Ligurie. Des cumuls sur trois jours supérieurs à 400 mm ont également été relevés dans le sud de la Suisse et en Autriche, ainsi qu'en Slovénie occidentale, et le vent a fait des dégâts en Tchéquie, en Corse et dans le sud de la Pologne. Cette tempête a fait trente morts en Italie. D'autres événements associés à de fortes pluies et à des crues soudaines ont été signalés dans

diverses parties de la région méditerranéenne à la fin de l'année 2018, notamment de graves inondations dans le Languedoc (sud-ouest de la France) les 13 et 14 octobre, où on a enregistré des précipitations atteignant 400 mm en 6 heures. À la fin de l'année, de fortes précipitations ont été relevées en Turquie et à Chypre. Un record national turc a été établi, avec une hauteur de précipitation en 24 h de 490,8 mm relevée le 18 décembre à Ovacik, près d'Antalya.

CAUSES DES PHÉNOMÈNES EXTRÊMES

La détermination des facteurs causaux (forçages anthropiques compris) ayant favorisé des phénomènes extrêmes ou accru leur probabilité est un domaine de recherche actuel. Depuis 2012, une sélection d'articles revus par des pairs est publiée chaque année dans un supplément du *Bulletin of the American Meteorological Society* sous le titre «Explaining Extreme Events from a Climate Perspective» (Les phénomènes extrêmes d'un point de vue climatologique: explications). Le dernier numéro, intitulé «Explaining Extreme Events in 2017 from a Climate Perspective», contient 18 analyses de phénomènes extrêmes qui ont eu lieu entre fin 2016 et début 2018.

Il a été établi que, lors d'épisodes caniculaires tels que les vagues de chaleur qui ont sévi en Europe et en Chine en 2017, le début précoce de l'été en République de Corée en 2017 et la vague de chaleur marine en mer de Tasman en 2017/18, des facteurs anthropiques avaient augmenté la probabilité d'occurrence des phénomènes. En ce qui concerne les phénomènes hydrologiques, tels que les sécheresses et les pluies abondantes,

une augmentation due aux activités humaines a été relevée dans chaque cas, mais certaines études se sont avant tout concentrées sur l'effet de la variabilité interne dans ce contexte. Un article portant sur deux études de cas, à savoir le risque de débordement des eaux du barrage d'Oroville (Californie) et l'ouragan *Harvey* (Texas), souligne la complexité de ce type de phénomènes et comporte des suggestions visant à faciliter la transmission d'informations exploitables sur les facteurs causaux, utiles dans des contextes réels de prise de décision.

Toute tentative de produire une synthèse des études sur les causes des phénomènes extrêmes exige de la prudence. Un certain nombre de facteurs influencent le processus de sélection des phénomènes étudiés, notamment la disponibilité de données ou d'autres ressources, la visibilité du phénomène et la fiabilité prêtée aux modèles pour ce qui est de l'exactitude de leur simulation des processus nécessaires. De plus, il faut être conscient qu'un même facteur peut tout à la fois augmenter la probabilité de certains phénomènes et réduire celle d'autres phénomènes. Enfin, l'absence d'extrêmes doit aussi être considérée dans une perspective équilibrée.

En raison du temps nécessaire pour sélectionner les phénomènes à étudier, recueillir des données, effectuer des simulations par des modèles, analyser les résultats, puis rédiger et réviser des articles, on observe souvent un décalage important entre un phénomène et la publication d'un article révisé par des pairs analysant ses facteurs causaux. Pour un certain nombre de phénomène de 2018, une analyse rapide des causes a été effectuée, mais elle n'a pas encore été soumise au processus de vérification.

Les risques climatiques et leurs impacts généraux

En 2018, selon une analyse portant sur 281 phénomènes enregistrés par le Centre de recherche sur l'épidémiologie des désastres (CRED)⁹, des phénomènes météorologiques et climatiques ont été à l'origine de la plupart des catastrophes naturelles dont ont été victimes près de 62 millions de personnes. Comme par le passé, ce sont les inondations qui ont touché le plus de personnes: plus de 35 millions de sinistrés en 2018. Les statistiques du CRED font aussi ressortir que plus de 9 millions de personnes ont été touchées par la sécheresse dans le monde, notamment au Kenya, en Afghanistan et en Amérique centrale, de même que dans les grandes zones de migration que sont El Salvador, le Guatemala, le Honduras et le Nicaragua. Il reste encore quelques obstacles à surmonter pour pouvoir mieux quantifier l'impact des catastrophes et déterminer la corrélation avec des catégories données de phénomènes hydrométéorologiques, notamment en vue de l'élaboration de rapports sur les objectifs de développement durable à l'aide d'indicateurs spécifiques, et du suivi des progrès réalisés aux fins du Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe (2015–2030). Il existe de nouvelles initiatives et méthodes qui fournissent les données les plus récentes sur l'impact des catastrophes naturelles et des crises sur le secteur agricole, associées à des analyses fiables¹⁰. Mais il est impératif de s'atteler sans tarder à concevoir et optimiser des approches, techniques et méthodes novatrices permettant de caractériser les phénomènes à fort impact, de quantifier les pertes et les dommages, et d'établir leur lien avec les phénomènes météorologiques, climatiques et hydrologiques extrêmes afin de pouvoir apporter

à terme un appui au programme d'action de la communauté internationale pour la prévention des catastrophes.

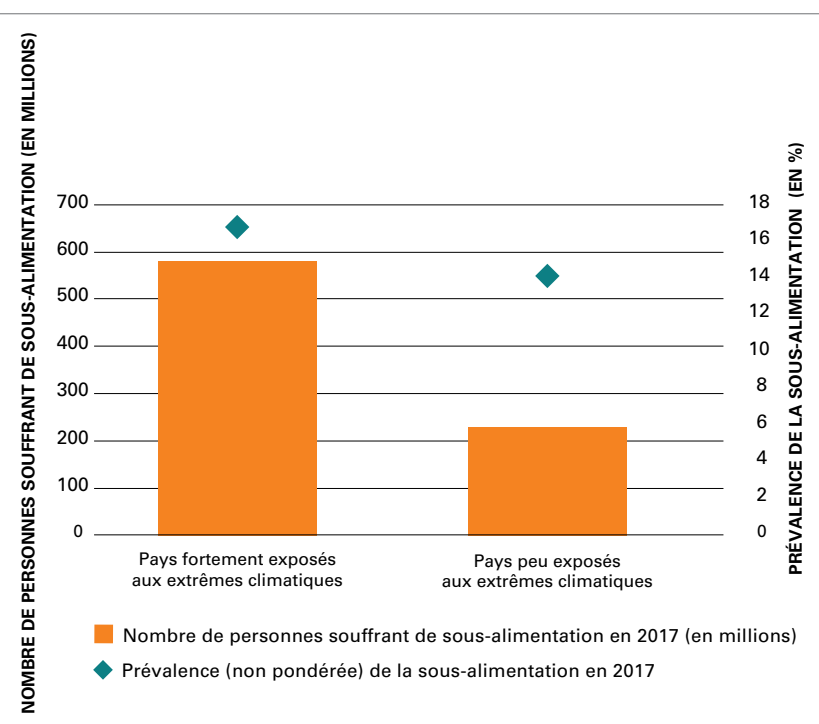
L'établissement des statistiques mondiales sur les pertes économiques imputées aux catastrophes en 2018 n'était pas encore terminé lors de la rédaction de la présente publication. Selon les statistiques disponibles, les pertes les plus importantes ont été subies par les États-Unis à la suite de l'arrivée sur les côtes des deux ouragans *Florence* et *Michael*. Les pertes totales ont été estimées à près de 50 milliards de dollars, soit beaucoup moins que les 300 milliards de dollars estimés pour 2017, l'une des années récentes qui a été marquée par des pertes particulièrement importantes en raison des trois grands ouragans qui avaient frappé les États-Unis et les Caraïbes.

AGRICULTURE ET SÉCURITÉ ALIMENTAIRE

L'exposition du secteur agricole aux extrêmes climatiques menace de compromettre les progrès réalisés dans la lutte contre la faim et la malnutrition. Selon de nouvelles observations, la faim dans le monde, qui avait diminué pendant un bon nombre d'années, marque à nouveau une augmentation continue¹¹. En 2017, il a été estimé que le nombre de personnes sous-alimentées avait augmenté jusqu'à atteindre 821 millions. Les graves sécheresses associées à l'épisode El Niño 2015/16 de forte intensité et un certain nombre de phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes localisés ont contribué à cette augmentation récente de la sous-alimentation¹².

La variabilité du climat et les extrêmes climatiques sont des facteurs essentiels de l'augmentation récente de la faim dans le monde et l'une des principales causes des graves crises alimentaires. La faim sévit nettement plus dans les pays où les systèmes agricoles sont très sensibles aux graves sécheresses et à la variabilité des précipitations comme des températures, et où une grande partie de la population dépend de l'agriculture comme

Figure 17. Prévalence (non pondérée) et nombre de personnes souffrant de sous-alimentation dans les pays à revenu faible ou intermédiaire présentant une exposition élevée / une exposition faible aux extrêmes climatiques pendant la période 2011–2016. Les pays fortement exposés sont définis comme susceptibles de connaître des conditions climatiques extrêmes (chaleur, sécheresse, inondations et tempêtes) plus de 66 % du temps, c'est-à-dire pendant l'équivalent de plus de trois ans au total pour la période 2011–2016. Une faible exposition correspond à trois ans d'exposition ou moins. Source: FAO, Fonds international de développement agricole (FIDA), Fonds des Nations Unies pour l'enfance (UNICEF), PAM et OMS.



⁹ CRED, 2019: *2018 Review of Disaster Events*. Université catholique de Louvain, Belgique, www.emdat.be.

¹⁰ FAO, 2017: *The Impact of Disasters and Crises on Agriculture and Food Security*. Rome, <http://www.fao.org/3/I8656EN/I8656en.pdf>.

¹¹ FAO, FIDA, UNICEF, PAM et OMS, 2018: *L'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition 2018 – Renforcer la résilience face aux changements climatiques pour la sécurité alimentaire et la nutrition*. Rome, FAO. Données relatives à la période 2005–2017.

¹² FAO, FIDA, OIM et PAM, 2018: *The Linkages between Migration, Agriculture, Food Security and Rural Development*. Rome, <http://www.fao.org/3/CA0922EN/CA0922EN.pdf>.

moyen de subsistance. Les pays fortement exposés aux extrêmes climatiques comptent plus du double de personnes sous-alimentées que les pays moins exposés (figure 17).

En 2017, les phénomènes climatiques ont eu une incidence particulièrement marquée sur l'insécurité alimentaire aiguë et la malnutrition en Afrique, touchant 59 millions de personnes dans 24 pays et nécessitant une aide humanitaire d'urgence¹³. La vulnérabilité à la variabilité du climat tient pour une large part aux systèmes de culture en zone aride et d'élevage sur parcours, dont dépend 70 à 80 % de la population rurale du continent.

Au total, 40 pays, dont 31 en Afrique, continuent d'avoir besoin d'une aide alimentaire extérieure¹⁴. Les conflits persistants et la baisse de production due au climat ont eu un impact négatif sur les disponibilités alimentaires. En 2018, des conditions météorologiques défavorables ont limité la production céréalière en Afrique australe, aggravant l'insécurité alimentaire, tandis que des pluies abondantes en Afrique de l'Est ont amélioré les perspectives de production, mais également entraîné des inondations localisées, facteur d'insécurité alimentaire. Les conditions météorologiques favorables du printemps ont stimulé la production en Afrique du Nord, tandis que les récoltes devraient retrouver des niveaux moyens en Afrique de l'Ouest.

Pour ce qui est de l'Asie, en 2018, les récoltes céréalières sont descendues à des niveaux inférieurs à la moyenne au Proche-Orient¹⁵ et dans les pays de la Communauté d'États indépendants en raison des conflits et des déficits pluviométriques. Selon les prévisions, la production céréalière en Amérique latine et dans les Caraïbes devrait être de 248 millions de tonnes en 2018, soit une baisse de 8 % par rapport à la production record de 2017. La majeure partie de cette diminution tient à la baisse des récoltes de maïs enregistrée par les principaux producteurs d'Amérique du Sud, notamment d'Argentine et du Brésil, et imputable à la sécheresse. En Amérique centrale et dans les Caraïbes, les conditions sèches ont été moins graves que prévues, en particulier au Guatemala

et au Nicaragua, ce qui a entraîné une réduction de 2 % de la production totale¹⁶.

En Somalie, selon les estimations, quelque 2,7 millions de personnes ont nécessité une aide d'urgence. Il s'agit principalement de personnes déplacées à l'intérieur de leur propre pays (PDI) et des communautés agropastorales touchées par la sécheresse entre mi-2016 et fin 2017¹⁷. En Afrique australe, en particulier à Madagascar, le nombre de personnes souffrant d'insécurité alimentaire a augmenté, atteignant 1,3 million dans les régions du Sud, les périodes de sécheresse et les cyclones tropicaux ayant maintenu la production céréalière à des niveaux inférieurs à la moyenne en 2018¹⁸.

Le typhon *Mangkhut (Ompong)*, qui a traversé les Philippines à la mi-septembre, a entraîné une baisse de rendement de l'agriculture et de la pêche qui a compromis la sécurité alimentaire de la population. Cette perturbation de la production agricole s'est répercutée sur l'approvisionnement alimentaire du pays au cours des mois suivants, tandis que la perte de moyens de subsistance subie par les agriculteurs et les pêcheurs pendant la période de récolte et de capture de septembre-octobre a aggravé l'insécurité alimentaire et la malnutrition¹⁹.

DÉPLACEMENT DE POPULATIONS ET MOBILITÉ DES ÊTRES HUMAINS

Sur les 17,7 millions de personnes déplacées à l'intérieur de leur propre pays recensées par la matrice du suivi des déplacements (DTM) de l'Organisation internationale pour les migrations (OIM)²⁰, plus de 2 millions étaient déplacées en raison de catastrophes liées à des phénomènes

¹³ FAO, FIDA, UNICEF, PAM et OMS, 2018: *L'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition 2018 – Renforcer la résilience face aux changements climatiques pour la sécurité alimentaire et la nutrition*. Rome, FAO. Tableau 7.

¹⁴ FAO, 2018: *Perspectives de récolte et situation alimentaire*. Rapport mondial trimestriel, décembre. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/CA2726FR>.

¹⁵ Le Proche-Orient s'étend de la Turquie à l'Afghanistan, vers l'Est, et comprend aussi, au sud, la péninsule arabe.

¹⁶ FAO, 2018: *Perspectives de récolte et situation alimentaire*. Rapport mondial trimestriel, décembre. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/CA2726FR>.

¹⁷ FAO, 2018: *Perspectives de récolte et situation alimentaire*. Rapport mondial trimestriel, juin. <http://www.fao.org/policy-support/resources/resources-details/en/c/1039827/>.

¹⁸ FAO, 2018: *Perspectives de récolte et situation alimentaire*. Rapport mondial trimestriel, septembre. <http://www.fao.org/3/CA1487FR/ca1487fr.pdf>.

¹⁹ Conseil national de gestion et de réduction des risques de catastrophe naturelle, 2018. *NDRRMC Update on preparedness measures and effects for Typhoon "OMPONG"* (I.N. "MANGKHUT"), Philippines, 27 septembre.

²⁰ La matrice du suivi des déplacements (DTM) de l'OIM suit de près les flux de mobilité humaine. Elle constitue la plus grande source de données primaires sur les déplacements internes dans le monde et est utilisée par un grand nombre d'humanitaires dans le cadre de leurs opérations visant à apporter de l'aide aux populations affectées. Voir <https://displacement.iom.int/>.

météorologiques et climatiques en septembre 2018²¹. La sécheresse, les inondations et les tempêtes (y compris les ouragans et les cyclones) sont les phénomènes qui ont entraîné le plus grand nombre de déplacements liés à des catastrophes en 2018. Dans tous les cas, les populations déplacées ont besoin de protection et sont vulnérables.

À Madagascar, une succession de phénomènes climatiques interdépendants entraîne des déplacements de population²². En août 2018, sur les quelque 5 700 personnes déplacées suivies par l'OIM dans les 10 communes du Sud entre 2009 et 2018, 42 % étaient déplacées en raison de la sécheresse. Les déplacements les plus importants dans les communes examinées ont été observés entre 2013 et 2016, une période correspondant à la sécheresse soutenue qui a marqué 2015 et 2016. Le nombre de personnes déplacées a considérablement diminué en 2017, grâce à une amélioration de la situation pluviométrique et à l'aide humanitaire apportée dans la région. Des déplacements ont été observés à Madagascar au début de 2018 en raison de l'absence de pluie pendant la campagne agricole entre décembre 2017 et mai 2018. Outre la sécheresse, qui a surtout touché le sud de Madagascar, le cyclone *Enawo* a entraîné le déplacement de plus de 250 000 personnes à l'intérieur du pays en 2017.

Dans certaines parties du monde, la mobilité humaine peut être envisagée comme découlant des effets conjugués des conflits et des phénomènes climatiques, ces derniers pouvant être considérés comme des «facteurs aggravants». C'est notamment le cas en Somalie²³. En 2018, une conjonction de phénomènes, soudains et à évolution lente, aggravés par un conflit qui s'enlise, a conduit à un déplacement de population continu à l'intérieur et au-delà des frontières²⁴. En décembre 2018, on estimait à 1,1 million le nombre de personnes déplacées de longue date à l'intérieur du pays, du fait des conflits complexes et de la concurrence accrue pour accéder aux ressources engendrée par les phénomènes climatiques²⁵. Selon le Réseau pour

la surveillance des retours et des dispositifs de protection du Haut-Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés (HCR), quelque 883 000 nouveaux déplacements internes ont été enregistrés entre janvier et décembre 2018; les conflits constituent la cause première (36 %), suivis par les inondations (32 %) et la sécheresse (29 %)²⁶. Les inondations ont contaminé l'eau potable, entraînant une augmentation des cas de «diarrhées liquides aiguës» et de choléra²⁷. Au cours de la même période en 2017, la grande majorité des déplacés internes (79 %) ont évoqué des raisons liées à la sécheresse pour expliquer leur déplacement, contre seulement 0,6 % pour les inondations.

Les camps de réfugiés et de personnes déplacées à l'intérieur de leur propre pays peuvent être particulièrement vulnérables aux phénomènes climatiques et météorologiques, et en particulier aux tempêtes. En 2018, des centaines de milliers de réfugiés rohingyas ont été contraints à des déplacements secondaires en raison de phénomènes météorologiques extrêmes^{28,29}. Les pluies de mousson qui se sont abattues sur le Bangladesh entre mai et septembre ont exposé ces réfugiés à un risque accru de glissements de terrain et d'inondations, en particulier dans le district de Cox's Bazaar, où vivent la majorité des réfugiés rohingyas. Selon les chiffres de septembre 2018, jusqu'à 200 000 de ces réfugiés, sur un total estimatif de 900 000, ont été exposés à ces risques naturels. Le HCR leur a fourni des abris d'urgence et a pris des dispositions temporaires pour fournir un nouveau lieu d'implantation aux personnes les plus exposées, tout en distribuant des kits familiaux pour apporter une aide aux communautés bangladaises touchées par les pluies de mousson³⁰.

²¹ Voir les statistiques mondiales de la DTM de l'OIM sous <https://displacement.iom.int/>.

²² Voir le profil de Madagascar selon la DTM de l'OIM: <https://displacement.iom.int/madagascar>, et, notamment, le rapport sur les déplacements: <https://displacement.iom.int/reports/madagascar-%E2%80%94-rapport-de-suivi-des-d%C3%A9placements-ao%C3%9Dt-2018?close=true>.

²³ Humanitarian Country Team Somalia, <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Somalia%20Revised%20HRP%20July%202018-FINAL.pdf>, p.4.

²⁴ HCR, <https://data2.unhcr.org/en/documents/download/65450>.

²⁵ HCR, <https://data2.unhcr.org/fr/situations/horn>.

²⁶ HCR, <https://unhcr.github.io/dataviz-somalia-prmn/index.html#reason=&month=2018-01-01%2C2018-07-31&pre-gion=&pregionmap=&pdistrictmap=&cregion=&cregionmap=&cdistrictmap>.

²⁷ Bureau de la coordination des affaires humanitaires de l'ONU, <https://reliefweb.int/report/somalia/ocha-somalia-flash-update-5-humanitarian-impact-heavy-rains-15-may-2018-enso>.

²⁸ HCR, www.unhcr.org/rohingya-emergency.html.

²⁹ Voir le Suivi des besoins et des populations au Bangladesh pendant la mousson selon la DTM de l'OIM: <http://iom.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=1ee-c7ad29df742938b6470d77c26575a> et <https://displacement.iom.int/reports/bangladesh-%E2%80%94-npm-acaps-analysis-hub-report-%E2%80%94-rohingya-crisis-impact-cyclones-report-april?close=true>.

³⁰ HCR, <https://data2.unhcr.org/en/documents/download/65468>.

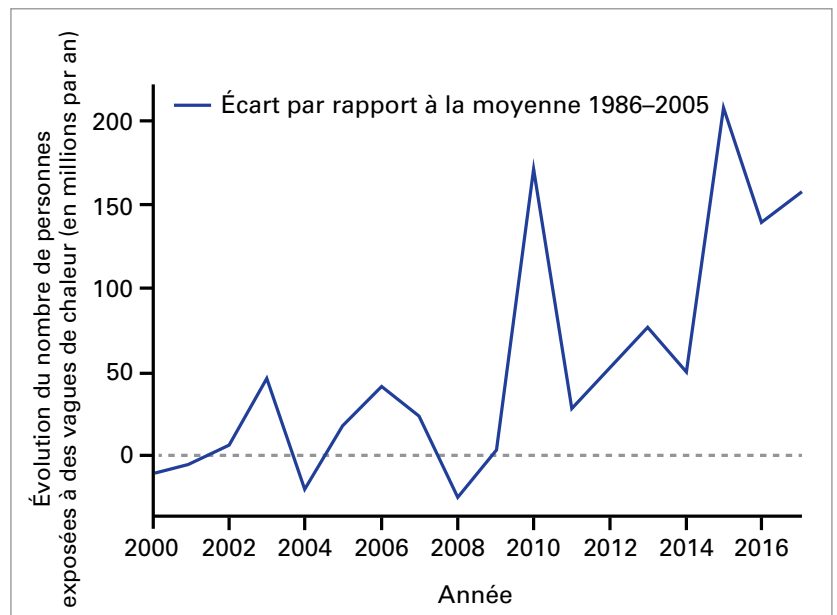
CHALEUR ET SANTÉ

Entre 2000 et 2016, on estime que le nombre de personnes exposées aux vagues de chaleur³¹ a augmenté d'environ 125 millions (figure 18), la durée moyenne des vagues de chaleur s'étant allongée de 0,37 jour par rapport à la période 1986–2008. Au cours de la seule année 2015, un nombre record de 175 millions de personnes ont été exposées à un total de 627 vagues de chaleur. De plus, chaque phénomène local a des incidences diverses et non négligeables. Par exemple, à Karachi (Pakistan), durant la même année, 65 000 personnes présentant des symptômes liés à la chaleur ont été transportées à l'hôpital.

CONSÉQUENCES SUR L'ENVIRONNEMENT

Outre les effets socioéconomiques directs sur la santé et le bien-être des êtres humains, les organismes des Nations Unies surveillent également les conséquences des changements climatiques sur l'environnement³², telles que le blanchissement des coraux et la diminution de la teneur en oxygène de l'océan. D'autres conséquences, notamment la disparition du « carbone bleu » associé aux écosystèmes côtiers comme les mangroves, les herbiers et les marais salés, de même que la perturbation d'écosystèmes très divers, touchent d'importantes composantes côtières, océaniques et terrestres du cycle du carbone.

Les tourbières sont importantes pour les sociétés humaines du monde entier. Elles contribuent considérablement à l'atténuation du changement climatique et au processus d'adaptation grâce à la fixation et au stockage du carbone, au maintien de la biodiversité, à la régulation du flux hydrologique et de la qualité de l'eau, et à la fourniture d'autres services écosystémiques offrant des moyens de subsistance. Le changement climatique est devenu une grave menace pour les écosystèmes des tourbières, car il exacerbe les effets du drainage et augmente le risque d'incendie. Les tourbières actuellement protégées par le pergélisol risquent de dégeler et, donc, de libérer davantage de CH₄ et d'accroître la déperdition de carbone. L'élévation du niveau de la mer augmente par ailleurs le risque d'érosion du littoral et de salinisation des tourbières.



Les pâturages couvrent 5 milliards d'hectares dans le monde et fixent entre 200 et 500 kg de carbone par hectare et par an, concourant ainsi considérablement à l'atténuation du changement climatique. Outre qu'ils contiennent la majeure partie du carbone inorganique terrestre de la planète, les terrains de parcours stockent le carbone organique dans la biomasse et dans le sol. Du fait des caractéristiques climatiques uniques de ces terrains, dans de nombreux endroits, l'essentiel du carbone se trouve sous terre. La restauration des terrains de parcours non seulement contribue à l'atténuation des changements climatiques, mais fournit aussi d'autres services écosystémiques, tels que la protection des bassins hydrographiques, la protection des habitats favorisant la biodiversité, et la réduction des tempêtes de poussière.

Figure 18. Évolution du nombre de personnes (en millions par an) exposées à des vagues de chaleur (ou « phénomènes caniculaires ») entre 2000 et 2017 (courbe bleue), par rapport à la moyenne calculée pour la période 1986–2005. Source: Watts, N. et al. 2018: *The 2018 report of The Lancet Countdown on health and climate change: shaping the health of nations for centuries to come*, *Lancet*, 392(10163):2479–2514.

³¹ On entend par vague de chaleur une période de plus de trois jours au cours de laquelle la température minimale est supérieure au 99^e centile des minima historiques (normale de 1986–2008) (Jacob D, et al., 2014: EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14:563–578).

³² PNUE et COI de l'UNESCO.

Effets de la chaleur sur la santé

Joy Shumake-Guillemot¹, Virginia Murray²,
Sari Kovats³

¹ Bureau commun OMS-OMM pour le climat et la santé

² Public Health England

³ London School of Hygiene and Tropical Medicine

Le stress thermique fait peser une lourde menace sur la santé des êtres humains. La chaleur compte parmi les principales causes de décès d'origine météorologique, et peut exacerber les morbidités sous-jacentes, comme les maladies cardiovasculaires, le diabète, la détresse psychologique et l'asthme, de même qu'augmenter les risques d'accidents et de maladies infectieuses. Des analyses conduites récemment dans les six continents peuplés démontrent clairement l'incidence de températures intérieures et extérieures élevées sur la mortalité¹. Des pics de mortalité quotidienne ont été observés pendant les vagues de chaleur qui ont sévi en Angleterre pendant l'été 2016 (voir le graphique)². Les vagues de chaleur peuvent durer des semaines ou se succéder, et entraîner une surmortalité importante. En 2003, 70 000 personnes en Europe sont mortes sous l'effet de la canicule survenue entre juin et septembre³. En 2010, la Fédération de Russie a été confrontée pendant 44 jours à une vague de chaleur qui a entraîné une surmortalité de 55 000 personnes^{4,5}.

MÉCANISMES RELATIFS AUX INCIDENCES DE LA CHALEUR SUR LA SANTÉ

L'exposition à la chaleur – et particulièrement aux extrêmes – a des incidences physiologiques multiples sur tous les êtres humains, allant jusqu'à déclencher des maladies en cascade (crampes, épuisement, coup de chaleur et hyperthermie). Dans le corps humain, le gain de chaleur peut résulter d'une combinaison entre la chaleur

externe de l'environnement et la chaleur interne générée par une activité physique. Par conséquent, les personnes qui travaillent à l'extérieur sont particulièrement menacées et n'ont pas toujours la possibilité de cesser le travail ou de travailler dans un environnement moins chaud. Les températures élevées peuvent également amplifier un large éventail de problèmes de santé existants, entraînant de ce fait un risque de mortalité prématurée ou de hausse des admissions dans les hôpitaux. En outre, les vagues de chaleur peuvent se répercuter indirectement sur la santé, en influant sur les comportements humains, la transmission des maladies, les capacités de prestation des services sanitaires, la qualité de l'air, et le fonctionnement des infrastructures sociales essentielles, telles que l'énergie, les transports et l'eau. L'échelle et la nature des effets néfastes de la chaleur sur la santé dépendent, d'une part, de la période, de l'intensité et de la durée du phénomène et, d'autre part, de la capacité des bâtiments et des comportements de s'adapter au climat dominant. Le seuil à partir duquel la température peut représenter un danger varie au fil du temps et selon la région.

TYPES D'INCIDENCES

Le stress thermique figure parmi les menaces environnementales les plus graves pour la santé humaine, de par la combinaison des décès qui lui sont directement imputables et des effets dérivés sur les groupes vulnérables pendant les vagues de chaleur et les épisodes caniculaires de longue durée. Les vagues de chaleur peuvent avoir de fortes répercussions sur de larges populations dans des délais très brefs, déclenchant souvent des urgences sanitaires qui se traduisent par une surmortalité, des effets socio-économiques en cascade (par exemple, la perte des capacités de travail et de la productivité) et la diminution des capacités en matière de prestation de services sanitaires. Les pénuries d'énergie qui accompagnent souvent les vagues de chaleur peuvent perturber le fonctionnement des établissements de santé, des installations énergétiques, des transports et des infrastructures hydrauliques, créant ainsi des risques sanitaires secondaires faute d'accès aux services essentiels. Ainsi, lors des vagues de chaleur auxquelles l'Australie et les États-Unis ont été confrontés en 2018, des dizaines de milliers de personnes ont été privées d'électricité, car la demande d'énergie liée à la climatisation dépassait la capacité du réseau électrique⁶. Les vagues de chaleur peuvent accroître les risques de feux incontrôlés, au détriment de la sécurité et de la santé, comme on a pu l'observer

¹ Gasparrini, A., *et al.*, 2015: «Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study». *Lancet*, 386(9991):369–375.

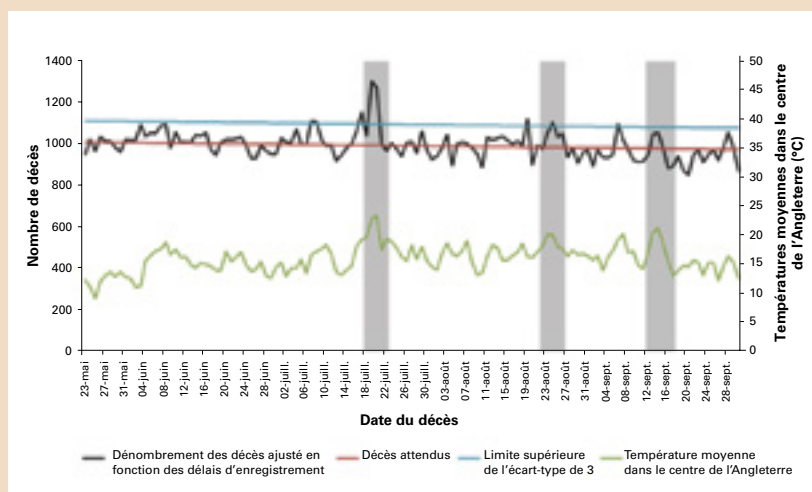
² Public Health England, 2016: *Heatwave Mortality Monitoring Summer 2016*. Londres, PHE, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/714933/PHE_heatwave_mortality_monitoring_report_2016.pdf.

³ Robine, J.-M., S.L.K. Cheung, S. Le Roy, H. van Oyen, C. Griffiths, J.-P. Michel et F.R. Herrmann, 2008: «Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003». *Comptes Rendus Biologies*, 331(2):171–178.

⁴ Shaposhnikov, D., B. Revich, T. Bellander, G. Bero Bedada, M. Bottai, T. Kharkova, E. Kvasha, E. Lezina, T. Lind, E. Semutnikova et G. Pershagen, 2014: «Mortality related to air pollution with the Moscow heat wave and wildfire of 2010». *Epidemiology* (Cambridge, Mass.), 25(3):359–364.

⁵ Voir <http://origin.who.int/globalchange/publications/heat-and-health/en/>.

⁶ Voir <https://www.reuters.com/article/us-australia-power/heat-wave-leaves-thousands-of-australian-homes-without-power-idUSKBN1FI0CO> et <https://www.cnn.com/2018/07/07/us/heat-wave-los-angeles-wxc/index.html>.



Mortalité quotidienne des personnes âgées de 65 ans ou plus en Angleterre, été 2016.
Source: Public Health England.

lors des incendies de 2018 en Scandinavie et en Californie, et dans la Fédération de Russie en 2010. Les périodes prolongées de températures diurnes et nocturnes élevées engendrent, sur le corps humain, un stress physiologique cumulatif qui renforce les principales causes de décès dans le monde, à savoir les maladies respiratoires et cardiovasculaires, le diabète sucré et la néphropathie. Qu'ils travaillent à l'intérieur ou à l'extérieur, les travailleurs sont particulièrement exposés à une chaleur excessive chronique, et la hausse des températures rend souvent le travail insupportable ou dangereux⁷. La fatigue professionnelle causée par la chaleur se répercute directement sur la santé des travailleurs, augmentant le risque de néphropathies et d'accidents du travail. Il faut également mentionner les effets socio-économiques des pertes de productivité – sachant que la capacité individuelle de vivre une vie saine et productive est indispensable à la réduction de la pauvreté et à la santé dans le monde.

EXPOSITION ACCRUE À LA CHALEUR DUE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Aucune population ne peut échapper à la hausse des températures ambiantes, mais certaines sont davantage exposées ou vulnérables d'un point de vue physique ou socio-économique au stress physiologique, à l'aggravation des maladies et au risque accru de décès causés par des températures supérieures à la normale. Il s'agit notamment des personnes âgées, des nourrissons et des enfants, des femmes enceintes, des travailleurs, des athlètes et des personnes qui pratiquent des activités et des loisirs de plein air (manifestations religieuses, festivals de musique, etc.) et des personnes démunies. En décembre 2018, des spécialistes de six continents ont signalé au Réseau

mondial d'information sur la santé et la chaleur (GHHIN) des changements importants observés dans les climatologies régionales, caractérisés par un accroissement sensible de la fréquence, de l'intensité et de la durée des épisodes de chaleur, accompagné d'un large éventail d'incidences sur la santé⁸.

L'exposition de la population à la chaleur augmente conformément aux prévisions, en raison de l'«inertie climatique» ou de l'ampleur du réchauffement climatique attendue, compte tenu des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère observés aujourd'hui. Les problèmes sociétaux liés à la chaleur seront aggravés par le réchauffement climatique jusqu'à la fin du vingt-et-unième siècle, quels que soient les moyens mis en œuvre pour atténuer le phénomène. Ces tendances sont autant de signaux d'alerte pour la communauté de la santé publique car, selon les observations, les épisodes de chaleur extrême augmentent en intensité, en fréquence et en durée.

Les effets néfastes sur la santé d'une exposition excessive à la chaleur peuvent être considérablement diminués si des systèmes d'alerte précoce appropriés, des mesures de préparation du public et des interventions sanitaires sont mis en œuvre de façon efficace. Par exemple, en Europe, il a été démontré que l'existence d'un système d'avis de vagues de chaleur permettait de réduire l'impact des vagues de chaleur sur différentes populations. Le GHHIN a été mis en place en 2018 pour renforcer la collaboration dans les disciplines pertinentes, et accélérer le partage des connaissances scientifiques et des outils de décision en vue d'améliorer la gestion mondiale des risques liés aux effets de la chaleur sur la santé publique.

⁷ Sherwood, S.C. et M. Huber, 2010: «An adaptability limit to climate change due to heat stress». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(21):9552–9555, DOI:10.1073/pnas.0913352107.

⁸ Premier forum mondial du Réseau mondial d'information sur la santé et la chaleur, voir www.ghhin.org.

Pollution de l'air et changement climatique









































Oksana Tarasova (OMM)

Malgré leurs interactions étroites, le changement climatique et la pollution de l'air continuent d'être considérés séparément, et traités par différentes communautés scientifiques et dans différents cadres politiques. Or il est impossible de classer les émissions anthropiques dans deux catégories distinctes – les polluants atmosphériques et les substances influant sur le climat – car de nombreux polluants de l'air tels que l'ozone troposphérique ou les aérosols ont des incidences directes ou indirectes sur le climat. La pollution de l'air elle-même a des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement (voir le graphique ci-après). D'après un rapport de l'OMS¹, plus de 90 % de la population urbaine mondiale respire un air extérieur dont la teneur en polluants dépasse les limites fixées dans ses directives. La pollution de l'air à l'intérieur et à l'extérieur des habitations figure au deuxième rang des causes principales de décès dans le monde lié à des maladies non transmissibles.

La qualité de l'air et le changement climatique ne sont pas seulement déterminés par des composants communs, ils sont aussi étroitement liés par des processus atmosphériques divers. Le second graphique ci-après illustre la complexité de ces interactions.

Les effets directs et indirects de la qualité de l'air sur le changement climatique résultent des interactions entre les polluants atmosphériques et le rayonnement solaire. Le forçage radiatif moyen de l'ozone à l'échelle du globe est semblable à celui du méthane (CH₄) et représente environ le quart de celui qui est imputable au dioxyde de carbone (CO₂)³. L'ozone troposphérique a des effets néfastes sur les écosystèmes, dont il réduit la capacité d'absorption du CO₂. L'ozone a un autre effet indirect sur le forçage radiatif qui produit l'effet inverse: la hausse de la concentration d'ozone s'accompagne d'une production accrue de radical hydroxyle, ce qui entraîne une réduction de la durée de vie du méthane dans l'atmosphère. Les matières particulaires, qui ont des effets néfastes sur la santé humaine, influent directement et indirectement sur le forçage radiatif. Selon leur nature, elles peuvent diffuser ou absorber directement le rayonnement incident, mais elles peuvent également agir comme des noyaux de condensation des nuages et donc influencer indirectement sur le forçage radiatif et les régimes météorologiques. Enfin, le dépôt des particules sur la neige et la glace modifie leur albédo.

Le changement climatique se répercute également sur la qualité de l'air car il modifie les conditions météorologiques (comme la température, les précipitations, la dynamique de la couche limite,

Polluant de l'air / Gaz à effet de serre	Durée de vie / Échelle	Incidence sur le climat	Incidences sur la santé et les écosystèmes	
Dioxyde de carbone (CO ₂)				 Durée de vie dans l'atmosphère = jours/semaines Échelle des incidences = locale/régionale
Gaz fluorés				 Durée de vie dans l'atmosphère = années Échelle des incidences = mondiale
Méthane (CH ₄)			 	 Réchauffement
Oxydes d'azote (NO _x)			 	 Refroidissement
Protoxyde d'azote (N ₂ O)				 Incidence sur la santé humaine
Matières particulaires			 	 Incidence sur les écosystèmes
Dioxyde de soufre (SO ₂)			 	 Pas d'incidence directe sur la santé humaine ou sur les écosystèmes*
Ozone troposphérique (O ₃)			 	
Composés organiques volatils (COV)/ monoxyde de carbone (CO)			 	

* Cela veut dire que la substance concernée n'a aucune incidence directe sur la santé humaine ou les écosystèmes, ou bien qu'elle n'est pas susceptible d'engendrer, via un processus chimique, une substance qui aurait une incidence directe sur la santé humaine et les écosystèmes.

Impact des polluants atmosphériques courants et des gaz à effet de serre sur le climat, la santé humaine et les écosystèmes, y compris l'agriculture.
Source: référence 2.

Current Opinion in Environmental Sustainability

l'humidité et la nébulosité) et influe sur les émissions naturelles. La hausse des températures entraîne un accroissement des émissions de composés organiques volatils qui sont les précurseurs de l'ozone troposphérique et des aérosols. Elle accélère également la formation d'ozone. Sous l'effet du changement climatique, les pics d'ozone devraient être encore plus prononcés en raison de ce que l'on appelle la «pénalité climatique». Également lié à l'évolution des régimes de transport et du brassage atmosphérique, le changement climatique peut accroître la fréquence des épisodes de pollution extrêmes en raison de la stagnation. De même, la multiplication des feux incontrôlés peut augmenter les niveaux de pollution, en particulier sous l'effet des aérosols. Enfin, l'évolution des régimes de précipitation se répercute sur le dépôt des polluants.

Malgré la prise de conscience croissante des fortes interactions entre les deux thématiques, les politiques de lutte contre la pollution de l'air et celles qui sont axées sur le changement climatique ne sont guère coordonnées. Il convient avant toute chose de trouver des solutions efficaces sur les deux tableaux, car les politiques climatiques ne favorisent pas nécessairement la réduction de la pollution de l'air, et vice-versa. Prenons l'exemple des biocarburants, qui entraînent une réduction du CO₂ mais contribuent à accroître la concentration

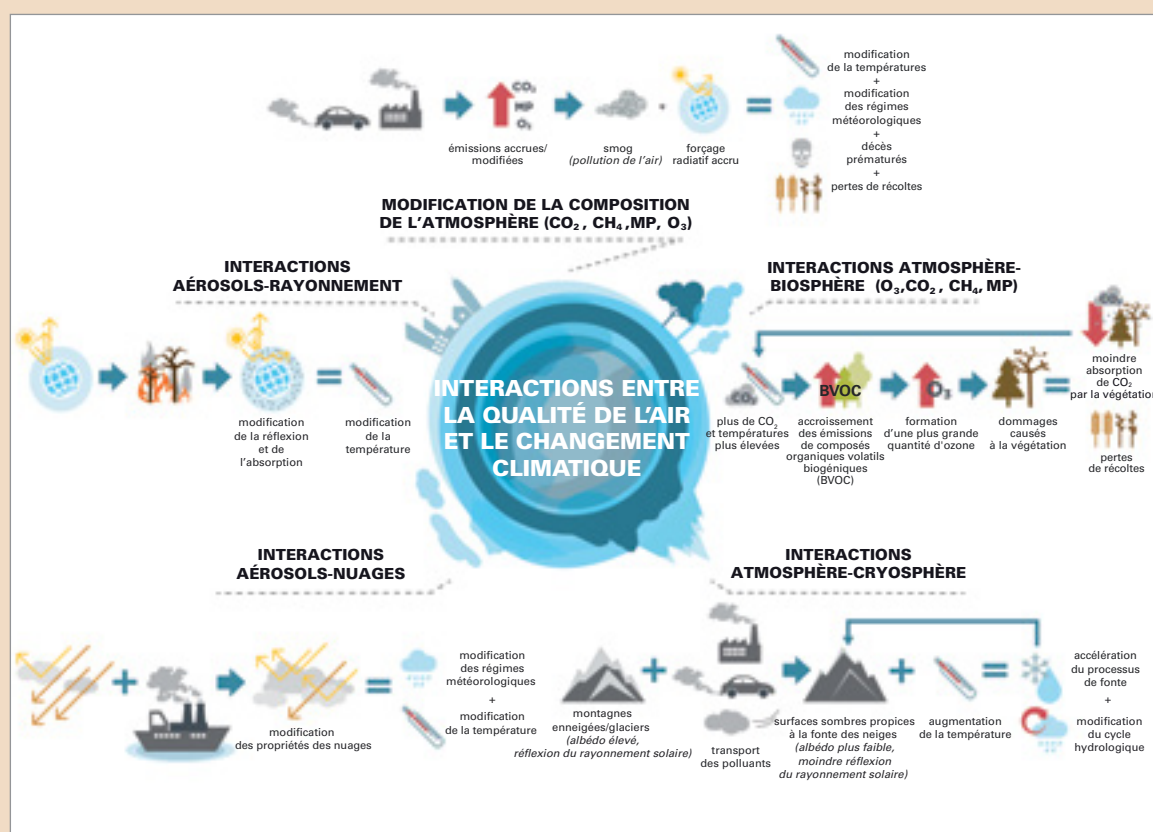
d'ozone troposphérique. Une approche concertée s'impose par conséquent au moment d'opter pour des politiques de lutte contre la pollution et le changement climatique, car il s'agit de prendre en compte tous les facteurs décrits plus haut. Cela devrait déboucher sur les meilleures stratégies environnementales, en termes de coûts sociaux et économiques.

¹ Organisation mondiale de la Santé, 2018: *COP24 Special Report: Health and Climate Change*. Genève, OMS, <https://www.who.int/globalchange/publications/COP24-report-health-climate-change/en/>.

² Melamed, M.L., J. Schmale et E. von Schneidmesser, 2016: «Sustainable policy – key considerations for air quality and climate change». *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 23:85–91, <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877343516301087>.

³ Organisation météorologique mondiale, 2018: *Bulletin de l'OMM sur les gaz réactifs – Faits saillants du Programme de la Veille de l'atmosphère globale*. N° 2. Genève.

⁴ von Schneidmesser, E., et al., 2015: «Chemistry and the linkages between air quality and climate change». *Chemical Reviews*, 115(10):3856–3897.



Vue d'ensemble des principales catégories d'interactions entre la qualité de l'air et le changement climatique, avec la description d'un exemple d'interaction ou de rétroaction pour chaque catégorie. Les sources d'émission sont présentées à titre illustratif, mais ne couvrent pas toutes celles qui sont liées à l'interaction décrite. Les éléments importants figurent entre parenthèses après la catégorie. Les matières particulières (MP) désignent l'ensemble des aérosols, à savoir les aérosols organiques, le carbone noir et le dioxyde de soufre (SO₂); l'ozone (O₃) englobe l'O₃ ainsi que ses composés précurseurs, les oxydes d'azote (NO_x), les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM), et le monoxyde de carbone (CO). Source: graphique extrait de la référence 4.

Aviation civile internationale et adaptation au changement climatique

Chrystelle Damar¹, Neil Dickson¹, Jane Hupe¹

¹ OACI Environnement

L'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) s'attache principalement à réduire l'incidence de l'aviation civile internationale sur le climat mondial, mais le changement climatique expose également le secteur aéronautique à des risques considérables et les travaux de l'OACI sur l'adaptation aux changements climatiques sont à la base des mesures visant à faire face à ces risques¹. L'un des enjeux essentiels consiste à concevoir et à mettre en place des infrastructures aéronautiques permettant de restreindre les émissions de CO₂ et de résister à des conditions météorologiques de plus en plus extrêmes, à la pénurie d'eau, aux tempêtes de sable ou à toute autre incidence du changement climatique.

L'OACI a récemment rédigé un rapport² faisant la synthèse des informations disponibles sur les incidences probables du changement climatique sur le secteur de l'aviation, afin de mieux comprendre les risques pour le trafic aérien et les infrastructures aéroportuaires. Ce rapport s'appuyait notamment sur l'examen de la littérature existante et sur une enquête adressée à tous les

États Membres de l'OACI dont l'objectif était de recueillir des informations sur le niveau de prise de conscience des incidences du changement climatique, sur la nature et les répercussions possibles de ces incidences sur l'aviation internationale, ainsi que sur le degré de préparation des différents acteurs du secteur aéronautique, tel qu'il est perçu par ces derniers.

Selon les principales conclusions de l'enquête, 74 % des personnes interrogées estiment que leur secteur subit déjà certaines incidences du changement climatique, et 17 % d'entre elles s'attendent à ce que des incidences surviennent avant 2030. Ces incidences potentielles du climat sur le secteur de l'aviation se déclinent en huit grandes catégories: l'élévation du niveau de la mer, l'intensification des tempêtes, l'évolution des régimes de précipitations, les variations de conditions de givrage, les fluctuations de la configuration des vents, la désertification et l'appauvrissement de la biodiversité. Les incidences potentielles du changement climatique sur les entreprises et l'économie, ainsi que l'évaluation des risques liés au changement climatique et les plans d'adaptation ont également été pris en compte.

Après avoir recensé les incidences mondiales sur le système de l'aviation, l'OACI a établi une carte des risques liés à ces incidences à l'échelle mondiale (voir figure ci-dessous). L'enquête a montré que 30 % des États qui ont répondu ont déjà mis en œuvre des mesures d'adaptation aux effets du climat, 25 % d'entre eux entendent le faire dans les cinq à dix prochaines années et 6 % indiquent n'avoir prévu aucune mesure. Il convient d'évaluer les risques liés au changement climatique afin de déterminer les vulnérabilités avant qu'une stratégie d'adaptation ne puisse être élaborée.

- ¹ Dans sa résolution A39-2 – «Exposé récapitulatif de la politique permanente et des pratiques de l'OACI dans le domaine de la protection de l'environnement – Changements climatiques», l'Assemblée de l'OACI demande (au Conseil) de «déterminer, en coopération avec d'autres organisations internationales compétentes et l'industrie, les incidences éventuelles des changements climatiques sur l'exploitation de l'aviation internationale et son infrastructure et de définir des mesures d'adaptation pour y faire face».
- ² Organisation de l'aviation civile internationale, 2019: Climate change: Adaptation. Climate adaptation synthesis analysis, <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/adaptation.aspx>.

L'OACI a établi, à partir des informations communiquées par ses États membres, une cartographie des risques climatiques qui indique la nature des retombées que devrait avoir le changement climatique sur l'aviation internationale.

Source: référence 2.



Concernant le degré de préparation du secteur mondial de l'aviation aux incidences du changement climatique, la majorité des États qui ont répondu a déclaré que le secteur s'attachait activement à atténuer le changement climatique, mais qu'il importait d'orienter les efforts vers l'adaptation à ce changement, y compris en renforçant la coordination mondiale. Selon de nombreux États, il faut intensifier les mesures de sensibilisation, la formation et le renforcement des capacités, et mieux comprendre les vulnérabilités spécifiques de ce secteur. Les États interrogés ont également évoqué la nécessité de procéder à des évaluations des risques et d'élaborer des politiques et des plans relatifs

aux mesures d'adaptation en vue de renforcer la résilience au niveau mondial.

L'Organisation de l'aviation civile internationale envisage de coopérer avec des spécialistes internationaux pour définir la première méthode reconnue à l'échelle mondiale pour évaluer les risques liés au changement climatique. La pierre angulaire de cette méthode sera le recensement, la caractérisation et la visualisation des incidences du changement climatique sur l'aviation internationale, et l'inventaire des risques auxquels les opérations et l'infrastructure peuvent être exposés compte tenu des projections et des scénarios relatifs au changement climatique.

Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser à:

Organisation météorologique mondiale

7 bis, avenue de la Paix – Case postale 2300 – CH-1211 Genève 2 – Suisse

Bureau de la communication et des relations publiques

Tél.: +41 (0) 22 730 83 14/15 – Fax: +41 (0) 22 730 80 27

Courriel: cpa@wmo.int

public.wmo.int