

Des progrès insuffisants et trop lents

L'incapacité à s'adapter aux changements
climatiques met le monde en danger

Résumé analytique



Rapport 2022 sur l'écart entre les besoins et les perspectives
en matière d'adaptation aux changements climatique

La présente publication peut être reproduite en tout ou partie et sous quelque forme que ce soit à des fins pédagogiques et non lucratives, sans autorisation spéciale du détenteur du droit d'auteur, à condition de la citer comme source. Le Programme des Nations Unies pour l'environnement apprécierait de recevoir un exemplaire de toute publication utilisant le présent document comme source.

La présente publication ne peut être ni revendue ni utilisée à quelque fin commerciale que ce soit sans l'autorisation écrite préalable du Programme des Nations Unies pour l'environnement. Toute demande d'autorisation, mentionnant l'objectif et la portée de la reproduction, doit être adressée à la Direction de la Division de la communication, Programme des Nations Unies pour l'environnement, P.O. Box 30552, Nairobi, 00100, Kenya.

Déni de responsabilité

Les appellations employées dans le présent document et la présentation des données qui y figurent n'impliquent aucune prise de position de la part du Secrétariat des Nations Unies quant au statut juridique des pays, territoires ou villes, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

Certains graphiques ou illustrations figurant dans le présent document peuvent avoir été adaptés de contenus publiés par des tiers afin d'enrichir les interprétations des auteurs à l'aide des messages clés se dégageant des illustrations ou graphiques en question. Dans ce cas, les données présentées n'impliquent aucune prise de position de la part du Programme des Nations Unies pour l'environnement quant aux documents sources des graphiques ou illustrations utilisés.

La mention de toute société commerciale ou de tout produit dans la présente publication ne signifie nullement que le Programme des Nations Unies pour l'environnement ou les auteurs de ce document approuvent les sociétés ou produits cités. L'utilisation d'informations issues de la présente publication à des fins de publicité n'est pas autorisée. Les noms et symboles de marques commerciales sont utilisés à des fins rédactionnelles sans aucune intention de porter atteinte au droit des marques ou au droit d'auteur.

Les opinions exprimées dans la présente publication sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles du Programme des Nations Unies pour l'environnement. Nous déplorons toute erreur ou omission susceptible d'avoir été commise involontairement.

© Cartes, photos et illustrations, comme précisé.

Pour citer ce document

Programme des Nations Unies pour l'environnement (2022). Rapport 2022 sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière d'adaptation aux changements climatiques : Des progrès insuffisants et trop lents – L'incapacité à s'adapter aux changements climatiques met le monde en danger – Résumé analytique. Nairobi. <https://www.unep.org/adaptation-gap-report-2022>

Co-produit avec :

Centre pour le climat du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) à Copenhague et Programme scientifique mondial pour l'adaptation (WASP)



copenhagen
climate centre



Soutenu par :



MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS
OF DENMARK



Belgium

partner in development



Sweden
Sverige

Le PNUE promeut des pratiques respectueuses de l'environnement au niveau mondial tout comme dans ses propres activités. Notre politique de distribution vise à réduire l'empreinte carbone du PNUE.

Des progrès insuffisants et trop lents

L'incapacité à s'adapter aux changements
climatiques met le monde en danger

Résumé analytique

Rapport 2022 sur l'écart entre
les besoins et les perspectives
en matière d'adaptation aux
changements climatique

Résumé analytique

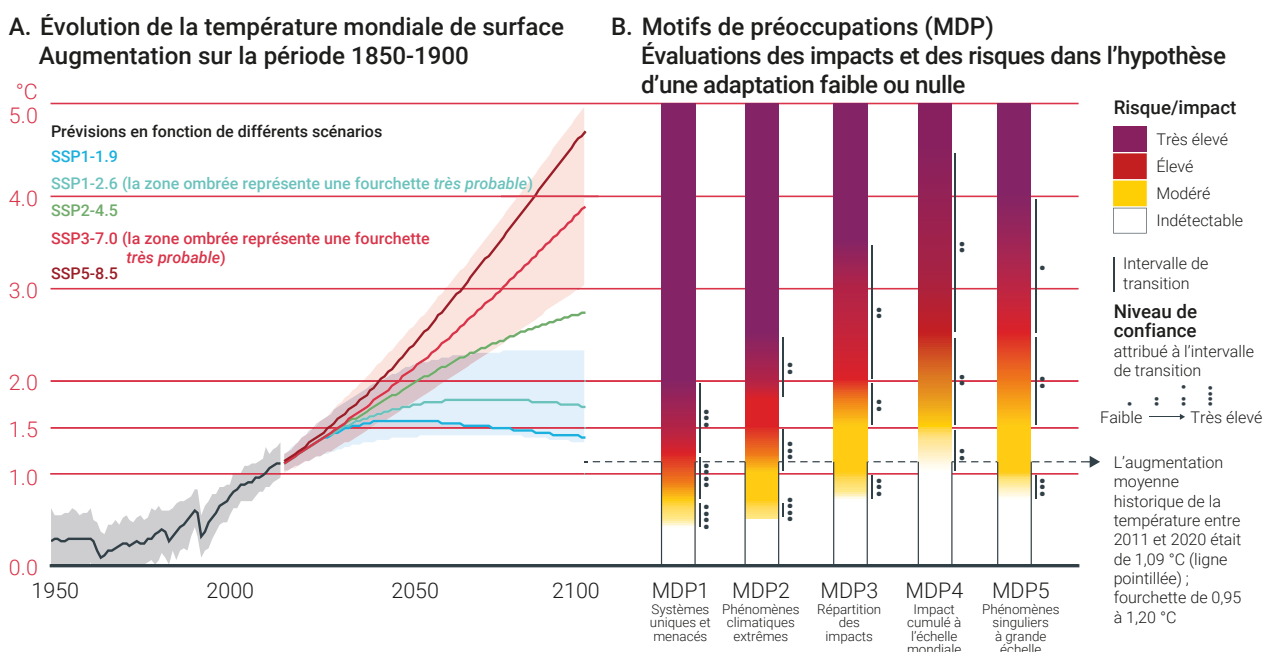
Les risques climatiques augmentent à mesure que le réchauffement planétaire s'accélère. Des mesures fortes d'atténuation et d'adaptation sont essentielles pour éviter d'atteindre les limites strictes de l'adaptation.

Les effets du changement climatique s'intensifient dans le monde entier. La sécheresse qui sévit dans la Corne de l'Afrique depuis plusieurs années, les inondations sans précédent qui frappent l'Asie du Sud ou encore les fortes chaleurs estivales et les sécheresses record enregistrées dans de nombreuses régions de l'hémisphère Nord témoignent, parmi d'autres, de l'augmentation incessante des risques climatiques. Selon le sixième Rapport d'évaluation (WGII AR6) du Groupe de travail II du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du

climat (GIEC), le monde sera confronté à de graves risques climatiques avant la fin du siècle, même dans le cadre de scénarios à faibles émissions (figure ES.1).

Il est, à ce titre, primordial de déployer des mesures ambitieuses et accélérées pour s'adapter aux changements climatiques, parallèlement à de véritables efforts d'atténuation. Cependant, même des investissements d'envergure en matière d'adaptation ne sauraient prévenir totalement les impacts liés au changement climatique. Par conséquent, les pertes et des dommages encourus ne peuvent être ignorés et le problème doit être pris à bras-le-corps au sein de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et aux niveaux nationaux.

Figure ES.1 Motifs de préoccupation évalués dans le sixième Rapport du GIEC (WGII AR6)



Source: GIEC (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Tignor, M., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Alegría, A. et al. (dir.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, et New York, NY, États-Unis. 3056. Disponible à l'adresse suivante : doi:10.1017/9781009325844.

L'adaptation ne doit pas être mise de côté en raison de l'existence de facteurs aggravants et non climatiques à grande échelle.

La guerre en Ukraine, les pénuries d'approvisionnement à l'échelle mondiale et la pandémie mondiale de COVID-19 ponctuent l'évolution de la crise de la sécurité énergétique et alimentaire, faisant augmenter le coût de la vie et l'inflation dans de nombreux pays à travers le monde. Un volontarisme politique sans précédent et une intensification de la stratégie

d'investissements à long terme en faveur de mesures d'adaptation sont nécessaires de toute urgence pour éviter que le déficit d'adaptation ne se creuse. Il est en outre essentiel que la communauté internationale investisse dans les questions climatiques s'appuie sur le Pacte de Glasgow pour le climat, adopté lors de la vingt-sixième session de la Conférence des Parties à la CCNUCC (COP 26), en 2021, et qu'elle approfondisse les engagements collectifs en faveur de l'objectif de zéro émission nette, de l'adaptation, du financement de l'action climatique, et de la gestion des pertes et des dommages.

Les efforts mondiaux déployés en matière de planification, de financement et de mise en œuvre des mesures d'adaptation continuent d'être porteurs de progrès graduels, sans toutefois parvenir à suivre le rythme de l'augmentation des risques climatiques.

Il est donc nécessaire d'accélérer plus que jamais la recherche scientifique, d'innover en matière de planification, d'améliorer le financement et la mise en œuvre, de renforcer le suivi et l'évaluation, et de resserrer la coopération internationale. Les processus en cours dans le cadre des négociations des Nations Unies sur le climat, notamment à travers le Programme de travail de Glasgow-Sharm el-Sheikh sur l'objectif mondial en matière d'adaptation et le bilan mondial, offrent une excellente occasion de donner suite aux conclusions de la présente publication et du Rapport WGII AR6 du GIEC.

Plus de huit pays sur dix disposent désormais d'au moins un instrument national de planification de l'adaptation ; ces outils s'améliorent et incluent davantage les groupes défavorisés.

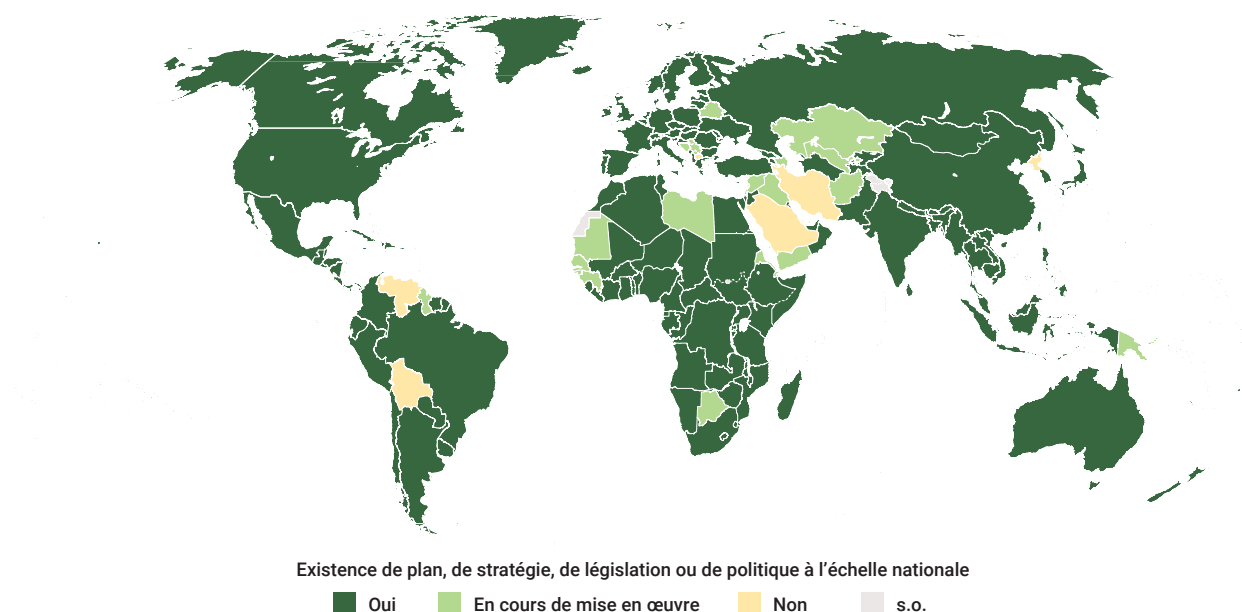
Au moins 84 % des Parties à la CCNUCC, soit 5 % de plus que l'année dernière, ont établi des plans, des stratégies, des législations et des politiques d'adaptation, et environ la moitié d'entre elles disposent d'au moins deux instruments de planification (figure ES.2). Plus d'un tiers des 198 Parties à la CCNUCC ont défini des objectifs quantifiés et assortis d'échéances, qui constituent une part croissante des composantes de la planification de l'adaptation au niveau national. Toutefois, la majorité de ces objectifs ne rendent pas compte des résultats des mesures d'adaptation, comme l'évolution du degré de résilience ou de vulnérabilité des

populations et des écosystèmes face aux changements climatiques. Les pays étendent également l'applicabilité des instruments de planification de l'adaptation en définissant des objectifs et des échéances, en tenant compte des changements climatiques futurs, en renforçant le socle scientifique, et en améliorant les capacités et les partenariats nécessaires pour garantir une mise en œuvre efficace. En outre, près de 90 % des instruments de planification analysés prennent en compte les questions de genre ou les groupes historiquement défavorisés, tels que les populations autochtones.

Le déficit de financement de l'adaptation dans les pays en développement est probablement cinq à dix fois supérieur aux flux financiers internationaux actuels en la matière et continue de se creuser.

Le financement international de l'adaptation dans les pays en développement continue d'augmenter ; il atteignait 28,6 milliards de dollars des États-Unis (É.-U.) en 2020, ce qui représentait 34 % du financement climatique total destiné aux pays en développement, soit une augmentation de 4 % en comparaison avec 2019. Les flux financiers destinés à la fois à l'adaptation et à l'atténuation en 2020 étaient inférieurs d'au moins 17 milliards de dollars É.-U. par rapport aux 100 milliards de dollars É.-U. promis aux pays en développement, d'après les chiffres avancés par les bailleurs de fonds climatiques eux-mêmes. Si l'augmentation annuelle à partir de 2019 se poursuivait dans les années à venir, l'objectif de 100 milliards de dollars É.-U. ne serait pas atteint avant 2025. Il convient donc d'accélérer considérablement le financement de l'adaptation, en particulier si l'on entend doubler les flux financiers de 2019 d'ici à 2025, comme le préconise le Pacte de Glasgow pour le climat.

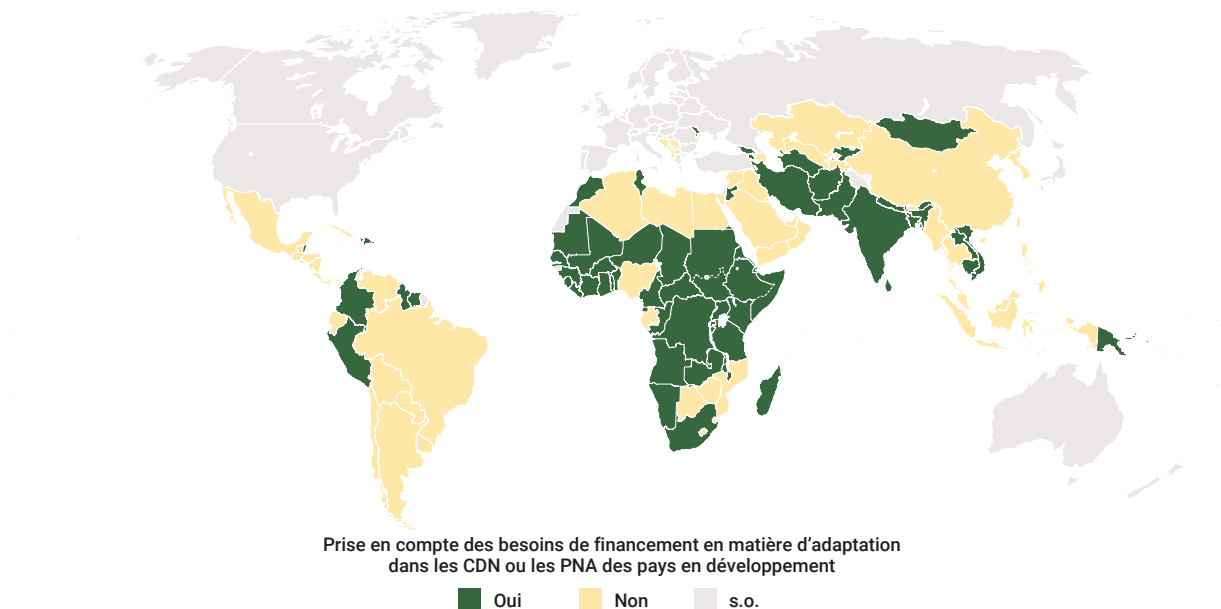
Figure ES.2 État de la planification de l'adaptation dans le monde au 31 août 2022



Compte tenu de l'inflation, les coûts/besoins annuels estimés en matière d'adaptation sont de l'ordre de 160 à 340 milliards de dollars É.-U. à l'horizon 2030 et de 315 à 565 milliards de dollars É.-U. à l'horizon 2050. Cette fourchette est conforme aux dernières conclusions estimant les besoins de financement à 71 milliards de dollars É.-U. par an d'ici à 2030 sur la base des

contributions déterminées au niveau national (CDN) et des plans nationaux d'adaptation (PNA) de 76 pays en développement (figure ES.3). Au vu de cette évaluation, les coûts/besoins estimés en matière d'adaptation sont actuellement entre cinq et dix fois supérieurs aux flux de financement internationaux correspondants, et ce déficit continue de s'accroître.

Figure ES.3 Informations relatives aux besoins de financement de l'adaptation figurant dans les CDN ou les PNA des pays en développement

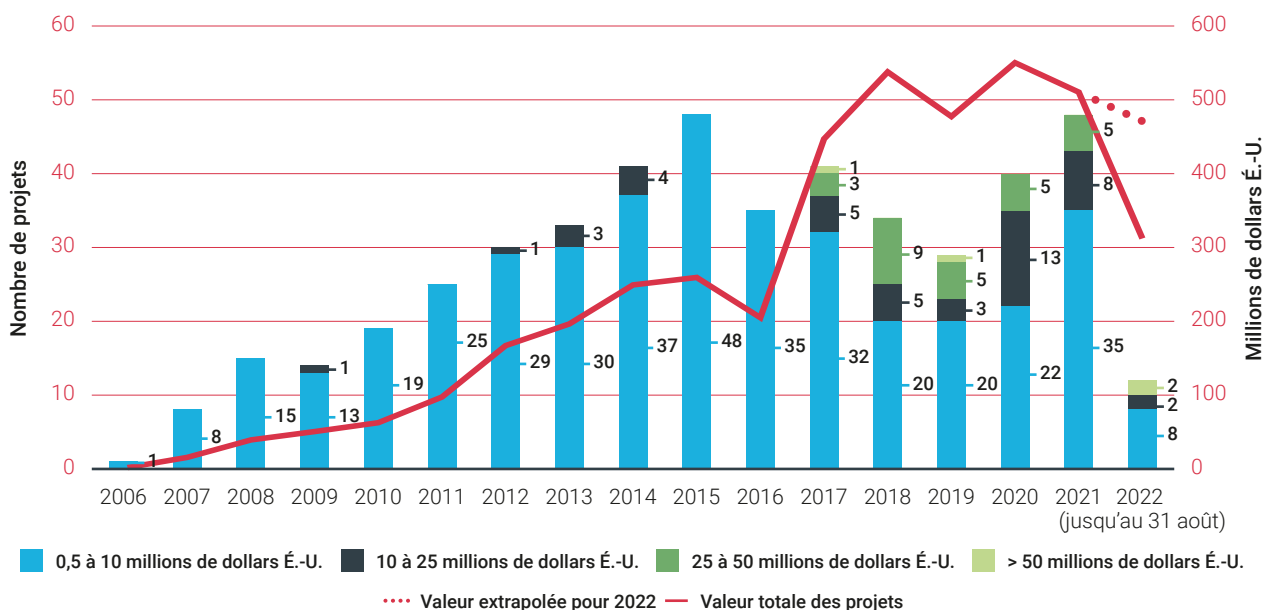


La mise en œuvre des mesures d'adaptation progresse, sans toutefois parvenir à suivre le rythme des impacts des changements climatiques.

Le nombre et l'ampleur des mesures d'adaptation soutenues par les fonds internationaux pour le climat (Fonds d'adaptation, Fonds vert pour le climat, Fonds pour les pays les moins avancés et Fonds spécial pour les changements climatiques du Fonds pour l'environnement mondial) ainsi que les financements multilatéraux et le soutien des donateurs bilatéraux continuent d'augmenter, à un rythme qui pourrait toutefois ralentir (figure ES.4). Les mesures sont concentrées dans les secteurs de l'agriculture, de l'eau et des écosystèmes, mais aussi les secteurs transversaux, et portent principalement sur la variabilité des précipitations, la sécheresse et les inondations.

Toutefois, à défaut d'une reconfiguration radicale du soutien financier, les impacts des changements climatiques s'accroîtront avant que les mesures d'adaptation n'aient pu être appliquées, ce qui creuserait davantage le déficit de mise en œuvre. En outre, seules trois des dix principales mesures d'adaptation (correspondant à environ 40 % du volume de financement) rapportées par les bailleurs de fonds climatiques à l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) visent explicitement la réduction des risques climatiques. Quant aux autres mesures, on ne connaît pas bien le degré d'adaptation envisagé. Une meilleure catégorisation du soutien financier pourrait permettre de clarifier sa contribution à l'adaptation.

Figure ES.4 Nombre de nouveaux projets d'adaptation par année de lancement, volume et valeur du financement annuel combiné au titre du Fonds d'adaptation, du Fonds vert pour le climat, du Fonds pour les pays les moins avancés et du Fonds spécial pour les changements climatiques du Fonds pour l'environnement mondial, au 31 août 2022



Si les mesures actuelles en matière d'adaptation sont loin de répondre aux besoins, le respect des bonnes pratiques de planification et de mise en œuvre peut néanmoins contribuer à améliorer leur efficacité.

- le recours à des indicateurs inadéquats mesurant les phénomènes facilement quantifiables, mais souvent difficiles à valider et interpréter en matière de réduction des risques climatiques.

Les mesures d'adaptation n'entraînent que des changements graduels, ne tiennent généralement pas compte des futurs changements climatiques et peuvent renforcer les vulnérabilités existantes ou introduire de nouveaux risques, en particulier au détriment des populations les plus fragiles. Ces lacunes s'expliquent principalement par les raisons suivantes :

- une participation insuffisante des parties prenantes, caractérisée par l'accaparement des ressources par les élites et l'exclusion des groupes marginalisés, notamment les femmes, les populations autochtones et les communautés locales ;
- une attention insuffisante portée aux conditions locales et à l'appropriation passant par la participation effective de la population locale à la conception et à la mise en œuvre des mesures d'adaptation ;
- la conversion d'activités de développement en mesures d'adaptation, sans tenir spécifiquement compte des risques climatiques, ce qui se traduit souvent par des avantages marginaux en matière de résilience ou par une mauvaise adaptation ;
- l'accent mis sur le court terme et la non-prise en compte des risques climatiques futurs, au détriment de la viabilité des solutions d'adaptation sur la durée ;
- une interprétation trop étroite de ce qui constitue une adaptation réussie, tendant à ignorer les différents points de vue (concernant la finalité et l'efficacité des interventions d'adaptation parmi les populations ciblées) ainsi que les éléments participant de la transformation sociale et de la justice climatique ;

Si les données permettant de quantifier l'efficacité et l'adéquation des mesures d'adaptation sont limitées, elles demeurent nécessaires, et ce de toute urgence, en particulier là où l'élévation des températures devrait être importante et où il existe des risques complexes ou en cascade. Par ailleurs, les données existantes montrent que les solutions hybrides qui prennent en compte les multiples dimensions des risques climatiques, notamment en associant des informations sur le climat, des infrastructures et des solutions fondées sur la nature et les institutions, tendent à être plus efficaces que les solutions isolées. Pour être efficaces et adéquates à long terme, les solutions doivent également être adaptées au contexte et s'attaquer aux causes profondes de la vulnérabilité, telles que les inégalités structurelles sous-jacentes et les désavantages liés au genre, en plus de réduire l'exposition et la vulnérabilité aux risques climatiques.

Il existe un certain nombre de principes généraux permettant de garantir que les mesures d'adaptation sont pertinentes, appropriées, durables, équitables et efficaces. Formulés dans des termes comparables au sein des différentes études publiées, ces principes peuvent se résumer comme suit :

- garantir l'inclusion effective des parties prenantes, mais aussi des communautés locales, des peuples autochtones, des femmes et des groupes marginalisés dans la prise de décisions et le développement de la planification et de la mise en œuvre des mesures d'adaptation, afin de refléter les différents intérêts, valeurs et perspectives, et d'obtenir des résultats équitables, justes et fondés en matière d'adaptation ;

- veiller à la transparence, à la responsabilisation et à la prévisibilité du soutien, ainsi qu'à la prise en compte de l'adaptation dans les priorités et stratégies nationales de développement et les objectifs de développement durable ;
 - déployer des programmes souples et une gestion adaptative de la mise en œuvre, afin de tenir compte du retour d'informations et des enseignements tirés, et de renforcer l'efficacité ;
 - promouvoir l'investissement dans les capacités locales, le renforcement des capacités et des structures de gouvernance démocratique en appui à l'autonomisation et à la gestion des risques climatiques à des fins de durabilité ;
 - tenir compte des risques futurs, notamment des trajectoires climatiques et des incertitudes, afin de réduire au maximum les conséquences involontaires et la mauvaise adaptation, tout en révisant ses ambitions à la hausse en matière d'adaptation ;
 - tirer parti des connaissances locales, traditionnelles, autochtones et scientifiques dans les processus de conception, de mise en œuvre, de suivi et d'évaluation, afin de renforcer l'adhésion aux projets et leur appropriation ;
 - lutter contre les inégalités et les facteurs structurels de vulnérabilité, en plus de réduire l'exposition ou la vulnérabilité aux risques climatiques, afin d'emprunter la voie d'un développement résilient aux changements climatiques.
- En tenant compte de ces principes lors de la conception, de la mise en œuvre et de l'évaluation des interventions d'adaptation, les chances d'obtenir des résultats effectifs, suffisants et durables seront d'autant plus élevées (figure ES.5).

Figure ES.5 Une « architecture » pour la réduction des risques, comprenant les principes, les mesures et les résultats pouvant servir de base à l'évaluation de l'efficacité réelle ou probable des mesures d'adaptation



La prise en compte des corrélations entre les mesures d'adaptation et les actions d'atténuation en amont des processus de planification, de financement et de mise en œuvre peut multiplier les avantages connexes.

Il est nécessaire de prendre des mesures d'atténuation fortes pour limiter le réchauffement planétaire à 1,5 °C au-dessus des niveaux préindustriels et éviter d'atteindre la plupart des limites strictes de l'adaptation. Un soutien accru en matière d'adaptation est nécessaire pour réduire au maximum les

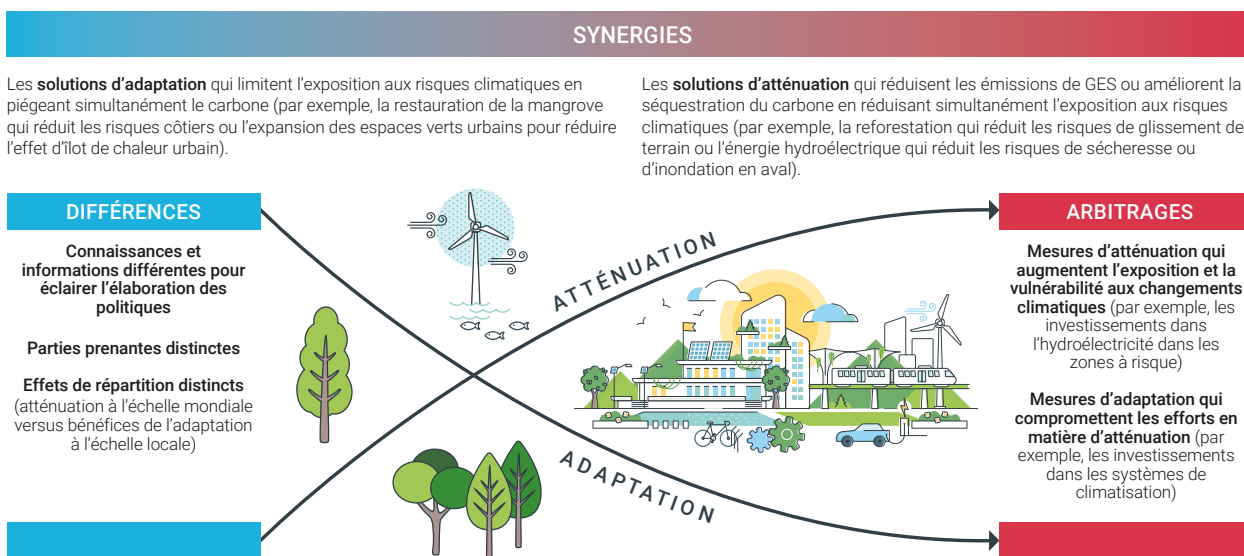
impacts climatiques ; des efforts d'atténuation trop modestes entraîneront des pertes et des dommages plus importants. Compte tenu de cette interdépendance, et afin de renforcer les synergies tout en limitant les arbitrages potentiels, le présent rapport consacre une partie des chapitres – portant sur la planification, le financement et la mise en œuvre – aux liens entre adaptation et atténuation.

Tenir compte à la fois de l'adaptation et de l'atténuation dans la planification, le financement et la mise en œuvre accroît

les perspectives de co-bénéfices – y compris secondaires et non marchands – et limite les arbitrages potentiels ou les maladaptations (à l'image de l'hydroélectricité qui réduit la sécurité alimentaire, ou de l'irrigation qui augmente la consommation d'énergie). En outre, certaines solutions climatiques réduisent efficacement les risques climatiques et contribuent simultanément à l'atténuation (figure ES.6). Cependant, si les solutions fondées sur la nature, telles que la plantation et la conservation des mangroves, la restauration des marais salants ou la protection des tourbières, réduisent efficacement les risques climatiques et éliminent le carbone de l'atmosphère, l'accélération des changements climatiques affecte tout autant leur capacité à offrir ces services climatiques.

Les données relatives à la planification, au financement et à la mise en œuvre montrent que les co-bénéfices de l'adaptation-atténuation sont principalement recherchés dans les secteurs de l'agriculture, de la sylviculture, de la gestion des écosystèmes, de l'eau et de l'énergie. Toutefois, les obstacles, les arbitrages et les risques potentiels sont fréquemment négligés, et les mesures d'adaptation et d'atténuation sont souvent mises en œuvre indépendamment les unes des autres. Il sera important de remédier à ces lacunes pour contribuer à l'objectif de l'article 2.1(c) de l'Accord de Paris, à savoir rendre « les flux financiers compatibles avec un profil d'évolution vers un développement à faible émission de gaz à effet de serre et résilient aux changements climatiques ».

Figure ES.6 Harmoniser les mesures d'atténuation et d'adaptation pour faire face aux changements climatiques : différences, synergies et arbitrages



Source : Organisation pour la coopération et le développement économiques (2021a). Strengthening adaptation-mitigation linkages for a low-carbon, climate-resilient future. Documents de travail sur l'environnement de l'OCDE, no 23. Éditions OCDE, Paris. Disponible à l'adresse suivante : <https://doi.org/10.1787/6d79ff6a-en>.

En résumé, malgré quelques avancées prometteuses, nous devons faire beaucoup plus pour parvenir à un développement résilient aux changements climatiques, dans une perspective de zéro émission nette.

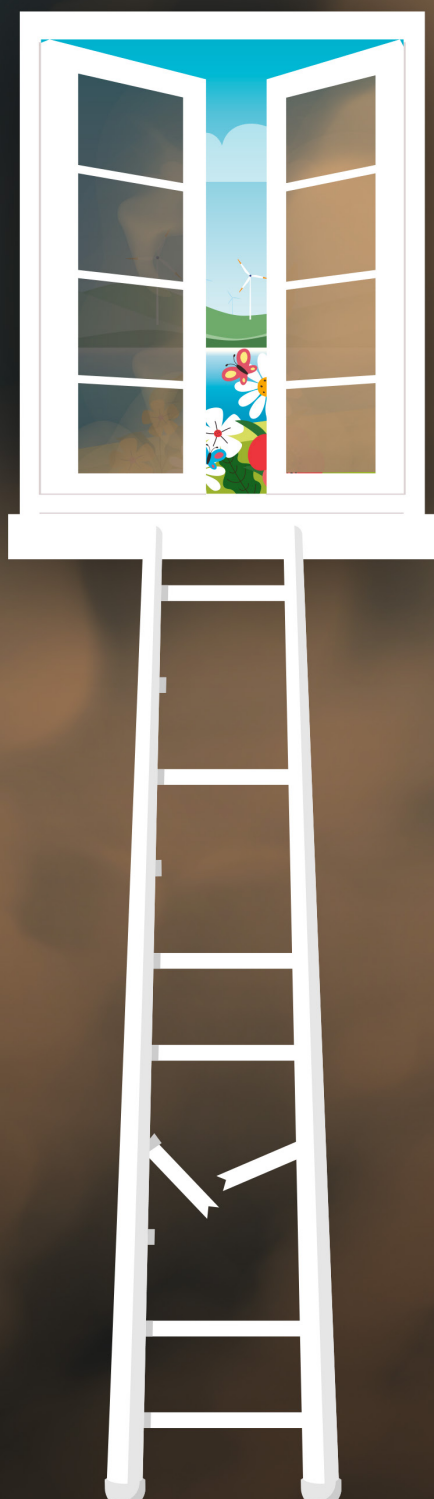
- L'accélération du réchauffement planétaire accroît les impacts climatiques et les pays risquent ainsi fortement de faire face à des limites d'adaptation et à des pertes et dommages intolérables.
- Pour éviter d'atteindre les limites strictes de l'adaptation, il est urgent d'intensifier les efforts d'atténuation et d'adopter des mesures d'adaptation qui permettront d'aller au-delà d'un changement graduel minimal.
- Bien que les initiatives de planification, de financement et de mise en œuvre des mesures d'adaptation soient de plus en plus nombreuses, nous devons accélérer et élargir considérablement nos efforts si nous voulons éviter que le déficit en matière d'adaptation ne se creuse davantage.
- Si les mesures actuelles en matière d'adaptation sont loin de répondre aux besoins, le respect des bonnes pratiques de planification et de mise en œuvre est essentiel pour améliorer leur efficacité.
- Même si les co-bénéfices sous-tendant la prise en compte anticipée des corrélations entre adaptation et atténuation sont indéniables, il faut redoubler d'efforts pour venir à bout des stratégies de cloisonnement et éviter d'éventuels arbitrages.
- Des facteurs aggravants et non climatiques à grande échelle continuent de mettre en péril les financements et les résultats en matière d'adaptation. Une ferme volonté politique est donc nécessaire pour que la communauté internationale investisse dans les questions climatiques s'appuie sur le Pacte de Glasgow pour le climat, ratifié lors de la COP 26, en 2021, et approfondisse les engagements collectifs en faveur de l'objectif de zéro émission nette, de l'adaptation, du financement de l'action climatique, et de la gestion des pertes et des dommages.



United Nations Avenue, Gigiri
P O Box 30552, 00100 Nairobi, Kenya
Tél. : +254 720 200200
communication@unep.org
www.unep.org/fr

Une fenêtre d'opportunité se referme

La crise climatique exige une transformation
rapide des sociétés



Résumé exécutif

© 2022 Programme des Nations Unies pour l'environnement

ISBN : 978-92-807-3979-4

Numéro de travail : DEW/2477/NA

La présente publication peut être reproduite en tout ou partie et sous quelque forme que ce soit à des fins pédagogiques et non lucratives, sans autorisation spéciale du détenteur du droit d'auteur, à condition de la citer comme source. Le Programme des Nations Unies pour l'environnement apprécierait de recevoir un exemplaire de toute publication utilisant le présent document comme source.

La présente publication ne peut être ni revendue ni utilisée à quelque fin commerciale que ce soit sans l'autorisation écrite préalable du Programme des Nations Unies pour l'environnement. Toute demande d'autorisation, mentionnant l'objectif et la portée de la reproduction, doit être adressée à la Direction de la Division de la communication, Programme des Nations Unies pour l'environnement, P.O. Box 30552, Nairobi, 00100, Kenya.

Déni de responsabilité

Les appellations employées dans le présent document et la présentation des données qui y figurent n'impliquent aucune prise de position de la part du Secrétariat des Nations Unies quant au statut juridique des pays, territoires ou villes, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

Certains graphiques ou illustrations figurant dans le présent document peuvent avoir été adaptés de contenus publiés par des tiers afin d'enrichir les interprétations des auteurs à l'aide des messages clés se dégageant des illustrations ou graphiques en question. Dans ce cas, les données présentées n'impliquent aucune prise de position de la part du Programme des Nations Unies pour l'environnement quant aux documents sources des graphiques ou illustrations utilisés.

La mention de toute société commerciale ou de tout produit dans la présente publication ne signifie nullement que le Programme des Nations Unies pour l'environnement ou les auteurs de ce document approuvent les sociétés ou produits cités. L'utilisation d'informations issues de la présente publication à des fins de publicité n'est pas autorisée. Les noms et symboles de marques commerciales sont utilisés à des fins rédactionnelles sans aucune intention de porter atteinte au droit des marques ou au droit d'auteur.

Les opinions exprimées dans la présente publication sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles du Programme des Nations Unies pour l'environnement. Nous déplorons toute erreur ou omission susceptible d'avoir été commise involontairement.

© Cartes, photos et illustrations, comme précisé.

Pour citer ce document

Programme des Nations Unies pour le développement (2022). *Rapport 2022 sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction des émissions. Une fenêtre d'opportunité se referme – la crise climatique exige une transformation rapide des sociétés – Résumé exécutif*. Nairobi. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022>

Co-produit avec :

Centre pour le climat du PNUE à Copenhague (PNUE-CCC) et CONCITO – le groupe de réflexion vert du Danemark



copenhagen
climate centre



CONCITO
DENMARK'S GREEN THINK TANK

Soutenu par :



MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS
OF DENMARK



Government of the Netherlands



Sweden
Sverige

Le PNUE promeut des pratiques respectueuses de l'environnement au niveau mondial tout comme dans ses propres activités. Notre politique de distribution vise à réduire l'empreinte carbone du PNUE.

Une fenêtre d'opportunité se referme

**La crise climatique exige une
transformation rapide des sociétés**

Résumé exécutif

**Rapport 2022 sur l'écart
entre les besoins et les
perspectives en matière de
réduction des émissions**

Résumé exécutif

1. Un témoignage de l'inaction face à la crise climatique et du besoin de transformation

Cette treizième édition du Rapport sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction des émissions témoigne de l'insuffisance des mesures prises face à la crise climatique mondiale et appelle à une transformation rapide des sociétés. Depuis la Vingt-sixième Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (COP26), seuls des progrès très limités ont été accomplis en vue de resserrer l'immense écart en matière de réduction des émissions à l'horizon 2030, c'est-à-dire l'écart entre les réductions d'émissions promises et les réductions d'émissions nécessaires pour atteindre l'objectif de température de l'Accord de Paris, comme l'illustrent les résultats ci-dessous :

- ▶ Les contributions déterminées au niveau national (CDN) nouvelles et mises à jour soumises par les pays depuis la COP26 contribuent à réduire les émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) prévues à l'horizon 2030 de seulement 0,5 gigatonne d'équivalent de dioxyde de carbone (Gt éq-CO₂), par rapport aux prévisions d'émissions basées sur les promesses en matière d'atténuation formulées à la COP26.
- ▶ Les pays ne sont même pas en passe d'atteindre les CDN qui sont pourtant très insuffisantes au niveau mondial. Si les pays conservent leurs politiques actuelles, les émissions mondiales de GES seraient de 58 Gt éq-CO₂ en 2030. L'écart de mise en œuvre à l'horizon 2030 entre ce chiffre et les CDN est d'environ 3 Gt éq-CO₂ pour les CDN non conditionnelles et de 6 Gt éq-CO₂ pour les CDN conditionnelles.
- ▶ L'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction des émissions à l'horizon 2030 est de 15 Gt éq-CO₂ par an pour atteindre l'objectif de 2 °C et de 23 Gt éq-CO₂ pour l'objectif de 1,5 °C. Ce chiffre suppose la mise en œuvre intégrale des CDN non conditionnelles et correspond à une probabilité de 66 % de rester sous la limite de température convenue. Si, par ailleurs, les CDN conditionnelles sont intégralement mises en œuvre, chacun de ces écarts se réduit d'environ 3 Gt éq. CO₂.
- ▶ Sans nouvelles mesures, les politiques actuellement en place devraient entraîner un réchauffement planétaire de 2,8 °C au cours du XXI^e siècle. La mise en œuvre des scénarios établis limiterait cette hausse à 2,6 °C pour les CDN non conditionnelles et à 2,4 °C pour les CDN conditionnelles.
- ▶ Afin de limiter le réchauffement de la planète à 1,5 °C, les émissions annuelles mondiales de GES doivent diminuer de 45 % en tout juste huit ans par rapport aux prévisions d'émissions établies dans le cadre des politiques actuellement en vigueur. Elles devront en outre continuer à chuter après 2030 afin d'éviter d'épuiser le budget limité de carbone atmosphérique restant.

Comme l'illustrent ces principaux résultats, le changement progressif n'est plus une option : des transformations économiques à grande échelle sont nécessaires pour ne pas

refermer la fenêtre d'opportunité et manquer de limiter le réchauffement climatique à bien moins de 2 °C, de préférence à 1,5 °C. Chaque fraction de degré compte.

L'année dernière, lors de la COP26, l'urgence de la situation a été reconnue, et les pays ont été invités à « revoir et rehausser » leurs objectifs à l'horizon 2030 avant la fin de l'année 2022. L'une des questions clés de la présente édition du Rapport sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction des émissions est donc la suivante : quels progrès ont été accomplis depuis la COP26 pour rehausser les ambitions et les actions, et comment les transformations nécessaires peuvent-elles être engagées et accélérées ?

Le présent Rapport s'intéresse aux transformations requises dans les secteurs de l'approvisionnement en électricité, de l'industrie, des transports et du bâtiment. Il étudie en outre les transformations systémiques transversales des systèmes alimentaire et financier, illustrant l'immense potentiel de réduction des émissions au-delà des engagements actuels en matière d'atténuation.

La crise climatique fait partie de la triple crise planétaire du changement climatique, de la pollution et de la perte de biodiversité. Cette année, la communauté internationale est témoin de l'aggravation des crises énergétique, alimentaire et du coût de la vie, exacerbées par la guerre en Ukraine, qui entraînent toutes d'immenses souffrances humaines.

Plusieurs améliorations et actualisations méthodologiques ont été apportées afin d'affiner les estimations et de garantir la cohérence entre les différents chapitres du présent Rapport. Ces changements, ainsi que leur incidence sur l'interprétation des résultats du Rapport, sont décrits en détail dans les chapitres et les annexes en ligne du présent document. Pour cette raison, il convient de noter que les estimations présentées ici ne sont pas directement comparables à celles des rapports précédents.

2. Les émissions mondiales de GES pourraient atteindre un niveau record en 2021

Les estimations relatives au secteur de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie (UTCATF) actuellement disponibles s'arrêtent en 2020, ce qui restreint la portée de notre analyse des émissions mondiales totales de GES de 2021. Cependant, les émissions mondiales de GES de 2021, **à l'exclusion de** celles du secteur UTCATF, ont été provisoirement estimées à 52,8 Gt éq-CO₂, soit une légère augmentation par rapport à 2019, ce qui laisse penser que les émissions mondiales **totales** de GES de 2021 seront similaires, voire supérieures, aux niveaux records de 2019 (figure ES.1).

Cela confirme les conclusions précédentes : la riposte mondiale à la pandémie de COVID-19 a entraîné une réduction sans précédent, mais de courte durée, des émissions mondiales. Les émissions totales de GES à l'échelle mondiale ont reculé de 4,7 % entre 2019 et 2020. Cette baisse est due à une forte diminution (5,6 %) des émissions de CO₂ provenant de l'industrie et des combustibles fossiles en 2020. Toutefois, les émissions de CO₂ ont rebondi aux niveaux de 2019 en 2021, les émissions mondiales de charbon dépassant les niveaux de 2019. Les émissions de méthane et de protoxyde d'azote sont restées stables entre 2019 et 2021, tandis que celles de GES fluoré ont continué à grimper.

Si les émissions mondiales de GES n'ont cessé d'augmenter au cours des 10 dernières années, le taux de croissance a ralenti par rapport à la décennie précédente. Entre 2010 et 2019, la croissance annuelle moyenne était de 1,1 %, contre 2,6 % entre 2000 et 2009. Trente-cinq pays représentant environ 10 % des émissions mondiales ont plafonné leurs émissions de CO₂ et d'autres GES. Leurs efforts ont toutefois été contrebalancés par l'augmentation des émissions mondiales dans d'autres régions du monde.

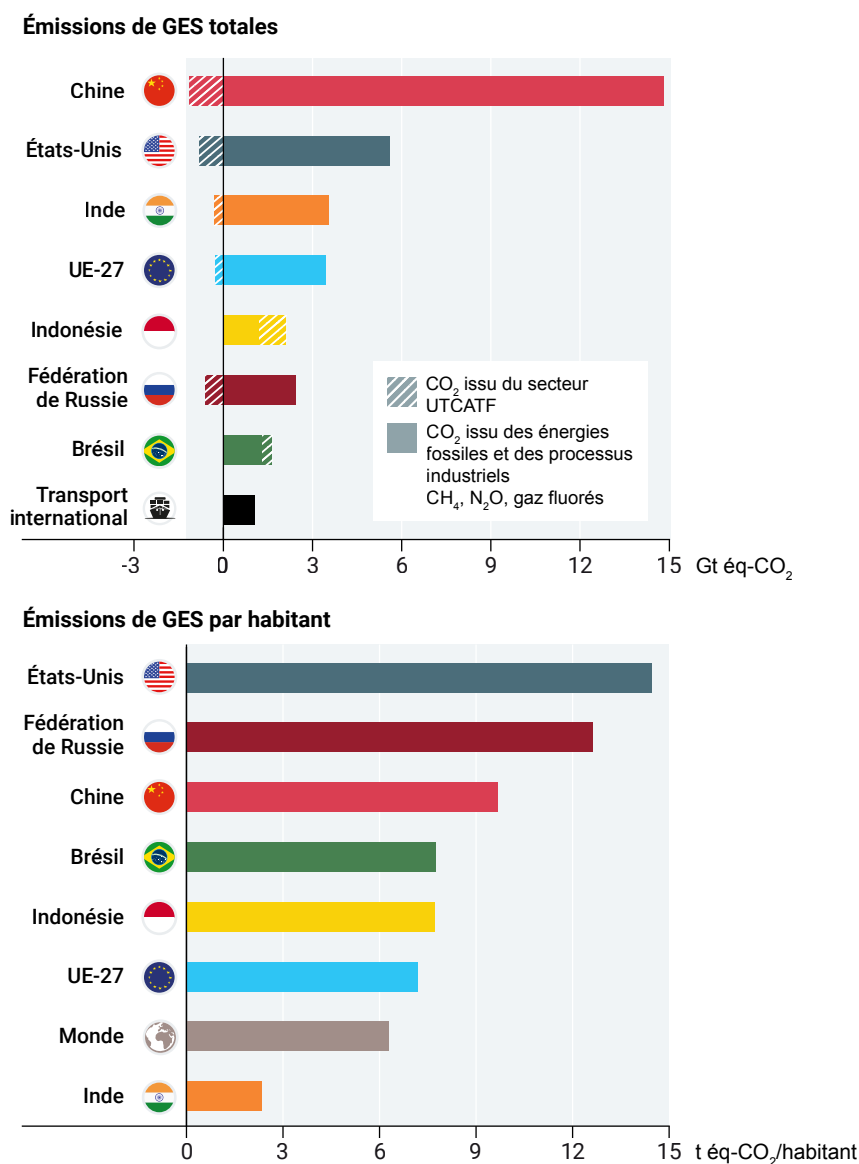
Les estimations des émissions et des puits de GES du secteur UTCATF sont importantes, mais aussi très incertaines. D'après les inventaires nationaux, ce secteur constituerait un puits net dans 17 des États membres du G20 en 2020, notamment en Chine, aux États-Unis d'Amérique, en Inde, dans les 27 pays membres de l'Union européenne (UE-27) et dans la Fédération de Russie. Les émissions de GES ne relevant pas du secteur UTCATF sont donc plus élevées dans ces pays ; elles s'établissent ainsi à 33 % dans la Fédération de Russie, 17 % aux États-Unis d'Amérique, 9 % en Inde, et environ 8 % en Chine et dans l'UE-27. En revanche, le secteur UTCATF est un émetteur net en Indonésie et au Brésil, représentant respectivement 44 et 22 % des émissions nationales.

3. Les émissions de GES sont très inégales d'une région, d'un pays ou d'un ménage à l'autre

Les sept principaux émetteurs (Chine, UE-27, Inde, Indonésie, Brésil, Fédération de Russie et États-Unis d'Amérique) et le transport international représentaient 55 % des émissions mondiales de GES en 2020 (figure ES.1). Collectivement, les membres du G20 sont responsables de 75 % des émissions mondiales de GES.

Les émissions par habitant varient considérablement d'un pays à l'autre (figure ES.1). La moyenne mondiale des émissions de GES par habitant (secteur UTCATF compris) était de 6,3 t éq-CO₂ en 2020. Les États-Unis d'Amérique restent largement au-dessus de ce niveau (14 t éq-CO₂), suivis par la Fédération de Russie (13 t éq-CO₂), la Chine (9,7 t éq-CO₂), le Brésil et l'Indonésie (environ 7,5 t éq-CO₂), et l'Union européenne (7,2 t éq-CO₂). L'Inde (2,4 t éq-CO₂) reste très en dessous de la moyenne mondiale. En moyenne, les pays les moins avancés émettent 2,3 t éq-CO₂ par habitant et par an.

Figure ES.1 Émissions de GES (totales et par habitant) des principaux émetteurs en 2020 (y compris le secteur UTCATF basé sur l'inventaire)



Les émissions liées à la consommation sont également très inégales entre les pays et à l'intérieur de leurs frontières. Lorsque les émissions liées à la consommation des ménages et aux investissements publics et privés sont attribuées aux ménages, et que ces derniers sont classés en fonction de leurs émissions de GES (hors UTCATF), la moitié des ménages les plus pauvres émettent en moyenne 1,6 t éq-CO₂ par habitant et représentent 12 % du total mondial, tandis que les 1 % des ménages les plus riches émettent en moyenne 110 t éq-CO₂ par habitant et représentent 17 % du total. Les ménages à fortes émissions de GES étant présents dans toutes les grandes économies, d'importantes inégalités existent désormais, aussi bien entre les pays qu'à l'intérieur de leurs frontières.

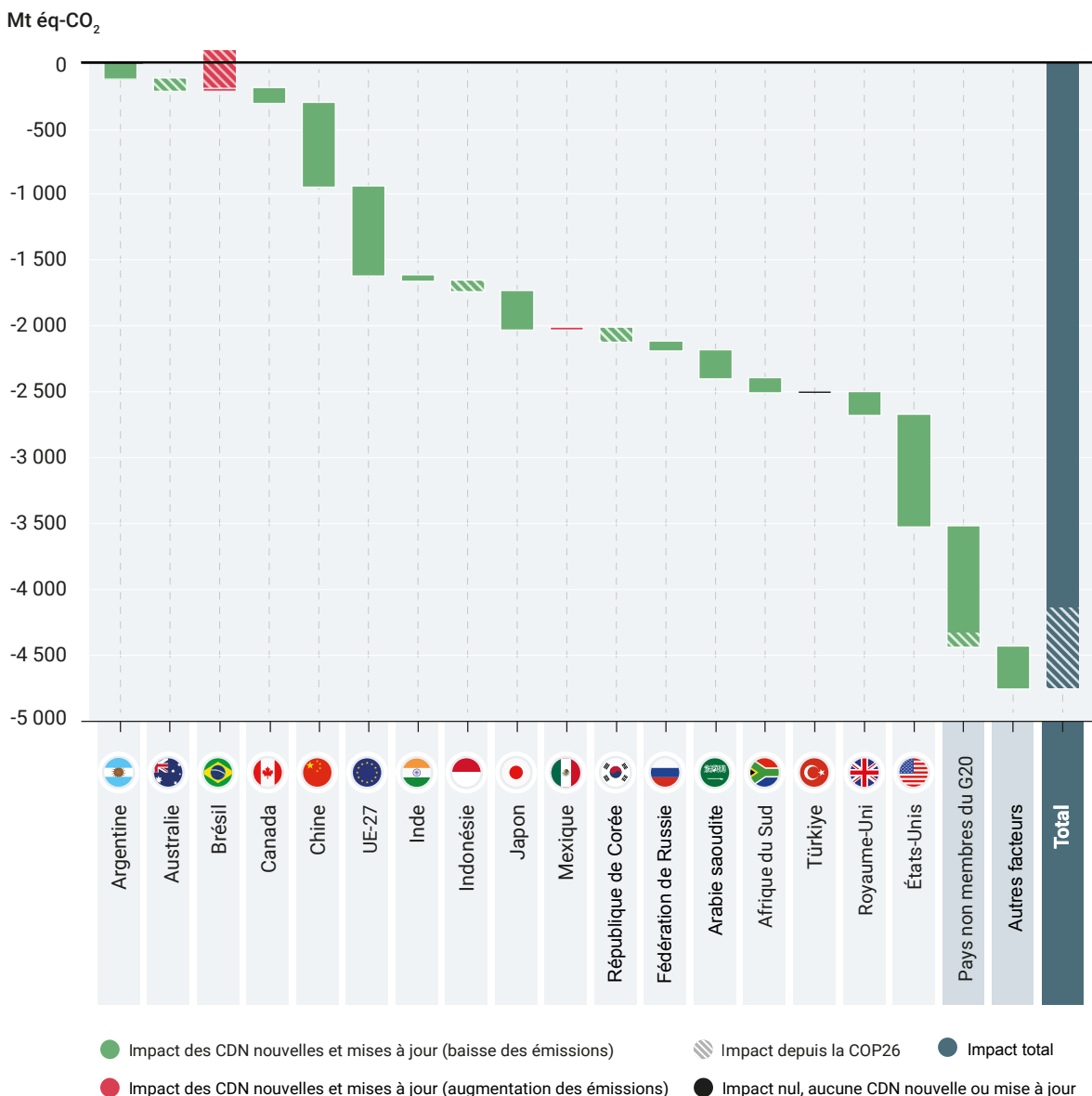
4. Malgré l'appel lancé aux pays pour qu'ils s'efforcent de « revoir et rehausser » leurs objectifs à l'horizon 2030, les progrès accomplis depuis la COP 26 sont très insuffisants

Dans le cadre du cycle quinquennal de mise en œuvre d'actions toujours plus ambitieuses au titre de l'Accord de Paris, les pays ont été invités à soumettre des CDN nouvelles ou mises à jour à

temps pour la COP26. Adopté en 2021, à l'occasion de la COP26, le Pacte de Glasgow pour le climat invite lui aussi les pays à revoir et rehausser leurs objectifs d'atténuation à l'horizon 2030 afin de s'aligner sur l'objectif de température de l'Accord de Paris. Entre le 1^{er} janvier 2020 et le 23 septembre 2022 (date butoir définie pour les besoins du présent Rapport), 166 parties représentant environ 91 % des émissions mondiales de GES, avaient soumis des CDN nouvelles ou mises à jour, contre 152 parties à la COP26. L'Union européenne et ses 27 membres ne soumettant qu'une seule CDN, 139 CDN nouvelles ou mises à jour ont été soumises. Par rapport aux CDN initiales, une part plus importante a défini des objectifs en matière d'émissions de GES et un plus grand nombre comprend des éléments non conditionnels, et davantage de secteurs et de gaz sont généralement pris en compte.

Au total, si elles sont pleinement mises en œuvre, les CDN non conditionnelles nouvelles ou mises à jour devraient permettre, d'ici à 2030, une réduction annuelle supplémentaire de 4,8 Gt éq-CO₂ par rapport aux CDN initiales. Les progrès réalisés depuis la COP26 représentent un recul d'environ 0,5 Gt éq-CO₂, résultant principalement des CDN nouvelles ou mises à jour de l'Australie, du Brésil, de l'Indonésie et de la République de Corée (figure ES.2).

Figure ES.2 Impact sur les émissions mondiales de GES à l'horizon 2030 des CDN non conditionnelles nouvelles ou mises à jour par rapport aux CDN initiales



5. Les membres du G20 sont très en retard dans la réalisation de leurs engagements en matière d'atténuation à l'horizon 2030, ce qui entraîne un déficit de mise en œuvre

La plupart des membres du G20 ayant défini des objectifs plus ambitieux dans leurs CDN depuis 2020 viennent de commencer la mise en œuvre de politiques et de mesures pour atteindre ces nouveaux objectifs. Ceux qui devraient actuellement atteindre les objectifs définis dans leurs CDN n'ont pas mis à jour leurs CDN initiales ou n'ont pas rehaussé (ou seulement modérément) leurs niveaux cibles dans leurs CDN mises à jour. Tous les autres membres du G20 auront besoin d'adopter des politiques supplémentaires pour pouvoir honorer leurs CDN.

L'estimation centrale des prévisions des émissions globales des membres du G20 à l'horizon 2030, qui tient compte des politiques actuelles, a diminué de 1,3 Gt eq-CO_2 par rapport à l'évaluation de 2021, principalement en raison des réductions d'émissions prévues par la loi sur la réduction de l'inflation aux États-Unis d'Amérique (environ 1 Gt eq-CO_2).

Collectivement, les membres du G20 ne sont pas en passe d'atteindre leurs CDN, tant nouvelles que mises à jour. D'après les profils d'évolution actuels définis dans les études indépendantes, il existe un écart de mise en œuvre, défini comme la différence entre les émissions prévues dans le cadre des politiques actuelles et les émissions prévues dans le cadre d'une mise en œuvre intégrale des CDN. Pour les membres du G20, ce déficit de mise en œuvre est de 1,8 Gt eq-CO_2 par an à l'horizon 2030. Pour deux membres du G20 en particulier, la Fédération de Russie et la Turquie, les émissions prévues au titre de leurs CDN ont toujours été nettement supérieures aux profils d'évolution actuels, ce qui réduit le déficit de mise en œuvre par rapport à ce que l'on peut raisonnablement attendre. Si les prévisions relatives aux CDN sont remplacées par les profils d'évolution actuels pour ces deux pays, il manquerait aux membres du G20 2,6 Gt eq-CO_2 par an pour atteindre leurs CDN d'ici à 2030.

Au-delà des membres du G20, l'écart mondial de mise en œuvre à l'horizon 2030 est estimé à environ 3 Gt eq. CO_2 pour les CDN non conditionnelles et à 6 Gt eq. CO_2 pour les CDN conditionnelles.

6. À l'échelle mondiale, les CDN sont très insuffisantes et l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction des émissions reste élevé

L'écart en matière de réduction des émissions d'ici à 2030 est défini comme la différence entre les niveaux que devrait atteindre le total des émissions mondiales de GES si les CDN étaient pleinement mises en œuvre et le total des émissions mondiales de GES correspondant aux scénarios à moindre coût qui permettent de limiter le réchauffement planétaire à 2 °C, 1,8 °C ou 1,5 °C, avec des niveaux de probabilité variables.

Les engagements actuels des pays, tels qu'exprimés dans leurs CDN non conditionnelles et conditionnelles à l'horizon 2030, devraient permettre de réduire les émissions mondiales de 5 % et 10 %, respectivement, par rapport aux politiques actuelles, en supposant qu'ils soient pleinement appliqués. Afin de limiter le réchauffement de la planète à moins de 2 °C et 1,5 °C, les émissions mondiales de GES doivent diminuer de 30 % et 45 %, respectivement, par rapport aux prévisions d'émissions établies dans le cadre des politiques actuellement en vigueur.

La mise en œuvre intégrale des CDN non conditionnelles devrait entraîner un écart de 23 Gt eq-CO_2 (fourchette : 19-25) avec le scénario visant l'objectif de 1,5 °C (tableaux ES.1 et ES.2 et figure ES.3). Cette estimation est inférieure d'environ 5 Gt eq-CO_2 à celle de l'édition 2021 du Rapport sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction des émissions. Toutefois, cette différence est presque entièrement due aux actualisations méthodologiques et aux mises à jour des scénarios visant un réchauffement de 1,5 °C. Les émissions à l'horizon 2030 sont plus élevées dans le cadre des scénarios actualisés visant un réchauffement de 1,5 °C, car ceux-ci font démarrer les réductions à partir des émissions historiques les plus récentes, qui ont augmenté au cours des cinq dernières années. Cela n'est pas sans conséquence car, en moyenne, la communauté internationale a moins de chances de maintenir effectivement le réchauffement à 1,5 °C dans le cadre de ces scénarios. Si les CDN conditionnelles sont elles aussi intégralement mises en œuvre, l'écart en matière de réduction des émissions pour l'objectif de 1,5 °C est réduit à 20 Gt eq-CO_2 (fourchette : 16-22 Gt eq-CO_2).

L'écart en matière de réduction des émissions entre les CDN non conditionnelles et les profils d'évolution visant l'objectif de 2 °C est d'environ 15 Gt eq-CO_2 (fourchette : 11-17 Gt eq-CO_2), ce qui représente une augmentation d'environ 2 Gt eq-CO_2 par rapport à l'année dernière. Cette augmentation s'explique principalement par le fait que le rapport de cette année corrige les incohérences relatives aux émissions historiques à des fins d'harmonisation. Si les CDN conditionnelles sont elles aussi intégralement mises en œuvre, l'écart en matière de réduction des émissions pour l'objectif de 2 °C est réduit à 12 Gt eq-CO_2 (fourchette : 8-14 Gt eq. CO_2).

Selon les profils d'évolution actuels, les émissions devraient atteindre 58 Gt eq-CO_2 en 2030. C'est 3 Gt eq-CO_2 de plus par rapport à l'estimation du Rapport de l'année dernière. Environ la moitié de cette augmentation s'explique par les efforts d'harmonisation, le quart, par la modification des potentiels de réchauffement planétaire, et le reste par le choix méthodologique consistant à ne retenir que les études de modèles qui tiennent explicitement compte des estimations liées aux CDN et aux profils d'évolution les plus récents.

Figure ES.3 Émissions mondiales de GES selon différents scénarios et écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction des émissions en 2030 (estimation médiane et du 10^e au 90^e percentile)

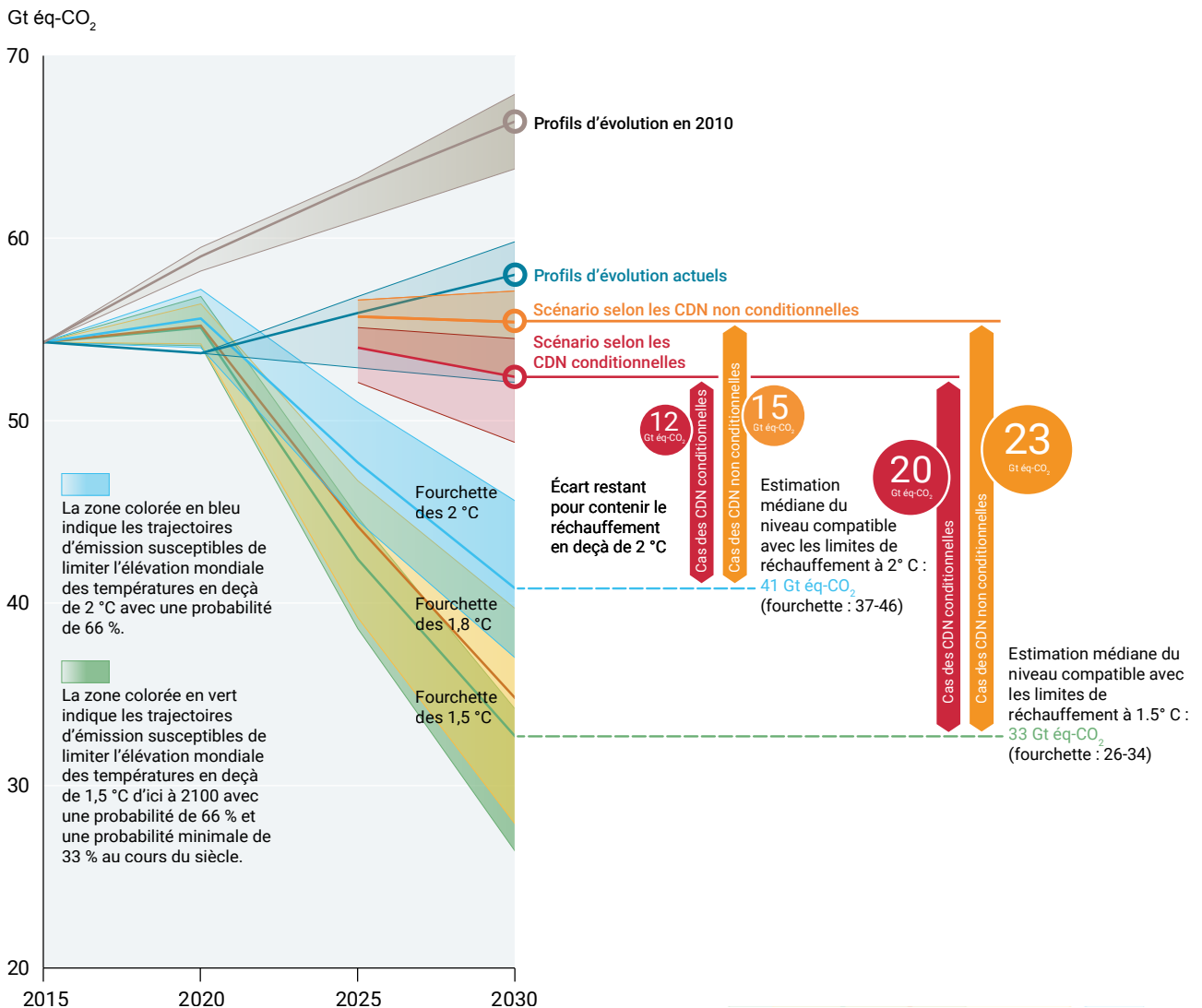


Tableau ES.1 Émissions totales de GES à l'échelle mondiale en 2030 et écart estimé en matière de réduction des émissions selon différents scénarios

	Émissions de GES en 2030 (Gt éq-CO ₂) Médiane et fourchette	Écart estimé entre les besoins et les perspectives en matière de réduction des émissions en 2030 (Gt éq-CO ₂)		
		En deçà de 2 °C	En deçà de 1,8 °C	En deçà de 1,5 °C
Profils d'évolution de 2010	66 (64-68)	-	-	-
Profils d'évolution actuels	58 (52-60)	17 (11-19)	23 (17-25)	25 (19-27)
CDN non conditionnelles	55 (52-57)	15 (12-16)	21 (17-22)	23 (20-24)
CDN conditionnelles	52 (49-54)	12 (8-14)	18 (14-20)	20 (16-22)

Remarque: Les fourchettes et les chiffres relatifs à l'écart sont calculés sur la base des chiffres originaux (sans arrondi), qui peuvent être différents des chiffres arrondis figurant dans le tableau. Les chiffres sont arrondis à la Gt éq-CO₂ supérieure. Les émissions de GES ont été cumulées avec les valeurs du potentiel de réchauffement planétaire sur une durée de 100 ans figurant dans le sixième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

Tableau ES.2 Émissions totales de GES à l'échelle mondiale en 2030 et caractéristiques du réchauffement planétaire dans le cadre de différents scénarios compatibles avec le maintien du réchauffement planétaire en deçà de certaines limites de température

Scénario	Nombre de scénarios	Émissions totales de GES à l'échelle mondiale (Gt éq-CO ₂)		Températures estimées			Catégorie de scénario la plus proche
		En 2030	En 2050	50 % de probabilité	66 % de probabilité	90 % de probabilité	Catégorie de scénarios du Groupe de travail III du sixième Rapport d'évaluation du GIEC
En deçà de 2 °C (66 % de probabilité)*	195	41 (37-46)	20 (16-24)	Plafonnement : 1,7-1,8 °C En 2100 : 1,4-1,7 °C.	Plafonnement : 1,8-1,9 °C En 2100 : 1,6-1,9 °C	Plafonnement : 2,2-2,4 °C En 2100 : 2,0-2,4 °C	C3a
En deçà de 1,8 °C (66 % de probabilité)*	139	35 (28-40)	12 (8-16)	Plafonnement : 1,5-1,7 °C En 2100 : 1,3-1,6 °C	Plafonnement : 1,6-1,8 °C En 2100 : 1,4-1,7 °C	Plafonnement : 1,9-2,2 °C En 2100 : 1,8-2,2 °C	Sans objet
En deçà de 1,5 °C (66 % en 2100 avec un dépassement faible ou nul)*	50	33 (26-34)	8 (5-13)	Plafonnement : 1,5-1,6 °C En 2100 : 1,1-1,3 °C	Plafonnement : 1,6-1,7 °C En 2100 : 1,2-1,5 °C	Plafonnement : 1,9-2,1 °C En 2100 : 1,6-1,9 °C	C1a

* Les valeurs représentent la médiane et la fourchette du 10^e au 90^e percentiles pour l'ensemble des scénarios. Le pourcentage de probabilité fait référence au plafonnement du réchauffement à n'importe quel moment du XXI^e siècle dans le cadre des scénarios visant un réchauffement en deçà de 1,8 °C ou 2,0 °C. Si l'on parvient à des émissions nettes négatives de CO₂ durant la seconde moitié du siècle, le réchauffement planétaire peut être encore réduit par rapport à ces caractéristiques de réchauffement maximal, comme l'illustrent les colonnes « Températures estimées ». S'agissant du scénario visant un réchauffement inférieur à 1,5 °C, la probabilité correspond au réchauffement planétaire en 2100, tandis que la caractéristique « dépassement faible ou nul » consiste à faire en sorte que les prévisions ne dépassent pas 1,5 °C avec plus de 67 % de probabilité au cours du XXI^e siècle ou, en d'autres termes, que la probabilité la plus faible que le réchauffement soit limité à 1,5 °C au cours du XXI^e siècle ne soit jamais inférieure à 33 %. Cette définition est identique à celle de la catégorie C1 utilisée dans le sixième Rapport d'évaluation du Groupe de travail III du GIEC. Contrairement au GIEC (2022), le Rapport sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction des émissions sélectionne également les scénarios selon qu'ils supposent ou non des mesures immédiates.

Remarque: Dans ce tableau, les émissions de GES ont été cumulées avec les valeurs du potentiel de réchauffement planétaire sur une durée de 100 ans qui figurent dans le sixième Rapport d'évaluation du GIEC.

7. Sans mesures supplémentaires, les politiques actuelles conduiront à un réchauffement planétaire de 2,8 °C d'ici la fin du siècle. La mise en œuvre des scénarios établis limiterait cette hausse à 2,6 °C pour les CDN non conditionnelles et à 2,4 °C pour les CDN conditionnelles

On estime que la poursuite des efforts d'atténuation des changements climatiques au niveau induit par les CDN non conditionnelles actuelles limiterait le réchauffement à environ 2,6 °C au cours du 21^e siècle (fourchette : 1,9-3,1 °C), avec une probabilité de 66 %, et la hausse des températures devrait se poursuivre après 2100, étant donné qu'il n'est pas encore prévu d'atteindre zéro émission nette de CO₂.

La poursuite de ces efforts au niveau induit par les CDN conditionnelles réduirait ces projections d'environ 0,2 °C supplémentaire, soit un réchauffement de 2,4 °C (fourchette : 1,8-3,0 °C), avec une probabilité de 66 %. Les politiques actuelles n'étant pas suffisamment ambitieuses pour respecter ne serait-ce que les CDN non conditionnelles, on estime que leur poursuite entraînerait une hausse d'environ 0,2 °C des estimations de 2,8 °C (fourchette : 1,9-3,3 °C), avec une probabilité de 66 %.

Le niveau du réchauffement planétaire ne se rapprochera de l'objectif de température de l'Accord de Paris qu'au prix d'un respect absolu des engagements extrêmement incertains pris en faveur de l'objectif de zéro émission nette. L'atteinte de ce dernier, couplée à l'application des CDN non conditionnelles, permettrait selon les prévisions de limiter la hausse des

températures mondiales à 1,8 °C (fourchette : 1,8-2,1 °C), avec une probabilité de 66 %. De même, si les CDN conditionnelles et les engagements étaient honorés et suivis par des objectifs de zéro émission nette, le réchauffement planétaire devrait se limiter à 1,8 °C (fourchette : 1,7-1,9 °C), avec une probabilité de 66 %. Cependant, dans la plupart des cas, ni les politiques adoptées ni les CDN ne constituent pour l'instant une stratégie crédible pour atteindre les objectifs nationaux de zéro émission nette.

8. La crédibilité et la faisabilité des engagements de zéro émission nette restent très incertaines

À l'échelle mondiale, 88 parties à l'origine d'environ 79 % des émissions mondiales de GES ont désormais adopté des objectifs de zéro émission nette, qu'ils ont inscrits dans la loi (21), dans un document d'orientation tel qu'une CDN ou une stratégie à long terme (47), ou officialisés par une annonce publique d'un haut responsable du gouvernement (20). Seules 74 parties avaient fait cette démarche lors de la COP 26. Huit autres parties, à l'origine d'environ 2 % des émissions mondiales de GES, ont établi un autre objectif d'atténuation des GES (différent de l'objectif de zéro émission nette) dans le cadre de leurs stratégies à long terme.

Pour ce qui est des membres du G20, 19 se sont désormais engagés à atteindre zéro émission nette, contre 17 lors de la COP 26. Ces objectifs diffèrent à plusieurs égards : statut juridique ; échéance ; considérations explicites relatives à la justice et à l'équité ; sources, secteurs et gaz concernés ; réalisation permettant ou non l'utilisation de crédits de compensation au niveau international ; niveau de détail des explications fournies quant au rôle de l'élimination du CO₂ ; planification, évaluation et compte rendu de la mise en œuvre, etc.

La figure ES.4 représente les trajectoires que les pays devraient suivre pour passer de leur niveau d'émissions actuel aux objectifs fixés dans leurs CDN pour 2030, et indique où se situe l'objectif de zéro émission nette pour chacun des membres du G20 ayant pris un tel engagement (étant entendu que pour l'Allemagne, la France et l'Italie, les évaluations concernent en fait l'ensemble de l'Union européenne). Les membres du G20 ayant déjà plafonné leurs émissions devront accélérer encore cette baisse pour atteindre leur objectif de zéro émission nette dans les délais prévus ; quant à ceux dont les émissions vont continuer d'augmenter d'ici à 2030 s'ils suivent la trajectoire prévue dans leurs CDN, ils devront faire évoluer davantage leurs politiques et multiplier les investissements (tout en apportant un soutien approprié aux pays en développement, le cas échéant) pour parvenir aux baisses d'émissions induites par leurs objectifs nationaux de zéro émission nette.

Cette illustration présente les choix opérés par les pays concernant leurs CDN ou leur trajectoire déterminée au niveau national pour parvenir à zéro émission nette sans tenir compte de leurs mérites relatifs sur le plan de la justice ou de l'équité. En revanche, elle met en lumière les écarts entre la mise en œuvre de politiques à court terme, les objectifs à moyen terme et ceux à long terme. Elle rappelle également que les données actuelles

ne garantissent en aucun cas que les objectifs de zéro émission nette déterminés à l'échelle nationale seront atteints.

9. L'objectif de température de l'Accord de Paris ne pourra désormais être atteint qu'au prix d'une transformation rapide, systémique, de grande ampleur et à grande échelle

L'humanité est confrontée à une tâche titanesque : il ne s'agit pas seulement de définir des objectifs plus ambitieux, mais aussi de tenir l'ensemble des engagements pris. Il n'est pas seulement question de procéder à des changements progressifs secteur par secteur, mais d'opérer une transformation rapide, systémique, de grande ampleur et à grande échelle. Cela ne sera pas facile, compte tenu des nombreuses autres pressions qui pèsent sur les décideurs politiques à tous les niveaux. Tous les pays doivent impérativement lutter contre le changement climatique, tout en œuvrant à la réalisation des autres objectifs de développement durable des Nations Unies.

La transformation qui permettra de parvenir à zéro émission nette de GES dans les secteurs de l'approvisionnement en électricité, de l'industrie, des transports et du bâtiment a déjà commencé. Il convient toutefois d'intensifier et d'accélérer ces mesures pour qu'elles atteignent le rythme et l'ampleur nécessaires pour maintenir le réchauffement planétaire bien en dessous de 2 °C, et de préférence en dessous de 1,5 °C.

Parmi ces quatre secteurs, celui de l'approvisionnement en électricité est le plus avancé, les coûts des énergies renouvelables ayant nettement diminué. Il subsiste cependant de sérieux obstacles, notamment pour garantir des transformations justes et assurer l'accès à l'énergie des populations encore non desservies. Il faudra en outre gérer les répercussions sur les communautés et les pays ainsi que sur les chaînes d'approvisionnement et entreprises du secteur des énergies fossiles existantes, et préparer l'intégration au réseau d'une large proportion d'énergies renouvelables. Les travaux de construction et le transport routier doivent utiliser les technologies les plus efficaces disponibles aujourd'hui, tandis que l'industrie, le transport maritime et l'aviation doivent continuer à développer et déployer les technologies zéro émission.

Pour amorcer et accomplir cette transformation, il convient de prendre un large éventail de mesures clés adaptées à chacun des quatre secteurs, à savoir :

- ▶ éviter de développer une dépendance vis-à-vis de nouvelles infrastructures présentant une consommation de combustibles fossiles importante ;
- ▶ favoriser la transition en faisant progresser les technologies, les structures de marché et les plans zéro carbone au service d'une transformation juste ;
- ▶ adopter les technologies zéro émission et encourager le changement des comportements afin de poursuivre et d'intensifier les réductions jusqu'à atteindre zéro émission.

Tous les acteurs ont un rôle à jouer pour engager et accélérer cette transformation, notamment en levant les obstacles susceptibles de ralentir les progrès (tableau ES.3). Séparément, aucune des différentes mesures n'entraînera sans doute de changement suffisamment significatif, mais ensemble, elles peuvent susciter un changement systémique de plus grande envergure et plus durable.

Figure ES.4 Trajectoires d'émissions des membres du G20 induites par leurs CDN et leurs objectifs de zéro émission nette. Évolution des émissions nationales en Mt $\text{eq-CO}_2/\text{an}$.

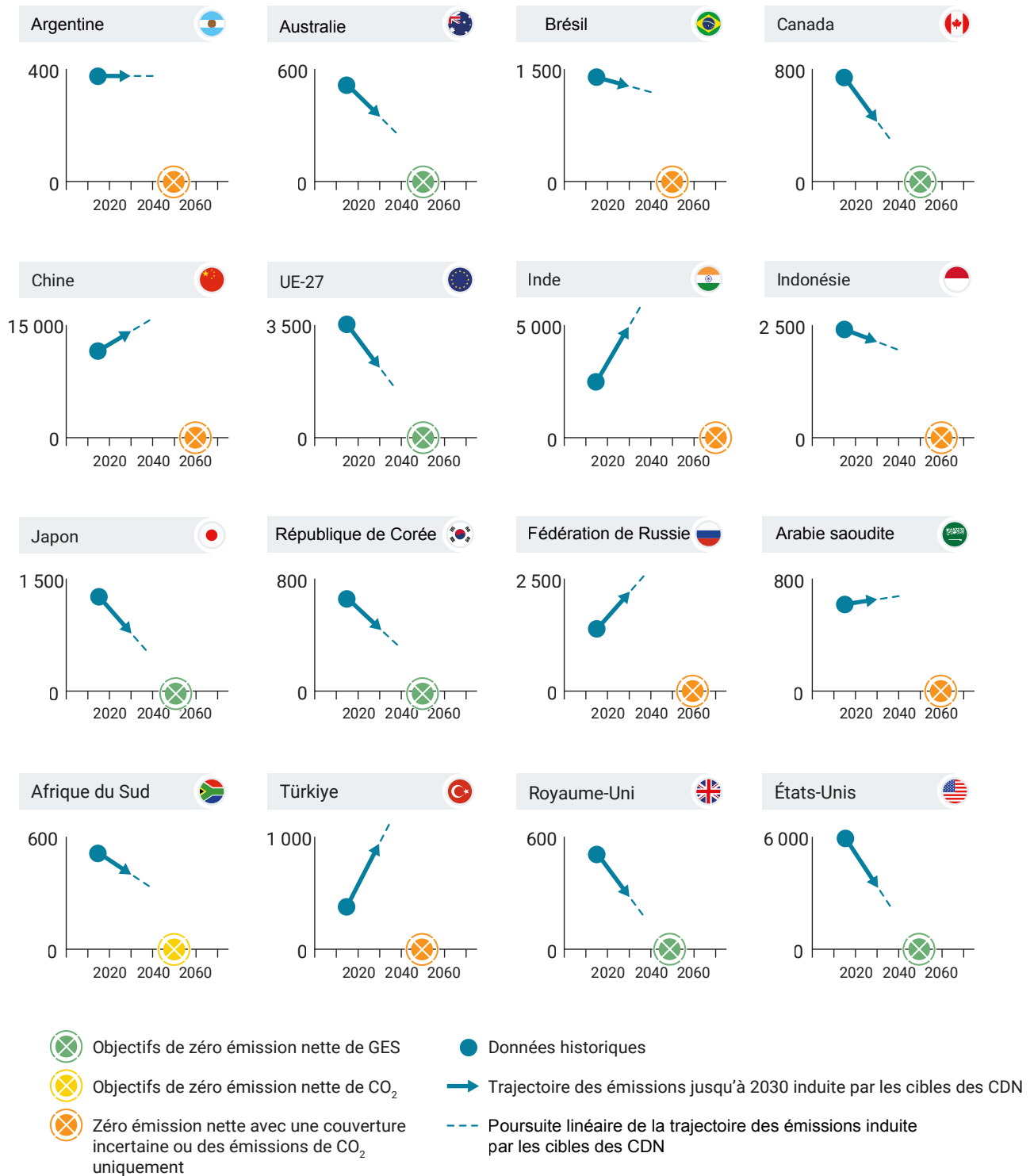


Tableau ES.3 Mesures à prendre par les différents acteurs pour accélérer les transformations dans les secteurs de l'approvisionnement en électricité, de l'industrie, des transports et des bâtiments

	 APPROVISIONNEMENT EN ÉLECTRICITÉ	 INDUSTRIE	 TRANSPORTS	 BÂTIMENTS
Gouvernements nationaux	➤ Supprimer de manière socialement acceptable les subventions aux combustibles fossiles ➤ Lever les obstacles à l'expansion des énergies renouvelables ➤ Mettre fin au développement des infrastructures de combustibles fossiles ➤ Planifier un abandon progressif et juste des combustibles fossiles ➤ Adapter les règles du marché de l'électricité pour intégrer une proportion importante d'énergies renouvelables	➤ Soutenir les processus industriels zéro carbone ➤ Favoriser l'économie circulaire pour les flux de matières ➤ Encourager l'électrification ➤ Soutenir les mécanismes alternatifs de tarification du carbone ➤ Soutenir la recherche et l'innovation ➤ Promouvoir les produits à faible émission de carbone ➤ Planifier une transformation juste	➤ Imposer l'obligation de passer à des véhicules routiers zéro émission dans des délais donnés ➤ Réglementer et encourager par des mesures incitatives les combustibles zéro carbone pour l'aviation ➤ Adapter les systèmes de taxation et de tarification ➤ Investir dans des infrastructures de transport zéro émission	➤ Légiférer en faveur d'un parc immobilier zéro carbone ➤ Encourager par des incitations la création d'un parc immobilier zéro carbone ➤ Faciliter la création d'un parc immobilier zéro carbone
Coopération internationale	➤ Coopérer en vue d'une élimination progressive et juste du charbon ➤ Encourager les initiatives d'électricité zéro émission, la flexibilité des systèmes de production d'électricité et les solutions d'interconnexion	➤ Coopérer sur la question des matériaux de base zéro carbone ➤ Coopérer sur la question de l'hydrogène ➤ Partager les bonnes pratiques	➤ Coopérer sur la question des financements et l'élaboration des politiques ➤ Coopérer à l'établissement d'objectifs et de normes	➤ Assurer l'accès aux financements dans des conditions favorables ➤ Favoriser l'acquisition de compétences et de connaissances
Autorités infranationales	➤ Établir des objectifs de 100 % d'énergies renouvelables ➤ Planifier un abandon progressif et juste des combustibles fossiles	➤ Contribuer à l'élaboration de plans et de réglementations à l'échelle régionale ➤ Coopérer avec diverses parties prenantes	➤ Prévoir des infrastructures et des politiques favorisant la réduction de la demande en transports ➤ Adapter les systèmes de taxation et de tarification	➤ Mettre en œuvre des plans de parcs immobiliers zéro émission ➤ Intégrer des exigences de faibles émissions dans le cadre de l'aménagement urbain ➤ Imposer des exigences plus strictes que celles adoptées à l'échelle nationale
Entreprises	➤ Soutenir une électricité 100 % renouvelable pour l'avenir	➤ Planifier et mettre en œuvre une transformation zéro émission ➤ Concevoir des produits durables ➤ Créer des chaînes d'approvisionnement circulaires	➤ Œuvrer à la mise en place de transports zéro émission ➤ Réduire les déplacements dans le cadre des activités	➤ Revoir les modèles commerciaux des entreprises de construction et de matériaux de construction ➤ Parvenir à un parc immobilier zéro carbone (propriété ou location)
Investisseurs, banques privées et banques de développement	➤ Dialoguer avec les fournisseurs d'électricité produite à partir de combustibles fossiles ou désinvestir de ces entreprises ➤ Ne pas assurer ou investir dans de nouvelles infrastructures de combustibles fossiles	➤ Dialoguer avec les industries à fortes émissions ou désinvestir de ces industries ➤ Investir dans des énergies et des technologies sobres en carbone ➤ Sensibiliser aux risques climatiques	➤ Investir dans des infrastructures de transport zéro émission ➤ Encourager les véhicules, navires et avions zéro émission	➤ Adapter les stratégies et les critères d'investissement pour parvenir à un parc immobilier zéro carbone ➤ Financer la rénovation des bâtiments
Citoyens	➤ Acheter de l'électricité 100 % renouvelable	➤ Consommer de façon responsable ➤ Faire du lobbying	➤ Adopter des pratiques de mobilité active ➤ Utiliser les transports publics ➤ Utiliser des véhicules zéro émission ➤ Éviter les vols long-courriers	➤ Rénover afin d'améliorer l'empreinte carbone ➤ Demander des comptes aux propriétaires (pour les locataires) ➤ Adopter des comportements favorisant les économies d'énergie

10. Le système alimentaire, responsable d'un tiers des émissions, doit procéder à une réduction drastique

Les systèmes alimentaires contribuent dans une large mesure au changement climatique, mais aussi au changement d'affectation des terres et à la perte de biodiversité, à l'épuisement des ressources en eau douce, ainsi qu'à la pollution des écosystèmes aquatiques et terrestres. Envisager la situation sous l'angle des systèmes alimentaires implique l'adoption d'une approche intersectorielle qui associe explicitement l'offre et la demande et intègre tous les acteurs de la chaîne d'approvisionnement alimentaire. Si cette stratégie permet de repérer plus facilement les synergies et les compromis à trouver entre les dimensions environnementales, sanitaires et économiques, la prise en compte de plusieurs secteurs complique en revanche le calcul des émissions et accroît les risques de double comptabilisation.

Le système alimentaire est actuellement à l'origine d'environ un tiers des émissions totales de GES, avec 18 Gt éq-CO₂/an (fourchette : 14-22 Gt éq-CO₂). Ces émissions sont dues en premier lieu à la production agricole (7,1 Gt éq-CO₂, soit 39 %), et notamment à la production des engrais et autres intrants, puis aux changements d'affectation des terres (5,7 Gt éq-CO₂, soit 32 %), puis aux activités relatives à la chaîne d'approvisionnement

(5,2 Gt éq-CO₂, soit 29 %) : vente, transport, consommation, production de combustibles, gestion des déchets, processus industriels et emballages.

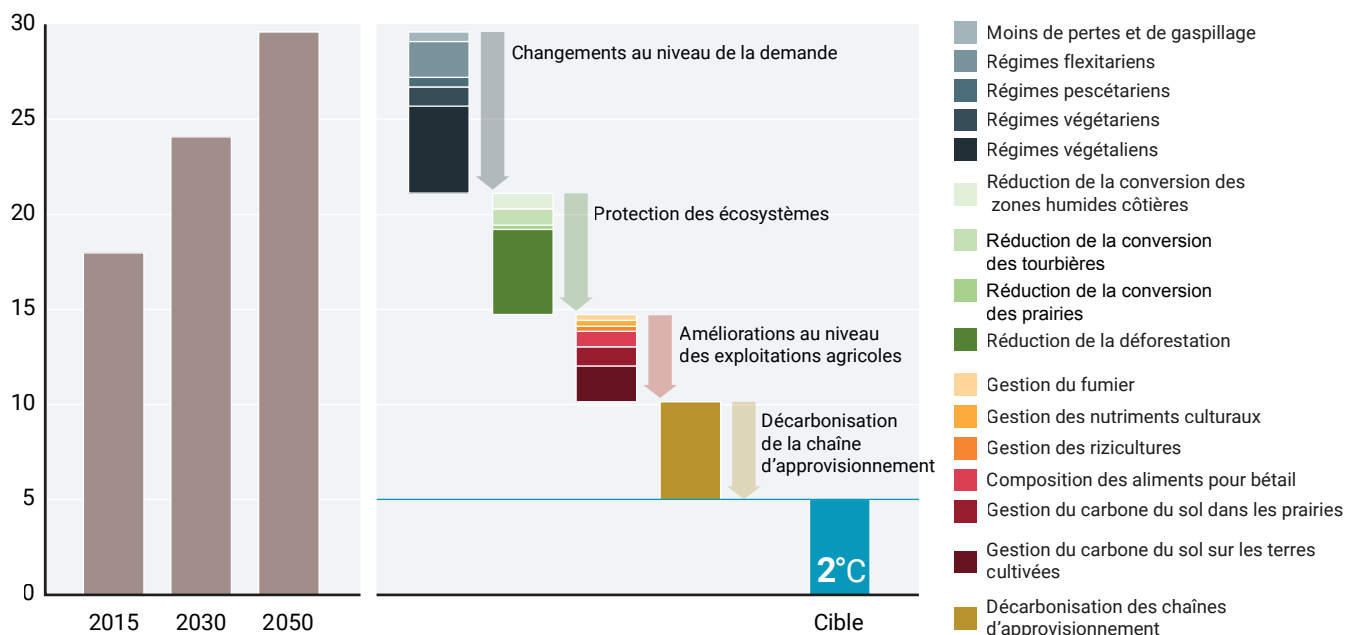
D'après les projections, les émissions produites par le système alimentaire pourraient atteindre 30 Gt éq-CO₂/an d'ici à 2050. Pour suivre une trajectoire d'émission compatible avec l'objectif de température de l'Accord de Paris, les systèmes alimentaires devront donc se transformer rapidement dans de nombreux domaines, tels que la modification des régimes alimentaires, la protection des écosystèmes naturels, l'amélioration de la production alimentaire et la décarbonisation de la chaîne d'approvisionnement alimentaire. Chaque domaine de transformation se décline en plusieurs mesures d'atténuation.

Ces différentes stratégies donneraient lieu à une réduction des émissions de GES pouvant atteindre jusqu'à 24,7 Gt éq-CO₂/an en 2050 (figure ES.5).

La transformation des systèmes alimentaires est non seulement incontournable pour lutter contre le changement climatique et la dégradation de l'environnement, mais aussi essentielle pour assurer la sécurité alimentaire et garantir à chacun une alimentation saine. Tous les grands groupes d'acteurs doivent s'employer à opérer ces transformations et à surmonter les obstacles.

Figure ES.5 Évolution des émissions des systèmes alimentaires et potentiel d'atténuation par domaine de transformation

Émissions de GES (Gt éq-CO₂)



11. Le réalignement du système financier est un facteur déterminant des transformations qui s'imposent

Le réalignement du système financier est d'une importance cruciale pour la réalisation des transformations nécessaires. Le système financier est un réseau d'institutions privées et publiques (banques, investisseurs institutionnels et institutions publiques) qui réglementent la sécurité et la solidité du système, mais qui peuvent également co-prêter ou financer directement des projets. Passer d'une économie mondiale fortement dépendante des combustibles fossiles et d'une utilisation non durable des terres à une économie sobre en carbone nécessitera probablement des investissements d'au moins 4 000 à 6 000 milliards de dollars É.-U. par an, ce qui représente une proportion relativement modeste (1,5 à 2 %) du montant total des actifs financiers gérés, mais une part non négligeable (20 à 28 %) des ressources à allouer en plus chaque année. Selon les estimations du GIEC, les investissements mondiaux consacrés à l'atténuation du changement climatique doivent être multipliés par trois à six, voire encore plus pour les pays en développement (figure ES.6). L'évolution des systèmes financiers est indispensable pour qu'une telle transformation mondiale puisse s'opérer.

À ce jour, la plupart des acteurs financiers se montrent réticents à agir pour l'atténuation du changement climatique en raison d'intérêts à court terme et d'objectifs contradictoires, mais aussi parce que les risques climatiques ne sont pas reconnus comme il se doit. L'instauration d'un système financier capable de procéder à la modification des flux financiers nécessaire à une transformation systémique passe par les six approches suivantes.

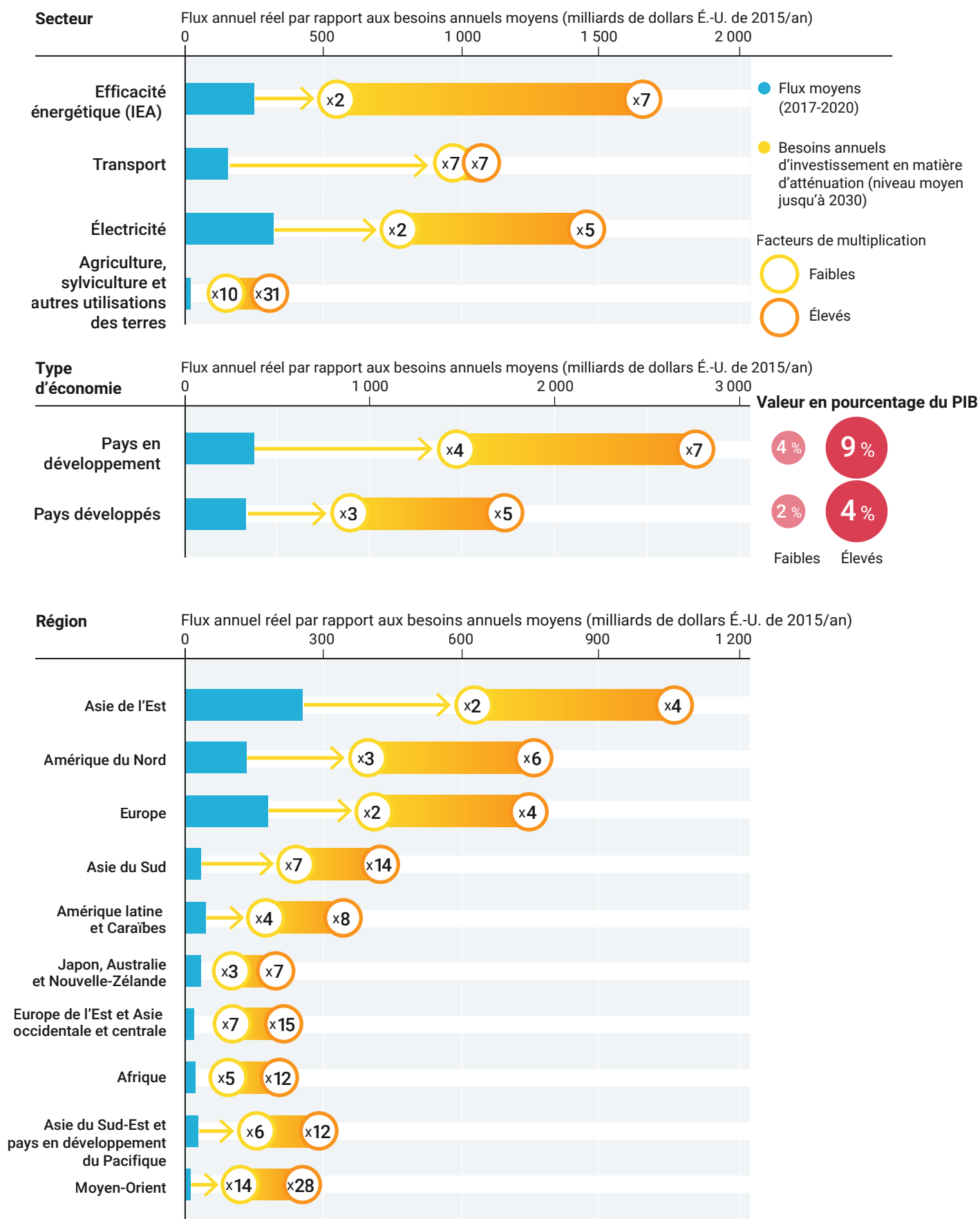
- Accroître l'efficacité des marchés financiers : il s'agit surtout d'améliorer les informations sur les risques climatiques, notamment s'agissant des taxonomies et de la transparence. Dans les pays en développement, le renforcement des capacités et des institutions constituera une priorité.
- Introduire une tarification du carbone : cette approche peut être appliquée au moyen d'instruments politiques tels que les taxes sur le carbone ou les systèmes de plafonnement et d'échange. Les mécanismes d'échange de quotas d'émission et les taxes sur le carbone couvrent actuellement 30 % de l'ensemble des émissions mondiales, au tarif moyen de 6 dollars É.-U. par tonne de CO₂. Cette couverture et ce montant sont largement insuffisants pour espérer transformer le système financier, le Fonds monétaire international ayant avancé qu'il faudrait parvenir à un prix moyen de 75 dollars É.-U. par tonne d'ici à 2030.
- Encourager certains comportements financiers : les marchés du financement de la lutte contre le changement climatique se heurtent à une profonde asymétrie de l'information, à l'aversion au risque et au mimétisme comportemental, qui donnent lieu à des choix inefficaces. Des « coups de pouce » politiques permettraient d'obtenir

de meilleurs résultats, à travers des interventions fortes de politique publique, un système de taxation, des dépenses et des réglementations qui auraient une influence positive sur les comportements.

- Créer des marchés : il est possible, grâce à des politiques publiques, de supprimer les distorsions de marché existantes et d'accélérer la création de nouveaux marchés pour les technologies sobres en carbone, de favoriser l'innovation grâce à des financements publics et de remplacer les anciennes technologies inefficaces utilisant des énergies fossiles. Les banques de développement, y compris les banques vertes, peuvent contribuer de façon plus active à stimuler les marchés financiers à mesure de l'accélération de la création de ces nouveaux marchés. Les banques multilatérales de développement peuvent favoriser la création de marchés en modifiant les flux financiers, en encourageant l'innovation et en participant à l'établissement de normes (concernant les politiques d'exclusion des combustibles fossiles, la comptabilisation des émissions de GES et l'information sur les risques climatiques, par exemple).
- Mobiliser les banques centrales. Les banques centrales sont de plus en plus actives face à la crise climatique. En décembre 2017, huit banques centrales et superviseurs mondiaux ont créé le Réseau pour le verdissement du système financier, qui compte aujourd'hui 116 membres et 18 observateurs. Les mandats des banques centrales situées dans les pays en développement étant souvent plus vastes que ceux des banques centrales des pays développés, celles-ci prennent parfois des mesures plus concrètes en faveur de cette approche. La Banque de réserve de l'Inde, par exemple, oblige les banques commerciales à affecter une certaine proportion de prêts à une liste de « secteurs prioritaires » parmi lesquels figurent les énergies renouvelables, et la Banque du Bangladesh a instauré un quota de crédit d'au moins 5 % que les institutions financières doivent allouer à des secteurs verts.
- Mettre en place des « clubs climat » et autres initiatives de financements transfrontaliers : ces initiatives, parmi lesquelles les partenariats pour une transition juste, peuvent faire évoluer les normes politiques et le secteur de la finance grâce à des dispositifs crédibles d'engagement financier concernant les flux financiers transfrontaliers (garanties d'État, par exemple).

Les études menées sur l'efficacité des six approches ci-dessus tendent à indiquer qu'il n'existe pas de solution miracle unique. Il convient au contraire d'opter pour des approches imbriquées et coordonnées, adaptées à chaque contexte, et de les mettre en œuvre dans les principaux groupes de pays en veillant à l'équité et en assurant une « transition juste » entre les pays comme à l'intérieur de leurs frontières. La réussite de ces actions coordonnées et collaboratives repose en définitive sur le soutien des populations, sur les pressions exercées pour prévenir les risques importants liés à l'inaction, et sur la volonté des principaux acteurs du système financier d'assumer leurs responsabilités.

Figure ES.6 Flux financiers et besoins d'investissement en faveur de l'atténuation par secteur, par type d'économie et par région
(en moyenne jusqu'en 2030)





United Nations Avenue, Gigiri
P O Box 30552, 00100 Nairobi, Kenya
Tél. : +254 720 200200
communication@unep.org
www.unep.org/fr

État du climat mondial en 2021



TEMPS CLIMAT EAU



ORGANISATION
MÉTÉOROLOGIQUE
MONDIALE

OMM-N° 1290

OMM-N° 1290

© Organisation météorologique mondiale, 2022

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

Tel.: +41 (0) 22 730 84 03
Fax: +41 (0) 22 730 81 17
Courriel: publications@wmo.int

ISBN 978-92-63-21290-0

Illustration de couverture provenant d'Adobe Stock: Icebergs (Crédit photo: z576); Incendies, feux de forêt rouges et orange de nuit pendant la saison sèche (Crédit photo: prirach); Récif corallien à faible profondeur et île basse à Raja Ampat (Crédit photo: ead72); Zone inondée dans les basses terres le long d'un grand fleuve (Crédit photo: Vladimir Melnikov). iSTOCK: Terre de sécheresse au coucher du soleil. Ciel dramatique de désert. changement climatique (Crédit photo: mycola).

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 et de ses Membres.

Table des matières

Messages clés	2
Avant-propos	3
Indicateurs climatiques mondiaux	4
Valeurs de référence	4
Gaz à effet de serre	4
Température	6
Océan	7
Cryosphère	12
Ozone stratosphérique	19
Facteurs de la variabilité du climat à court terme.	20
Phénomènes à fort impact en 2021	24
Vagues de chaleur et incendies	24
Vagues de froid et chutes de neige	25
Précipitations	26
Inondations	27
Sécheresse.	29
Cyclones tropicaux	30
Fortes tempêtes	31
Attribution	32
Risques et impacts	33
Sécurité alimentaire.	33
Impacts humanitaires et déplacements de population.	35
Impacts sur les écosystèmes.	38
<i>Extrêmes estivaux dans l'hémisphère Nord: le rôle des ondes planétaires quasi stationnaires et de l'amplification du réchauffement de l'Arctique</i>	<i>40</i>
<i>Systèmes d'observation à la base de la surveillance du climat.</i>	<i>44</i>
<i>Les prévisions infrasaisonnnières à saisonnières peuvent-elles améliorer la préparation aux risques de catastrophe en Asie du Sud-Est?</i>	<i>46</i>
<i>Analyse d'un événement survenu entre le 20 et le 26 septembre 2021.</i>	<i>46</i>
Jeux de données et méthodologies	47
Contributions	53

Messages clés



En 2021, la température moyenne à la surface du globe a dépassé d'environ $1,11 \pm 0,13$ °C la normale préindustrielle (1850–1900). Cette année aura été moins chaude que les précédentes en raison de l'influence du phénomène La Niña durant les premiers et derniers mois de l'année. Les sept dernières années (2015 à 2021) ont toutefois été les plus chaudes jamais enregistrées.



Le niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale a atteint un nouveau record en 2021, avec une augmentation moyenne de 4,5 mm par an sur la période 2013–2021.



Le trou dans la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique a atteint une superficie maximale de 24,8 millions de km² en 2021. Ces dimensions inhabituelles résultent d'un puissant vortex polaire stable et de conditions plus froides que la normale dans la basse stratosphère.



Le Groenland a connu une fonte exceptionnelle à la mi-août, et pour la première fois, le campement de Summit Station, situé au point culminant de l'inlandsis groenlandais, à 3 216 m d'altitude, a enregistré des précipitations.



Des vagues de chaleur exceptionnelles ont battu des records dans l'ouest de l'Amérique du Nord et en Méditerranée. Une température de 54,4 °C a été enregistrée le 9 juillet dans la Vallée de la Mort en Californie, qui avait déjà connu une chaleur similaire en 2020. Il s'agit de la température la plus élevée jamais enregistrée dans le monde depuis les années 1930 au moins. À Syracuse, en Sicile, le mercure a atteint 48,8 °C.



Dans l'Atlantique Nord, l'ouragan *Ida* a été le plus destructeur de la saison. Arrivé en Louisiane le 29 août, il fait partie des ouragans les plus puissants jamais répertoriés dans cet État des États-Unis, où il a occasionné des pertes économiques estimées à 75 milliards de dollars É.-U.



Dans la province chinoise du Henan, des inondations meurtrières ont occasionné 17,7 milliards de dollars É.-U. de pertes économiques, tandis que l'Europe occidentale a connu à la mi-juillet des inondations parmi les plus graves jamais enregistrées. Cet événement a causé en Allemagne des pertes économiques de plus de 20 milliards de dollars É.-U.



La sécheresse a frappé de nombreuses régions du monde, notamment au Canada, aux États-Unis, en République islamique d'Iran, en Afghanistan, au Pakistan, en Turquie et au Turkménistan. Au Canada, le rendement prévu des cultures de blé et de colza a été de ce fait inférieur de 35 à 40 % à celui de 2020, tandis qu'aux États-Unis, le lac Mead sur le fleuve Colorado a atteint en juillet son niveau historique le plus bas, à 47 m sous son niveau maximal.



Les effets conjugués des conflits, des phénomènes météorologiques extrêmes et des chocs économiques, exacerbés par la pandémie de COVID-19, ont mis à mal les progrès réalisés dans le monde au fil de plusieurs décennies en matière de sécurité alimentaire.



Les risques hydrométéorologiques ont cette année encore été à l'origine de migrations internes, notamment en Chine, au Viet Nam et aux Philippines, qui ont respectivement enregistré plus de 1,4 million, 664 000 et 600 000 personnes déplacées entre janvier et octobre 2021.

Avant-propos



La publication de l'*État du climat mondial en 2021* intervient quelques mois après la parution des contributions des Groupes de travail I, II et III au sixième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Ce rapport de l'Organisation météorologique mondiale fait le point sur l'état du climat observé tout au long de l'année 2021 et fait apparaître des tendances de longue durée (également signalées dans les rapports du GIEC) au niveau de certains indicateurs clés, comme les concentrations de gaz à effet de serre, la température annuelle moyenne à la surface du globe, le niveau moyen de la mer, le contenu thermique de l'océan, l'acidification de l'océan, la superficie des glaces de mer et l'évolution de la masse des inlandsis et des glaciers. Alors que ces indicateurs montrent que le climat continue de changer, les informations sur les conséquences socio-économiques mettent en évidence la vulnérabilité des populations face aux phénomènes météorologiques et climatiques actuels. Ces derniers ont occasionné des pertes et des dégâts évalués à plus de 100 milliards de dollars É.-U., et ont eu d'importantes répercussions sur la sécurité alimentaire et certaines activités humanitaires.

Entre 2019 et 2020, l'augmentation de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère a été légèrement inférieure à celle observée entre 2018 et 2019, mais reste supérieure au taux

d'accroissement annuel moyen des dix années précédentes. Et ce, malgré une diminution de près de 5,6 % des émissions de CO₂ dues aux combustibles fossiles en 2020, qui s'explique par les restrictions liées à la pandémie de COVID-19.

Pour stabiliser la température moyenne mondiale à 1,5 °C ou 2 °C au-dessus des niveaux préindustriels (1850–1900) d'ici la fin du siècle, des politiques ambitieuses devront être adoptées pour accélérer la réduction des émissions de gaz à effet de serre au cours de la décennie actuelle.

Dans tous les secteurs, l'adaptation aux changements climatiques devra immanquablement s'appuyer sur des systèmes d'alerte précoce. Or, moins de la moitié des Membres de l'OMM indiquent en avoir mis en place. L'OMM et ses Membres travaillent en étroite collaboration pour améliorer sensiblement cette situation à bref délai.

Je saisis cette occasion pour féliciter les experts et l'auteur principal du présent rapport, qui se sont appuyés sur des analyses de données physiques et des évaluations d'impact pour le compiler. Je remercie tous les contributeurs, en particulier les Services météorologiques et hydrologiques nationaux des Membres de l'OMM, les centres climatologiques régionaux et les agences des Nations Unies, pour leur collaboration et leur contribution. Le présent rapport a pour but d'aider nos organisations à porter à la connaissance des dirigeants mondiaux et des citoyens les informations les plus à jour sur l'état du système Terre, les conditions météorologiques et climatiques en 2021, et les répercussions des phénomènes météorologiques et climatiques. L'OMM reste déterminée à soutenir cette publication et à la diffuser largement à cette fin.

A blue ink signature of Petteri Taalas, consisting of a stylized, flowing line that forms a shape reminiscent of a bird or a wing.

(Petteri Taalas)
Secrétaire général

Indicateurs climatiques mondiaux

Les indicateurs climatiques mondiaux¹, qui englobent la composition de l'atmosphère, les changements énergétiques et les réactions des terres émergées, de l'océan et de la glace, donnent une vue d'ensemble du changement climatique à l'échelle planétaire. Ces indicateurs sont étroitement liés entre eux. Par exemple, l'augmentation de la concentration de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère entraîne un déséquilibre énergétique, et par là même un réchauffement de l'atmosphère et des océans. Le réchauffement des océans est à son tour responsable d'une élévation du niveau des mers, encore renforcée par la fonte des glaces terrestres qui découle de l'augmentation des températures atmosphériques. Les indicateurs mondiaux s'appuient sur un large éventail de jeux de données, dont la liste est donnée à la fin du présent rapport, qui reposent sur plusieurs systèmes d'observation (voir la section [Systèmes d'observation à la base de la surveillance du climat](#)). Ils permettent à eux tous de dresser un tableau cohérent du réchauffement de la planète qui touche toutes les composantes du système Terre.

Les liens entre les indicateurs climatiques mondiaux et les objectifs de développement durable ont été mis en évidence dans la publication intitulée [Interconnexions des indicateurs climatiques et du développement durable](#) (OMM-N° 1271). Ce rapport retrace les liens et les boucles de rétroaction entre les principaux indicateurs climatiques en tant que système physique et les risques en cascade qui pèsent sur la plupart des 17 objectifs de développement durable. Le suivi des indicateurs climatiques mondiaux, ainsi que des risques et des impacts qui y sont liés, revêt donc une importance cruciale pour la réalisation des objectifs de développement durable d'ici à 2030.

VALEURS DE RÉFÉRENCE

Les valeurs de référence correspondent aux données consolidées disponibles pour des

périodes spécifiques, qui s'étendent généralement sur une ou plusieurs décennies; elles permettent une comparaison avec les conditions actuelles. Diverses périodes de référence étant utilisées dans le présent rapport, elles sont précisées dans le texte et les figures lorsque cela est nécessaire.

Dans la mesure du possible, la normale climatologique standard de l'OMM (à savoir les moyennes des données climatologiques calculées pour la période 1981–2010) est utilisée comme période de référence pour garantir la cohérence des rapports². Pour certains indicateurs, cependant, il n'est pas possible d'utiliser cette référence en raison de l'absence de mesures tout au long de la période considérée ou parce qu'une période plus longue est nécessaire pour calculer des statistiques représentatives.

Deux exceptions sont à signaler. Premièrement, pour la température moyenne de la planète, la situation de référence est celle qui prévalait au cours de la période 1850–1900. Il s'agit de la référence utilisée dans les récents rapports du GIEC (sixième Rapport d'évaluation³, Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C⁴) comme approximation des températures préindustrielles. Elle permet de mesurer les progrès réalisés dans la perspective des objectifs de l'Accord de Paris. Deuxièmement, pour les gaz à effet de serre, il est possible d'estimer les concentrations atmosphériques sur des périodes bien antérieures, grâce aux bulles de gaz piégées dans des carottes de glace. C'est donc l'année 1750 qui est utilisée dans le présent rapport comme référence préindustrielle pour les concentrations de gaz à effet de serre.

GAZ À EFFET DE SERRE

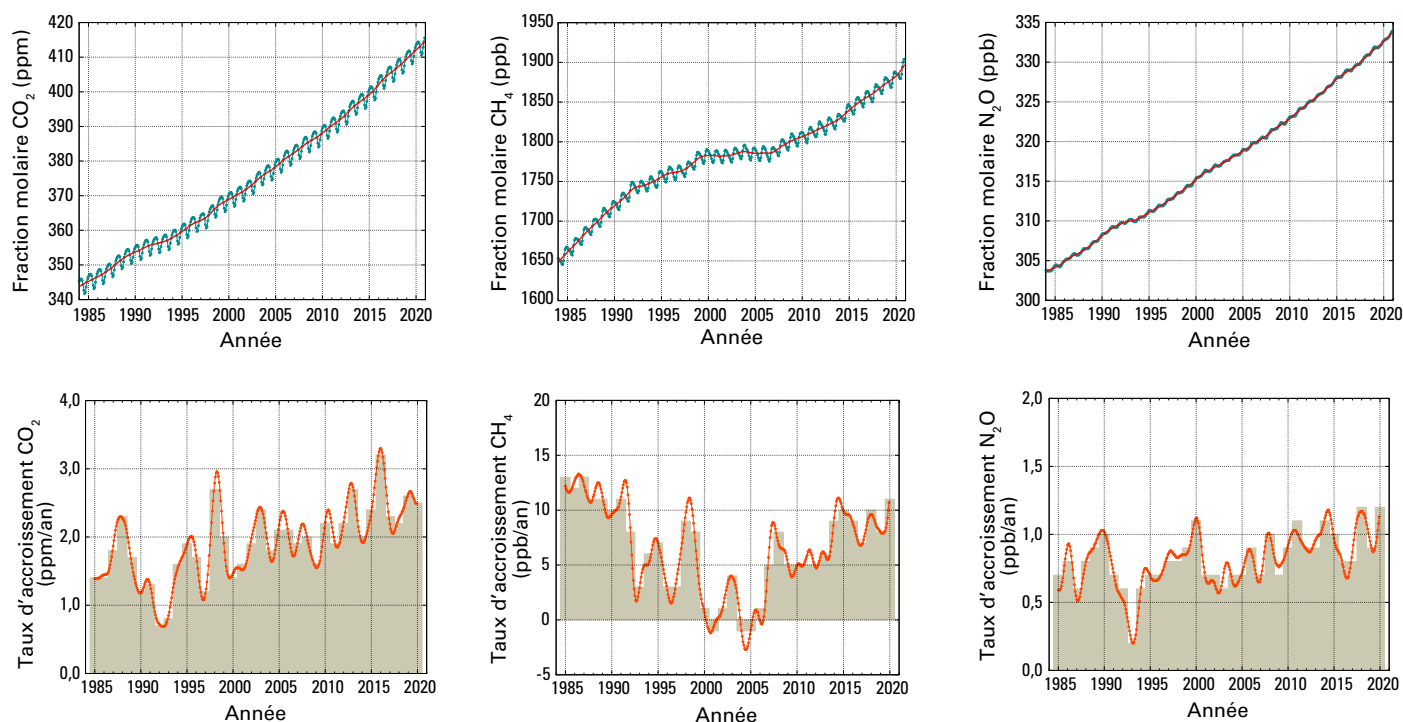
La teneur de l'atmosphère en gaz à effet de serre représente le bilan entre les émissions, dues aux activités humaines et aux sources naturelles, et les absorptions, dans la biosphère

¹ Trewin, B., Cazenave, A., Howell, S. *et al.*, 2021: «Headline Indicators for Global Climate Monitoring», *Bulletin of the American Meteorological Society*, 102 (1), E20–E37. <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/102/1/BAMS-D-19-0196.1.xml>.

² La période 1981–2010 est utilisée de préférence à la période 1991–2020 par souci de cohérence avec les rapports climatiques des Membres de l'OMM, lesquels n'ont pas encore tous adopté la période la plus récente.

³ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2021: *Changements climatiques 2021: Les éléments scientifiques*, contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation (en anglais), <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.

⁴ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2018: *Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C*, <https://www.ipcc.ch/sr15/download/#language>.



et les océans. La hausse des concentrations de gaz à effet de serre imputable aux activités humaines est la principale cause de l'évolution du climat depuis le milieu du XX^e siècle. La fraction molaire moyenne de gaz à effet de serre à l'échelle du globe est calculée à partir des données d'observation *in situ* provenant des nombreux sites du programme de la Veille de l'atmosphère globale (VAG) de l'OMM et de réseaux partenaires.

En 2020, les concentrations de gaz à effet de serre ont atteint de nouveaux sommets: les fractions molaires moyennes à l'échelle du globe se sont établies à $413,2 \pm 0,2$ parties par million (ppm) pour le dioxyde de carbone (CO_2), $1\,889 \pm 2$ parties par milliard (ppb) pour le méthane (CH_4) et $333,2 \pm 0,1$ ppb pour le protoxyde d'azote (N_2O), soit une hausse respective de 149 %, 262 % et 123 % par rapport aux niveaux préindustriels (1750) (figure 1). Entre 2019 et 2020, l'augmentation de la concentration du CO_2 dans l'atmosphère a été légèrement inférieure à celle observée entre 2018 et 2019, mais reste supérieure à la hausse annuelle moyenne des dix années précédentes. Et ce, malgré une diminution de près de 5,6 % des émissions de CO_2 dues aux combustibles fossiles en 2020, qui s'explique par les restrictions liées à la pandémie de COVID-19⁵. S'agissant du CH_4

et du N_2O , la hausse survenue entre 2019 et 2020 a été plus forte qu'entre 2018 et 2019 et supérieure à l'augmentation annuelle moyenne des dix années précédentes.

Selon les données recueillies en temps réel sur 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 2021.

La hausse de la concentration du méthane (CH_4) dans l'atmosphère est préoccupante, car il s'agit non seulement d'un puissant gaz à effet de serre, mais aussi d'un précurseur de l'ozone troposphérique, qui a des répercussions sur la santé humaine, l'agriculture et les écosystèmes⁶. Après avoir atteint quelque 12 ppb par an à la fin des années 1980, le taux d'accroissement annuel moyen du CH_4 a diminué pour se stabiliser à une valeur proche de zéro entre 1999 et 2006. Depuis 2007, la teneur de l'atmosphère en méthane augmente à nouveau, et en 2020, la moyenne mondiale a accusé une hausse de 11 ppb par rapport à 2019. Les mesures du CH_4 effectuées dans le cadre de la VAG donnent à penser que cette récente augmentation est probablement due à une hausse des émissions de méthane provenant des terres humides des régions tropicales ainsi que de

Figure 1. En haut: fractions molaires (mesure de la concentration) moyennées à l'échelle du globe du CO_2 (en parties par million, à gauche), du CH_4 (en parties par milliard, au centre) et du N_2O (en parties par milliard, à droite), de 1984 à 2020. La ligne rouge correspond à la moyenne mensuelle de la fraction molaire, après élimination des variations saisonnières; les points et la ligne en bleu indiquent les moyennes mensuelles. En bas: taux d'accroissement représentant, sous forme de colonnes grises, la hausse des moyennes annuelles successives des fractions molaires du CO_2 (en parties par million par an, à gauche), du CH_4 (en parties par milliard par an, au milieu) et du N_2O (en parties par milliard par an, à droite). Source: Veille de l'atmosphère globale, OMM.

⁵ https://public.wmo.int/en/resources/united_in_science; https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21946

⁶ <https://www.unep.org/fr/resources/rapport-devaluation/evaluation-mondiale-du-methane-avantages-et-couts-de-lattenuation-des>

sources anthropiques aux latitudes moyennes de l'hémisphère Nord⁷. Ces études ont également mis en évidence les avantages climatiques à court terme et la rentabilité qu'offrirait une réduction des émissions de CH₄. De telles mesures d'atténuation ont été présentées dans les conclusions de l'évaluation du méthane réalisée par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE)⁸ et concernent les principaux secteurs émetteurs, à savoir l'industrie pétrolière et gazière, l'agriculture et la gestion des déchets.

TEMPÉRATURE

En 2021, la température moyenne à la surface du globe a dépassé d'environ $1,11 \pm 0,13$ °C la normale de la période 1850–1900 (figure 2). Selon les six jeux de données analysés (voir la section [Données sur les températures mondiales](#)), l'année 2021 se classe entre la cinquième et la septième position parmi les années les plus chaudes enregistrées à l'échelle mondiale, qui correspondent aux sept dernières années (2015 à 2021).

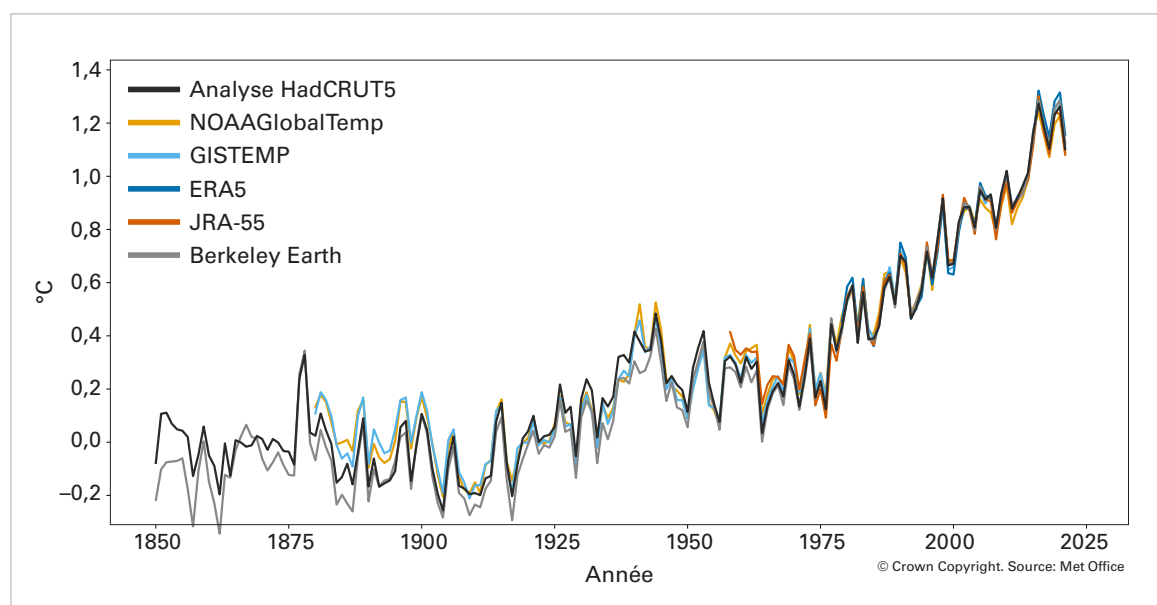
Si 2021 ne détient pas le record de ces dernières années, c'est en raison de l'influence de phénomènes La Niña d'intensité modérée survenus au début et à la fin de l'année (phénomènes de «double creux» ou *double-dip*) (voir la

section [Facteurs de la variabilité du climat à court terme](#)). La Niña a pour effet d'abaisser temporairement la température moyenne mondiale, en particulier pendant l'année qui suit sa survenue. Mis à part l'épisode de faible intensité enregistré en 2018, le dernier phénomène La Niña significatif remonte à 2011. La température de 2021 a été supérieure de 0,22 °C à 0,26 °C environ à celle de 2011. L'année 2016, qui a débuté au cours d'un épisode El Niño de forte intensité, reste l'année la plus chaude jamais enregistrée selon la plupart des jeux de données examinés.

La méthode de calcul des anomalies de la température mondiale par rapport à la période de référence de 1850–1900 a été mise à jour par rapport aux précédents rapports sur l'état du climat mondial. Elle se fonde désormais sur l'évaluation qu'a faite le GIEC de l'évolution de la température et de ses incertitudes dans son sixième rapport pour estimer les changements survenus depuis la période de référence. La section [Données sur les températures mondiales](#) donne plus de détails à ce sujet.

Dans le Résumé à l'intention des décideurs du sixième Rapport d'évaluation du GIEC, les points d'intersection de la courbe des températures, c'est-à-dire là où le réchauffement à long terme dépasse un certain niveau, ont été évalués pour obtenir une moyenne vicennale centrée sur

Figure 2. Écart de la température moyenne annuelle à l'échelle du globe par rapport à la période préindustrielle (1850–1900) pour six jeux de données sur la température mondiale (1850–2021). Pour plus de détails sur ces jeux de données et leur traitement, reportez-vous à la section [Jeux de données et méthodologies](#).
Source: Met Office, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord.



⁷ Nisbet, E. G., Manning, M. R., Dlugokencky, E. J. *et al.*, 2019: «Very Strong Atmospheric Methane Growth in the 4 Years 2014–2017: Implications for the Paris Agreement» *Global Biogeochemical Cycles*, 33(3), 318–342. <https://doi.org/10.1029/2018GB006009>.

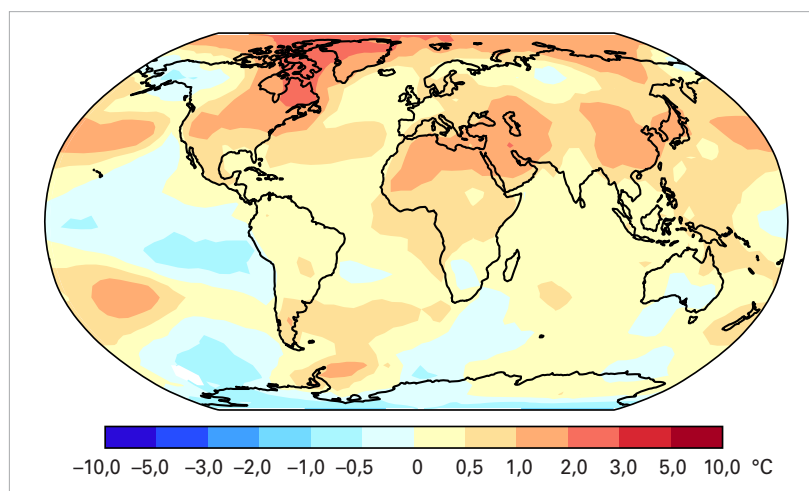
⁸ <https://www.unep.org/fr/resources/rapport-devaluation/evaluation-mondiale-du-methane-avantages-et-couts-de-lattenuation-des>

chaque point⁹. Pour la période 2001–2020, cette moyenne a été estimée¹⁰ à 0,99 [0,84–1,10] °C. La moyenne provisoire sur 20 ans pour la période 2002–2021, calculée à l’aide des six jeux de données qui ont servi à établir le présent rapport, est de 1,01 ±0,12 °C supérieure à la moyenne de référence (1850–1900).

En 2021, les températures des eaux superficielles ont dépassé la moyenne de la période 1981–2010 dans une large bande s’étendant de l’Amérique du Nord et du Groenland au Moyen-Orient et à l’Asie du Sud en passant par l’Afrique du Nord et l’Afrique tropicale (figure 3). En revanche, elles ont été inférieures à la moyenne dans certaines régions d’Asie du Nord, d’Australie et d’Afrique australe, ainsi que dans le nord ouest de l’Amérique du Nord. Les effets de La Niña ont été manifestes dans le Pacifique tropical. Les conditions plus fraîches qu’ont connues l’Afrique australe, l’Inde et l’est de l’Australie sont en effet caractéristiques de ce phénomène. L’Asie du Nord a quant à elle connu des températures inférieures à la moyenne qui contrastent avec l’année 2020, où les températures de la région avaient été exceptionnellement élevées. Cette situation s’explique en partie par les différentes phases de l’*oscillation arctique* enregistrées début 2020 (fortement positive) et en 2021 (fortement négative, voir la section sur l’oscillation arctique) qui se sont répercutées sur la moyenne de l’année entière.

OCÉAN

L’océan absorbe la majeure partie de l’énergie excédentaire qui s’accumule dans le système Terre à cause de l’augmentation des concentrations de gaz à effet de serre. Cet apport d’énergie réchauffe l’océan, et la dilatation des eaux qui en résulte provoque l’élévation du niveau de la mer,



que vient accentuer encore la fonte des glaces terrestres. La surface de l’océan se réchauffe plus vite que les couches intérieures, comme en attestent la hausse de la température moyenne mondiale et la fréquence accrue des vagues de chaleur marines. Quand la concentration de CO₂ augmente dans l’atmosphère, il en va de même pour la concentration de CO₂ dans l’océan. Cela modifie la chimie marine en abaissant le pH moyen des eaux, d’où l’acidification de l’océan. Tous ces changements ont des impacts très variés¹¹, en haute mer comme près du littoral.

Figure 3. Écart entre la température des eaux superficielles et la moyenne de la période 1981–2010 pour 2021. Cette carte montre l’anomalie médiane calculée à partir de cinq jeux de données: HadCRUT5, ERA5, GISTEMP, NOAA GlobalTemp et Berkeley Earth. Source: Met Office, Royaume-Uni.

CONTENU THERMIQUE DE L’OCÉAN

L’augmentation des émissions anthropiques de CO₂ et d’autres gaz à effet de serre crée un déséquilibre radiatif positif au sommet de l’atmosphère (déséquilibre énergétique de la Terre), qui réchauffe la planète par accumulation de chaleur dans le système Terre^{12,13,14}. Le contenu thermique de l’océan indique la chaleur accumulée dans le système Terre puisque 90 % environ de cette chaleur est stockée dans

⁹ Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat, 2021: Résumé à l’intention des décideurs. Dans *Changements climatiques 2021: Les éléments scientifiques*, contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d’évaluation, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf.

¹⁰ Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat, 2021: Résumé à l’intention des décideurs, A.1.2. Dans *Changements climatiques 2021: Les éléments scientifiques*, contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d’évaluation, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf. La moyenne du GIEC a été calculée à partir de quatre jeux de données: HadCRUT5, NOAA GlobalTemp-Interim, Berkeley Earth et Kadow, C., Hall, D. M., Ulbrich, U., 2020: «Artificial Intelligence Reconstructs Missing Climate Information.» *Nature Geoscience*, 13(6): 408–413. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0582-5>. Les valeurs entre crochets indiquent l’intervalle de confiance de ±5 % à 95 %.

¹¹ Gruber, N., Boyd, P. W., Frölicher, T. L. *et al.*, 2021: «Biogeochemical extremes and compound events in the ocean.» *Nature*, 600, 395–407. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03981-7>.

¹² Hansen, J., Sato, M., Karecha, P. *et al.*, 2011: «Earth’s energy imbalance and implications.» *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11 (24), 13421–13449. <https://doi.org/10.5194/acp-11-13421-2011>.

¹³ Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat, 2013: *Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques*, chapitre 3 (en anglais), <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

¹⁴ von Schuckmann, K., Palmer, M. D., Trenberth, K. E. *et al.*, 2016: «An imperative to monitor Earth’s energy imbalance.» *Nature Climate Change*, 6, 138–144. <https://doi.org/10.1038/nclimate2876>.

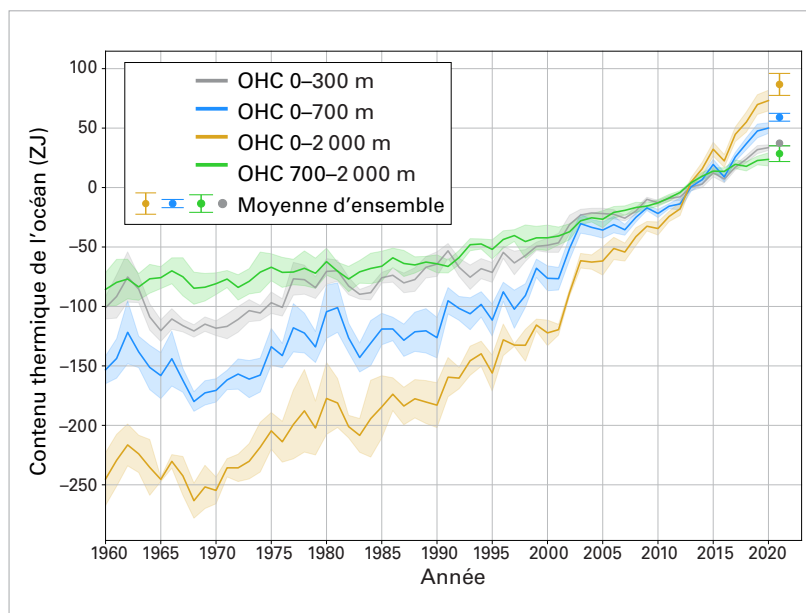


Figure 4. Série chronologique des moyennes d'ensemble de la période 1960–2021 et écarts types d'ensemble (2 écarts types, plages de couleur) des anomalies du contenu thermique de l'océan à l'échelle mondiale par rapport à la moyenne de la période 2005–2017 pour les couches océaniques de 0 à 300 m (gris), 0 à 700 m (bleu), 0 à 2000 m (jaune) et 700 à 2000 m (vert) de profondeur. La moyenne d'ensemble a été obtenue après actualisation des résultats d'une démarche internationale de mutualisation des données et d'analyse concertée (voir la note de bas de page 24), et tous les produits utilisés sont référencés dans la section [Données sur le contenu thermique de l'océan](#). À noter que les valeurs sont données pour la surface de l'océan entre 60° S et 60° N, et qu'elles sont limitées à la bathymétrie de 300 m pour chaque produit. Les anomalies moyennes d'ensemble du contenu thermique de l'océan (0–2000 m) pour 2021 sont indiquées sous forme de points, avec la dispersion de l'ensemble, et reposent sur les quatre produits énumérés dans la section [Données sur le contenu thermique de l'océan](#). Source: Mise à jour de von Schuckmann et al., 2016 (voir la note de bas de page 22).

l'océan. Un déséquilibre énergétique positif signifie que le système climatique continue de réagir au forçage actuel¹⁵ et que le réchauffement se poursuivra même si le forçage cesse de croître¹⁶, ce qui se traduit à son tour par une augmentation continue du contenu thermique de l'océan. Le GIEC a conclu à l'influence incontestable des activités humaines sur le réchauffement de l'atmosphère, de l'océan et des terres émergées, qui serait en toute probabilité la cause première de la hausse du contenu

thermique de l'océan observée depuis les années 1970¹⁷.

Dans les années 1940, la plupart des mesures de la température des eaux de surface étaient effectuées à l'aide d'appareils embarqués à bord des navires, ce qui limitait la possibilité de recueillir de telles mesures à l'échelle de la planète et en profondeur¹⁸. Grâce au réseau Argo de flotteurs profilants autonomes, qui a atteint son objectif de couverture quasi mondiale en 2006, il est désormais possible de mesurer régulièrement les variations du contenu thermique de l'océan jusqu'à 2 000 m de profondeur^{19,20}.

Toutes les estimations du contenu thermique des eaux du globe produites par plusieurs équipes de chercheurs montrent un réchauffement continu de l'océan (figure 4). Les écarts qu'affichent ces estimations en fonction de leur échelle temporelle (annuelle ou décennale) proviennent de la différence du traitement statistique des données manquantes, du choix de la climatologie et de la méthode suivie pour tenir compte des biais instrumentaux^{21,22,23}. Des efforts concertés ont été déployés afin de parvenir à une évaluation internationale de l'évolution mondiale du réchauffement océanique jusqu'en 2021²⁴.

La couche de l'océan qui s'étend de la surface à 2 000 mètres de profondeur a continué à se réchauffer en 2021 et cette tendance devrait se

¹⁵ Hansen, J., Nazarenko, L., Ruedy, R. et al., 2005: «Earth's energy imbalance: Confirmation and Implications.» *Science*, 308 (5727), 1431–1435. <https://doi.org/10.1126/science.1110252>.

¹⁶ Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P. et al., 2017: «Young people's burden: requirement of negative CO₂ emissions.» *Earth System Dynamics*, 8 (3), 577–616. <https://doi.org/10.5194/esd-8-577-2017>.

¹⁷ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2021: Résumé à l'intention des décideurs. Dans *Changements climatiques 2021: Les éléments scientifiques*, contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf.

¹⁸ Abraham, J. P., Barlinger, M., Bindoff, N. L. et al., 2013: «A review of global ocean temperature observations: Implications for ocean heat content estimates and climate change.» *Reviews of Geophysics*, 51 (3), 450–483. <https://doi.org/10.1002/rog.20022>.

¹⁹ Riser, S. C., Freeland, H. J., Roemmich, D. et al., 2016: «Fifteen years of ocean observations with the global Argo array.» *Nature Climate Change*, 6 (2), 145–153. <https://doi.org/10.1038/nclimate2872>.

²⁰ Roemmich, D., Alford, M. H., Claustre, H. et al., 2019: «On the Future of Argo: A Global, Full-Depth, Multi-Disciplinary Array.» *Frontiers in Marine Science*, 6, 439. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2019.00439>.

²¹ Boyer, T., Domingues, C. M., Good, S. A. et al., 2016: «Sensitivity of Global Upper-Ocean Heat Content Estimates to Mapping Methods, XBT Bias Corrections, and Baseline Climatologies.» *Journal of Climate*, 29 (13), 4817–4842. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0801.1>.

²² von Schuckmann, K., Palmer, M. D., Trenberth, K. E. et al., 2016: «An imperative to monitor Earth's energy imbalance.» *Nature Climate Change*, 6, 138–144. <https://doi.org/10.1038/nclimate2876>.

²³ Cheng, L., Abraham, J., Goni, G. et al., 2016: «XBT Science: Assessment of Instrumental Biases and Errors.» *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97 (6), 924–933. <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/97/6/bams-d-15-00031.1.xml>.

²⁴ von Schuckmann, K., Cheng, L., Palmer, M. D. et al., 2020: «Heat stored in the Earth system: where does the energy go?» *Earth System Science Data*, 12 (3), 2013–2041. <https://doi.org/10.5194/essd-12-2013-2020>.

poursuivre à l'avenir, puisque ce changement est irréversible pendant plusieurs siècles, voire millénaires^{25,26}. En 2021, le contenu thermique de l'océan a battu le record de 2020 de 14 ± 9 ZJ (figure 4). Tous les jeux de données concordent : le rythme auquel se réchauffe l'océan s'est nettement accéléré au cours des deux dernières décennies. Le taux de réchauffement dans la couche de 0 à 2 000 m (par rapport à la température de surface) a atteint $1,0 (0,6) \pm 0,1 \text{ W.m}^{-2}$ sur la période 2006–2021 (1971–2021). À titre de comparaison, pour la couche de 0 à 700 m, ce taux est de $0,7 (0,4) \pm 0,1 \text{ W.m}^{-2}$ sur cette même période. Au-delà de 2 000 m de profondeur, l'océan s'est également réchauffé, mais à un rythme plus faible²⁷ de $0,07 \pm 0,04 \text{ W.m}^{-2}$.

NIVEAU DE LA MER

Que ce soit sur plusieurs années ou plusieurs décennies, le niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale varie en fonction des changements qui affectent de nombreuses composantes du système climatique, notamment la dilatation des eaux qui résulte du réchauffement de l'océan, la fonte des glaces terrestres et les échanges

avec les masses d'eau douce. Les mesures effectuées par les satellites altimétriques de haute précision depuis le début des années 1990 montrent une augmentation annuelle du niveau moyen de la mer de 2,1 mm entre 1993 et 2002, et de 4,5 mm entre 2013 et 2021, soit une hausse d'un facteur deux entre ces périodes, qui s'explique principalement par le rythme accru de perte de masse glaciaire des inlandis²⁸.

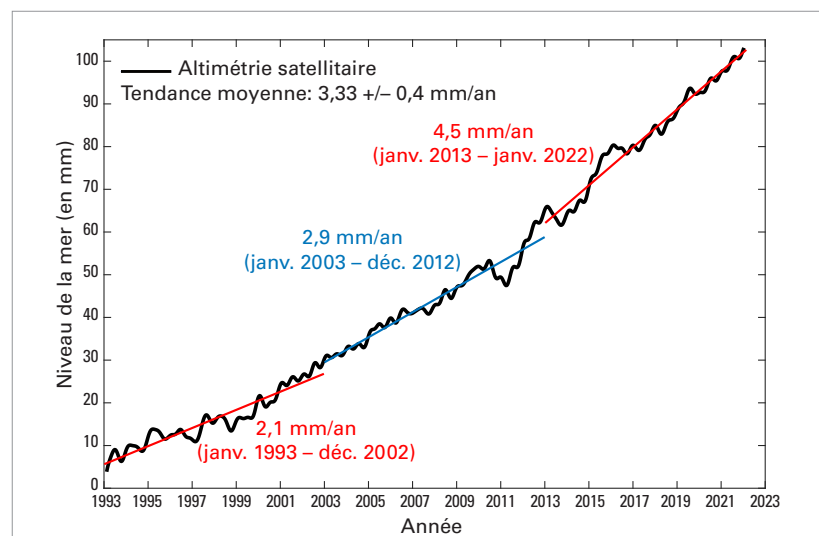


Figure 5. Évolution du niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale de janvier 1993 à janvier 2022 (courbe noire) obtenue à partir des données de satellites d'altimétrie de haute précision. Les droites de couleur représentent la tendance linéaire moyenne sur trois périodes successives (de janvier 1993 à décembre 2002, de janvier 2003 à décembre 2012, et de janvier 2013 à janvier 2022). Source: altimétrie AVISO (<https://www.aviso.altimetry.fr>).

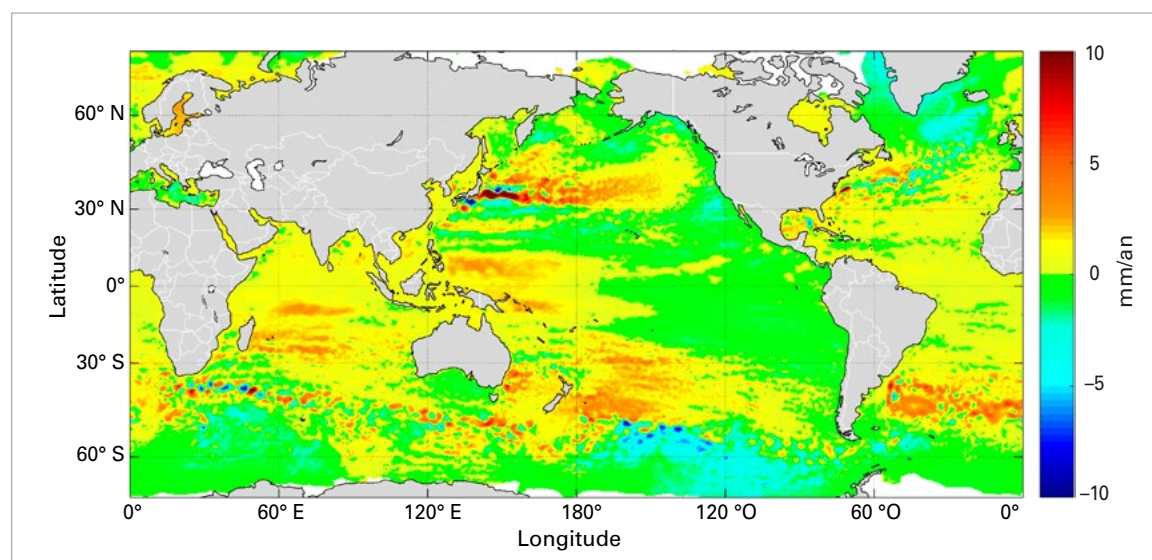


Figure 6. Tendances régionales du niveau de la mer après suppression de la tendance moyenne à l'échelle mondiale (mm/an), de 1993 à 2020, obtenues à partir des données de satellites d'altimétrie. On remarquera que le niveau réel de la mer a augmenté presque partout. Source: Service Copernicus concernant le changement climatique (<https://climate.copernicus.eu>).

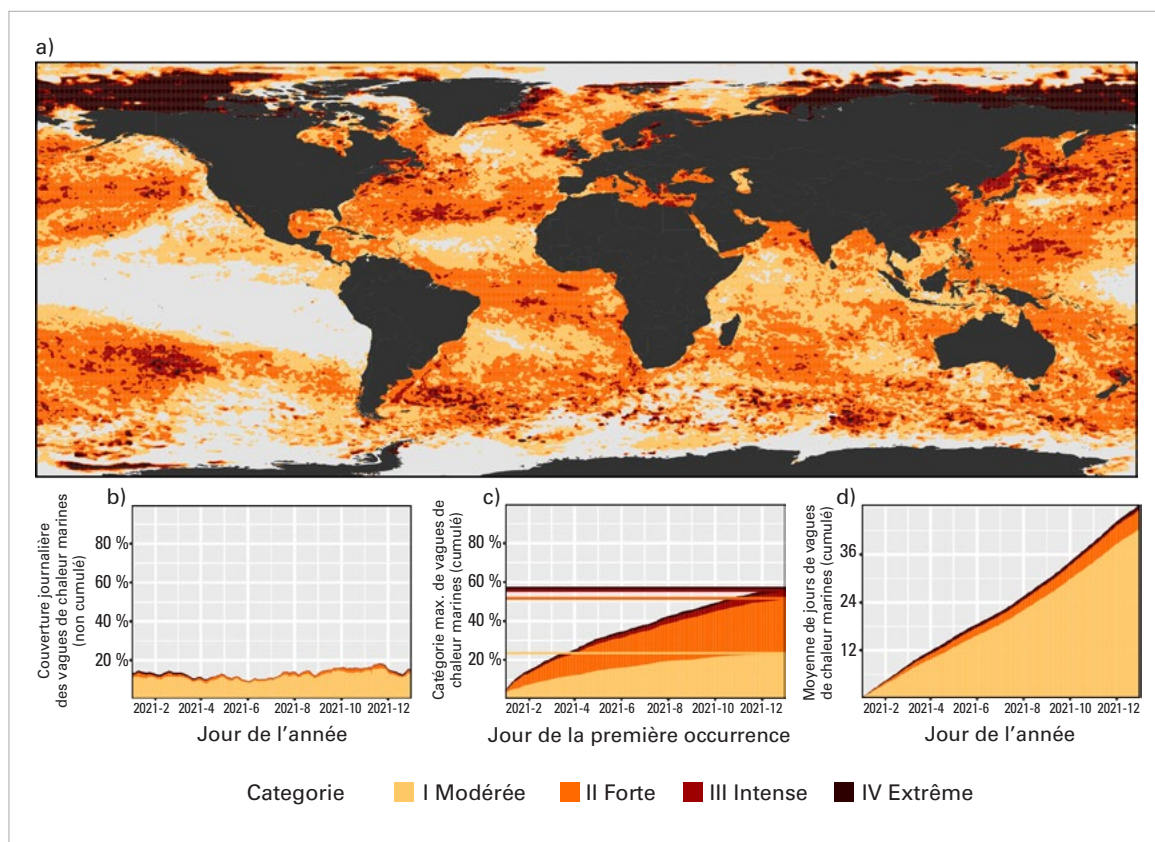
²⁵ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2021: Résumé à l'intention des décideurs. Dans *Changements climatiques 2021: Les éléments scientifiques*, contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf.

²⁶ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2019: Résumé à l'intention des décideurs. Dans *Rapport spécial sur l'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique*, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_fr.pdf.

²⁷ Mise à jour de Purkey, S. G. et Johnson, G. C., 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>.

²⁸ 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 System Science Data*, 10 (3), 1551–1590, <https://doi.org/10.5194/essd-10-1551-2018>.

Figure 7. a) Planisphère montrant la catégorie de vague de chaleur marines la plus élevée (voir les définitions dans la section [Données sur les vagues de chaleur et vagues de froid marines](#)) enregistrée à chaque pixel en 2021 (période de référence: 1982–2011). Les parties en gris clair correspondent aux pixels où aucune vague de chaleur marine n'a été observée pendant l'année. b) Graphique en aires indiquant la proportion de l'océan ayant subi une vague de chaleur marine lors d'un jour quelconque de l'année. c) Graphique en aires indiquant la proportion cumulée de la surface océanique ayant subi une vague de chaleur au cours de l'année. Note: Ces valeurs sont calculées sur la base du jour de l'année où un pixel a enregistré pour la première fois sa vague de chaleur la plus intense. Par conséquent, aucun pixel n'est comptabilisé plus d'une fois. Les lignes horizontales indiquent le pourcentage final de chaque catégorie de vague de chaleur. d) Graphique en aires indiquant le nombre cumulé de jours où une vague de chaleur marine est survenue, moyenné sur toute la surface de l'océan. Note: Cette moyenne est calculée en divisant le total des jours de vague de chaleur marine par le nombre de pixels pondéré par leur surface. Les données proviennent du produit Interpolation optimale de la température de surface de la mer (OISST) de l'Administration américaine pour les océans et l'atmosphère (NOAA).
Source: Robert Schlegel.



En 2021, ce niveau a atteint un nouveau record. Contrairement aux années antérieures à Niño ou à Niña (par exemple, en 1997/1998, 2010/2011, 2015/2016), au cours desquelles des anomalies positives ou négatives temporaires de plusieurs millimètres avaient été enregistrées, l'année 2021 a été marquée par une augmentation du niveau moyen de la mer proche de la tendance à long terme (figure 5).

Bien que le niveau de la mer augmente presque partout depuis 1993, cette évolution n'est pas homogène. Des variations locales du contenu thermique et de la salinité de l'océan sont en effet visibles à l'échelon régional. Dans plusieurs régions, le niveau de la mer augmente encore à un rythme nettement plus rapide que la moyenne mondiale (voir la figure 6, qui illustre la différence du niveau de la mer aux échelons local et mondial). Il s'agit notamment du Pacifique tropical occidental, du sud-ouest et du nord du Pacifique, du sud-ouest de l'océan Indien et de l'Atlantique sud. Dans d'autres régions au contraire, le niveau de la mer a augmenté plus lentement que la moyenne mondiale; c'est le cas du Groenland, du sud de l'Islande et de l'océan Antarctique. Les tendances relatives à l'évolution du niveau de la mer ont été plus ou

moins stables au cours des 30 dernières années de l'ère altimétrique et varient très peu d'une année sur l'autre.

VAGUES DE CHALEUR ET VAGUES DE FROID MARINES

À l'instar de leurs équivalentes terrestres, les vagues de chaleur et vagues de froid marines correspondent à des périodes prolongées de chaleur ou de froid extrême, qui ont de multiples conséquences sur la faune et la flore marines et les communautés qui en sont tributaires²⁹. Les vagues de chaleur de ce type sont devenues plus fréquentes au cours du XX^e siècle. Qualifiées dans le présent rapport de modérée, forte, intense ou extrême (voir les définitions dans la section [Données sur les vagues de chaleur et vagues de froid marines](#)), les vagues de chaleur et de froid marines font l'objet d'une surveillance reposant sur les relevés satellitaires de la température de surface de la mer.

La majorité des zones océaniques a subi au moins une vague de chaleur «forte» à un moment ou l'autre en 2021 (figure 7). Les températures en surface y ayant été inférieures à la moyenne, notamment en raison de l'influence

²⁹ Smale, D. A., Wernberg, T., Oliver, E. C. J. *et al.*, 2019: «Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services.» *Nature Climate Change*, 9 (4), 306–312. <https://www.nature.com/articles/s41558-019-0412-1>.

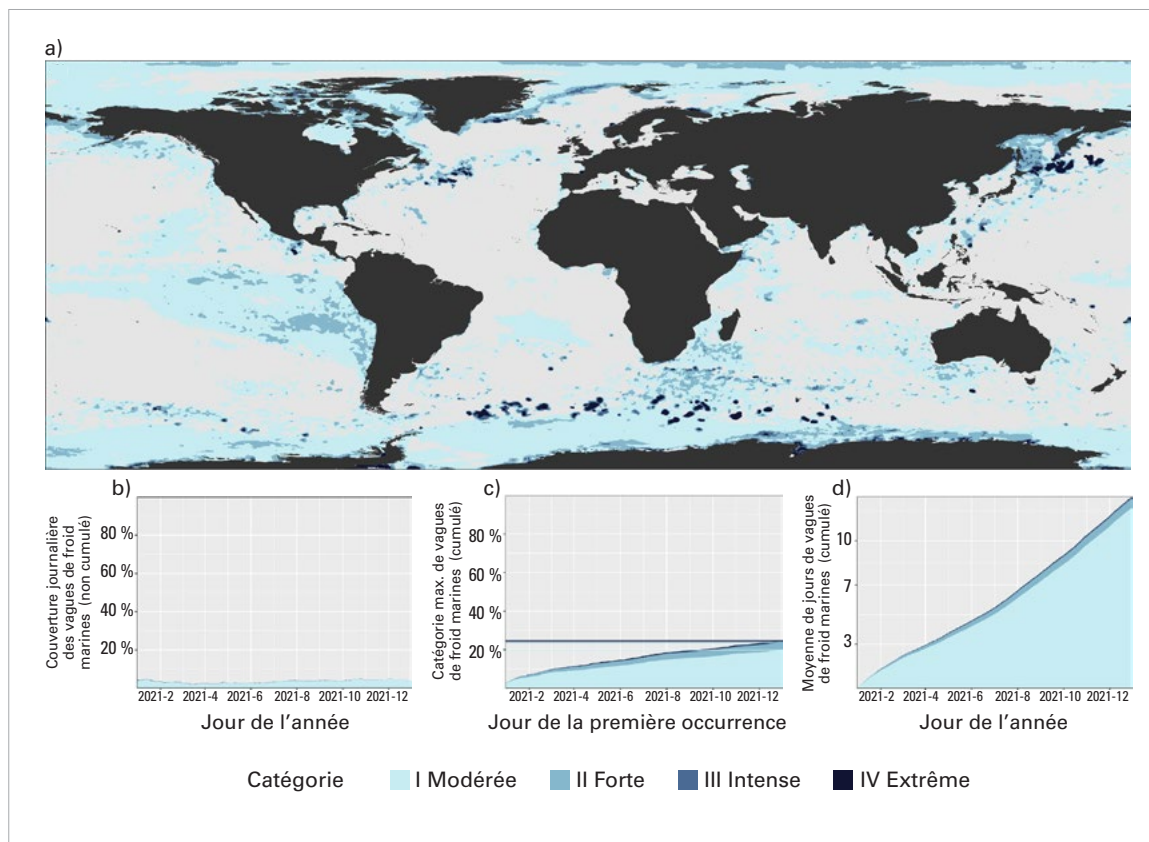


Figure 8. Idem à la figure 7, mais pour les vagues de froid marines. Les données proviennent du produit OISST de la NOAA.
Source: Robert Schlegel.

d'un épisode La Niña de «double creux» (voir la section [El Niño-Oscillation australe \(ENSO\)](#)), la partie orientale du Pacifique équatorial n'a pas connu de vague de chaleur; en revanche, ce fut l'une des seules régions océaniques au monde à subir de nombreuses vagues de froid (figure 8). Entre les mois de janvier et avril 2021, des vagues de chaleur marines «intenses» et «extrêmes» ont frappé les mers de Laptev et de Beaufort, tandis que des vagues de chaleur particulièrement «extrêmes» se sont produites dans les régions en lisière des glaces à l'est du Groenland (août), au nord du Svalbard (octobre) et à l'est de la mer de Ross (décembre). En 2021, la quasi-totalité des vagues de froid marines ont été «modérées», sauf dans les zones de forte variabilité, comme l'extension polaire du Gulf Stream.

En 2021, les vagues de chaleur marines ont affiché une couverture quotidienne moyenne de 13 %, ce qui reste inférieur aux records de 17 % en 2016 et de 16 % en 2020. Pour la huitième année consécutive, ce sont les vagues de chaleur

«fortes» qui ont été les plus fréquentes (28 %). Dans l'ensemble, 57 % de la surface des océans a connu au moins une vague de chaleur au cours de l'année 2021 (figure 7c), ce qui représente la couverture annuelle la plus faible enregistrée depuis 2012 (57 %), le maximum de 65 % ayant été atteint en 2016.

Pour ce qui est des vagues de froid marines, la couverture quotidienne moyenne s'est élevée à 4 % en 2021 (figure 8b), ce qui est similaire à la valeur atteinte en 2020 (4 %), mais inférieur au record de 1982 (7 %). Au total, 25 % de la surface des océans a connu au moins une vague de froid en 2021 (figure 8c), ce qui est comparable à la proportion atteinte en 2020 (25 %), mais bien inférieur au record de 1985 (63 %).

ACIDIFICATION DE L'OCÉAN

L'océan absorbe environ 23 % du CO₂ d'origine anthropique rejeté chaque année dans l'atmosphère^{30,31}. La hausse de la concentration

³⁰ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2019: Résumé à l'intention des décideurs. Dans *Rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique*, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_fr.pdf.

³¹ Organisation météorologique mondiale, 2019: *Bulletin de l'OMM sur les gaz à effet de serre – Bilan des gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère d'après les observations effectuées à l'échelle du globe en 2018, numéro 15*. Genève.

Figure 9. En bleu, pH moyen de la surface de l'océan à l'échelle mondiale pour la période 1985–2020. La zone ombrée représente la plage d'incertitude calculée pour chaque estimation du pH. Les données proviennent du service Copernicus de surveillance du milieu marin (CMEMS).
Source: Met Office, Royaume-Uni.

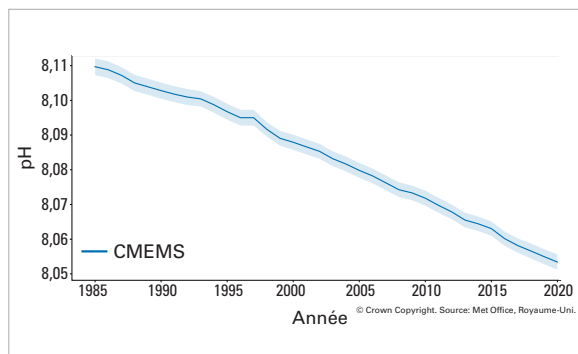


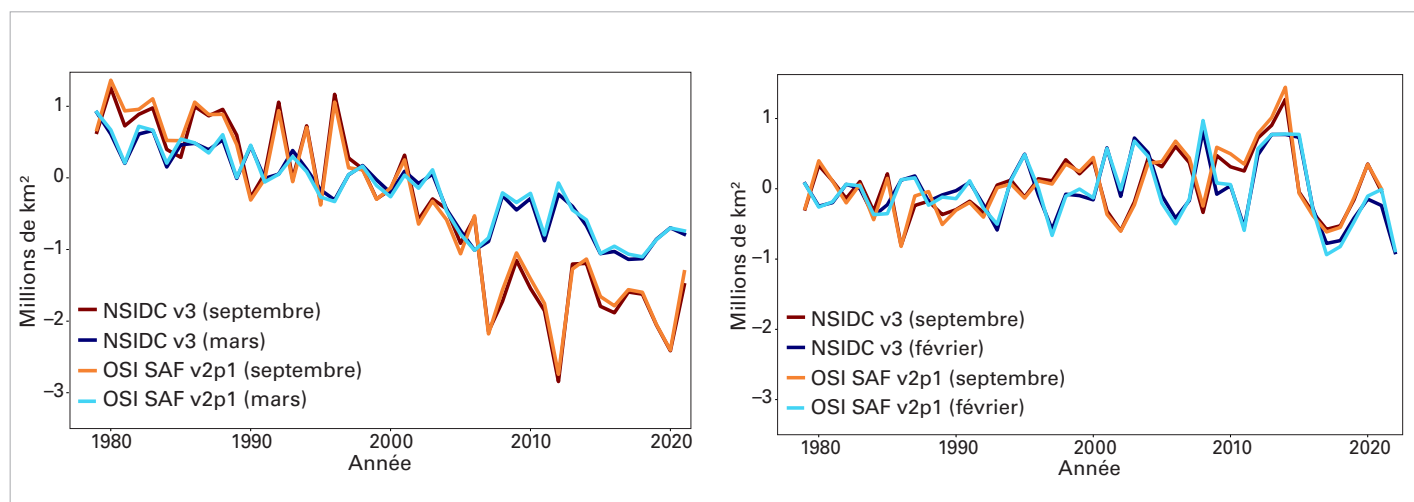
Figure 10. Écart entre l'étendue des glaces de mer observée et la moyenne de 1981–2010 dans l'Arctique (à gauche) et l'Antarctique (à droite) pour les mois où l'étendue est maximale (Arctique: mars; Antarctique: septembre) et minimale (Arctique: septembre; Antarctique: février) de 1979 à 2021.
Source: Données provenant des indices v2p1 du SAF OSI d'EUMETSAT et v3 du Centre de données sur la neige et la glace des États-Unis d'Amérique (NSIDC) (Fetterer *et al.*, 2017) (voir les références exactes dans la section Données sur les glaces de mer).

atmosphérique de CO₂ s'en trouve ainsi ralentie³², mais ce dernier, par réaction chimique, abaisse le pH de l'eau de mer³³, un processus appelé acidification de l'océan (figure 9). Actuellement, le taux d'acidification de l'océan à l'échelle mondiale excède d'au moins un ordre de grandeur les taux estimés pour le Maximum thermique du passage Paléocène-Éocène, un phénomène ayant entraîné d'importantes perturbations du cycle mondial du carbone il y a près de 56 millions d'années³⁴. Dans son sixième Rapport d'évaluation, le GIEC a conclu qu'«il est très probable que le pH de surface en haute mer ait atteint son point le plus bas depuis au moins 26 000 ans et que les taux actuels de modification du pH n'aient pas eu de précédent depuis au moins cette période». Plus son pH diminue, moins l'océan peut absorber le CO₂ de l'atmosphère³⁵.

L'acidification de l'océan menace les organismes et services écosystémiques marins, ce qui compromet la sécurité alimentaire, le tourisme et la protection des côtes. Au niveau local et régional, ce phénomène exerce une forte pression sur les organismes et processus biologiques marins, mais il varie grandement selon les régions, en raison d'une série de facteurs qui affectent les niveaux de CO₂. Les données d'observation nationales sur l'acidification des océans qui sont partagées dans le cadre de l'objectif de développement durable (ODD) 14.3 et de l'indicateur 14.3.1 associé («Acidité moyenne des mers (pH) mesurée à plusieurs points de prélèvement représentatifs») mettent en évidence le besoin d'observations régulières et soutenues de l'acidification de l'océan le long des côtes et en haute mer. Bien que l'intégralité du globe ne soit pas encore couverte, des efforts de renforcement des capacités permettent à de plus en plus de nations de mesurer, gérer et communiquer les données sur ce phénomène, comme le confirme le nombre croissant de pays participant à la collecte de données dans le cadre de l'indicateur 14.3.1 des ODD.

CRYOSPHERE

La cryosphère englobe toutes les parties gelées de la Terre, à savoir les glaces de mer, les glaciers, les inlandsis, les zones enneigées et le pergélisol.



³² Le Quéré, C., Andrew, R. M., Friedlingstein P. *et al.*, 2018: «Global Carbon Budget 2017». *Earth System Science Data*, 10, 405–448. <https://doi.org/10.5194/essd-10-405-2018>.

³³ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2021: *Changements climatiques 2021: Les éléments scientifiques*, contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.

³⁴ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2021: *Changements climatiques 2021: Les éléments scientifiques*, chapitre 2, section 2.3.3.5 sur le pH de l'océan, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.

³⁵ Middelburg, J. J., Soetaert, K., Hagens, M., 2020: «Ocean Alkalinity, Buffering and Biogeochemical Processes». *Revue de géophysique*, 58, e2019RG000681. <https://doi.org/10.1029/2019RG000681>.

GLACES DE MER

Banquise arctique

Au cours de l'hiver arctique 2020/2021, la pression au niveau de la mer a été anormalement élevée au-dessus du centre de l'océan Arctique (voir la section [Oscillation arctique](#)). Le régime anticyclonique qui en a résulté a poussé des blocs de glace pluriannuels plus épais dans la mer de Beaufort³⁶. La banquise arctique a atteint son étendue maximale de l'année³⁷ le 21 mars; avec 14,8 millions de km², cette superficie se classe au 9^e ou 10^e rang (selon les données utilisées) des valeurs les plus faibles enregistrées depuis 1979 (figure 10). Pour plus de détails sur les jeux de données employés, voir la section [Données sur les glaces de mer](#).

Les taux observés au début de la saison de fonte ont été proches de la moyenne de la période 1981–2010. En revanche, en juin et au début du mois de juillet, le recul de la banquise a été très rapide dans la mer de Laptev et les régions orientales de la mer du Groenland, c'est pourquoi à la mi-juillet, l'étendue des glaces de mer de toute la région arctique a atteint des minima record pour cette période de l'année. La moyenne mensuelle de juillet fait partie des quatre plus basses jamais enregistrées (à égalité avec 2012 et 2019), mais toutes les régions n'ont pas été touchées de manière homogène³⁸ (figure 11). Le volume de glace observé dans les mers de Beaufort et des Tchouktches était supérieur à la normale (1981–2010), contrairement aux secteurs sibérien et européen (mer de Laptev et zone orientale de la mer du Groenland), à l'exception de l'est de la mer de Kara, où une partie de la banquise a persisté pendant toute la saison. Après juillet, un temps plus froid s'est rapidement installé pour une période prolongée sur tout l'océan Arctique, entraînant un ralentissement de la fonte des glaces de mer, dont la superficie à la fin du mois d'août 2021 s'est classée en 10^e position des valeurs les plus faibles à ce jour.

En raison de ce ralentissement, l'étendue minimale atteinte en septembre était supérieure à celle de ces dernières années, mais toujours bien inférieure à la moyenne de la période 1981–2010; sur les 43 années de relevés satellitaires, elle

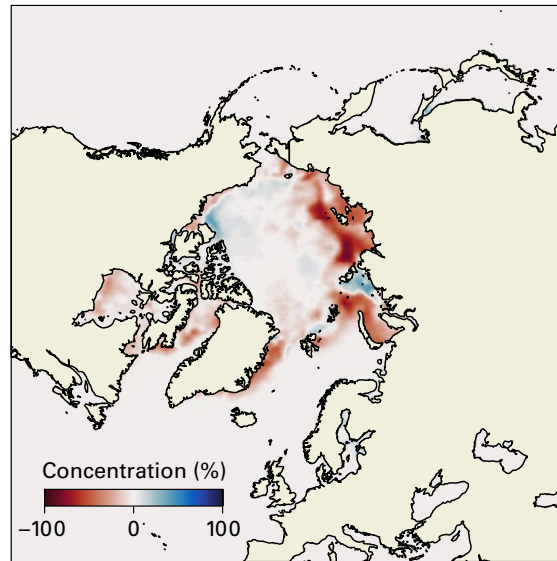


Figure 11. Anomalies relatives à la concentration des glaces de mer dans l'Arctique en juillet 2021 (écart par rapport à la moyenne de 1981–2010). Les zones en rouge sont celles où l'étendue des glaces était inférieure à la normale, les zones en bleu celles où l'étendue était supérieure.
Source: Données du SAF OSI d'EUMETSAT, complétées par des données de recherche-développement de l'Initiative sur le changement climatique (CCI) de l'Agence spatiale européenne (ESA).

se classe au 12^e rang des superficies les plus faibles (figure 10). Mesurée le 16 septembre³⁹, elle s'est établie à 4,72 millions de km². La superficie moyenne de septembre, elle aussi bien en dessous de la moyenne de la période de référence, a été de 4,92 millions de km².

Banquise antarctique

En 2021, l'étendue de la banquise antarctique a globalement été plus faible que la moyenne de la période 1981–2010: inférieure à la moyenne avant que le minimum ne soit atteint en février, elle est légèrement repassée au-dessus pendant la majeure partie de l'hiver pour atteindre son maximum exceptionnellement tôt à la fin du mois d'août, avant de redescendre bien en dessous de la moyenne en fin d'année.

L'étendue minimale de l'année 2021 a été observée le 19 février: établie à 2,60 millions de km², elle se classe au 15^e rang des superficies les plus faibles jamais mesurées (de 1979 à nos jours). Au début des années 1990, cette valeur avait commencé à croître jusqu'à atteindre en 2013 un maximum de 3,68 millions de km², avant de chuter brutalement à 2,08 millions de km² en 2017, son point le plus bas de toute la période de référence. Depuis lors, l'étendue minimale annuelle augmente à nouveau lentement. En février, la majeure partie des glaces de mer de l'Antarctique se trouvait dans la mer de Weddell, c'est pourquoi la superficie minimale

³⁶ Mallett, R. D. C., Stroeve, J. C., Cornish, S. B. *et al.*, 2021: «Record winter winds in 2020/21 drove exceptional Arctic sea ice transport.» *Communications Earth & Environment*, 2, 149. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00221-8>.

³⁷ <https://nsidc.org/arcticseaicenews/2021/03/arctic-sea-ice-reaches-uneventful-maximum>

³⁸ Superficie des glaces de mer en juillet 2021: <https://climate.copernicus.eu/sea-ice-cover-july-2021>

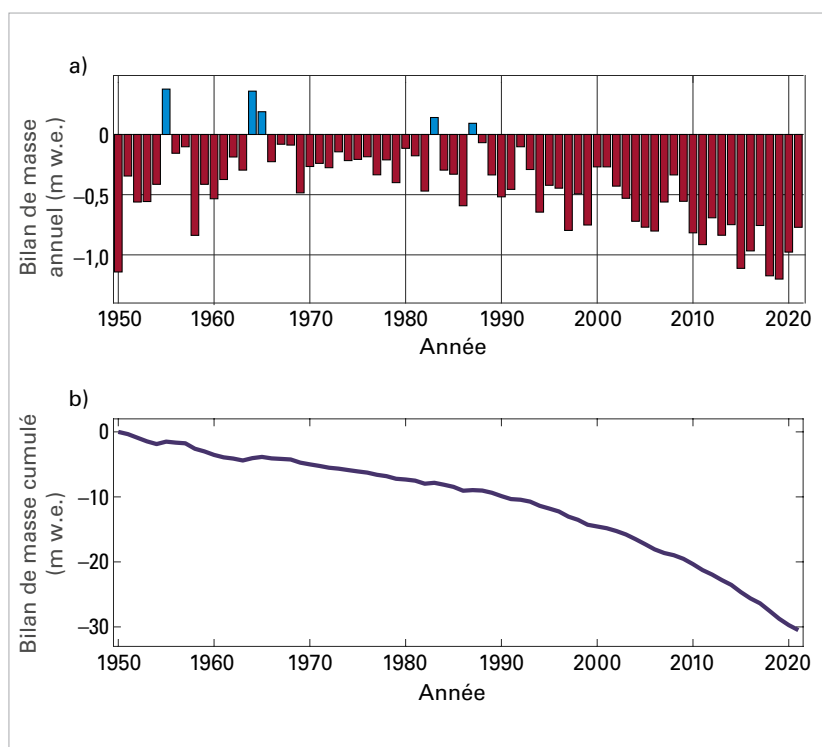
³⁹ <https://nsidc.org/arcticseaicenews/2021/09/arctic-sea-ice-at-highest-minimum-since-2014>

de la banquise mesurée à ce moment-là reflète essentiellement les changements régionaux survenus dans cette zone.

La banquise antarctique a atteint son étendue maximale de l'année, de 18,80 millions de km², le 30 août 2021, un chiffre proche de la moyenne en termes d'amplitude, mais qui se classe en 22^e position en termes de superficie sur les 43 années d'observations. En revanche, c'est la deuxième fois que le maximum est atteint aussi tôt dans l'année, à savoir en août (la première fois étant en 2016).

Après la mi-septembre, l'étendue des glaces de mer dans l'ensemble de l'océan Antarctique est restée inférieure à la moyenne. Le 24 décembre, elle est tombée à 6,77 millions de km² (soit 1,82 millions de km² de moins que la moyenne), se classant au 3^e rang des valeurs les plus basses enregistrée ce même jour. À cette période de l'année, une superficie inférieure à la moyenne a été observée dans tous les secteurs du continent, mais c'est surtout le manque de glace dans les mers de Weddell, de Bellingshausen et de Ross qui a influé sur l'anomalie antarctique.

Figure 12. Bilan de masse des glaciers à l'échelle mondiale sur la période 1950–2021, établi à partir des données disponibles pour un ensemble de près de 40 glaciers de référence dans le monde.
a) Bilan de masse annuel moyen pour l'ensemble des glaciers de référence.
b) Bilan de masse cumulé depuis 1950. Les chiffres sont donnés en mètres d'équivalent en eau (m w.e.).
Source: Données fournies par le Service mondial de surveillance des glaciers, <http://www.wgms.ch>.



GLACIERS

Les glaciers sont formés de couches de neige compactées. Il arrive que la glace se déforme et descende vers des altitudes plus basses et plus chaudes, où elle fond. Si le glacier se termine dans un lac ou l'océan, la glace fond à la rencontre de l'eau ou se brise pour former des icebergs. Les glaciers sont sensibles aux variations de la température, des précipitations et du rayonnement solaire incident, ainsi qu'à d'autres facteurs, comme les modifications de la lubrification sous-glaciaire, le réchauffement des océans ou la disparition de barrières de glace exerçant un effet de contrefort.

Au cours de la période 2000–2019, les glaciers et calottes glaciaires de la planète (hors Groenland et Antarctique) ont perdu⁴⁰ en moyenne 267 ± 16 Gt par an, une perte plus importante sur la dernière partie de la période, de 2015 à 2019, où elle a atteint 298 ± 24 Gt par an. Dans plusieurs régions situées à des latitudes moyennes, les glaciers ont reculé deux fois plus vite que la moyenne mondiale ($0,52 \pm 0,03$ m par an) entre 2015 et 2019, comme en Nouvelle-Zélande, en Alaska, en Europe centrale et dans l'ouest de l'Amérique du Nord (hors Alaska), où ils ont respectivement reculé de 1,52 m, de 1,24 m, de 1,11 m et de 1,05 m par an.

Le Service mondial de surveillance des glaciers rassemble et analyse les données sur le bilan de masse des glaciers du monde entier, dont 42 glaciers de référence pour lesquels nous disposons d'observations à long terme. Les mesures préliminaires effectuées sur 32 de ces glaciers pour l'année glaciologique 2020/2021 révèlent un bilan de masse moyen de $-0,77$ m d'équivalent en eau (m w.e.⁴¹, voir la figure 12) à l'échelle de la planète. Ce chiffre est inférieur à la moyenne de la dernière décennie ($-0,94$ m w.e. de 2011 à 2020), mais supérieur à la moyenne de la période 1991–2020, qui est de $-0,66$ m w.e.

Même si le bilan de masse des glaciers a été moins négatif sur l'année glaciologique 2020/2021 que les années précédentes, on observe une tendance nette à l'accélération de la perte de masse sur des échelles de temps multidécennales (figure 12). En moyenne, les glaciers de référence ont perdu 33,5 m

⁴⁰ Hugonnet, R., McNabb, R., Berthier, E. *et al.*, 2021: «Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century.» *Nature*, 592 (7856), 726–731. <https://www.nature.com/articles/s41586-021-03436-z>.

⁴¹ Le mètre d'équivalent en eau correspond à la hauteur d'eau qui serait obtenue si la glace perdue était fondue et répartie sur la surface du glacier.

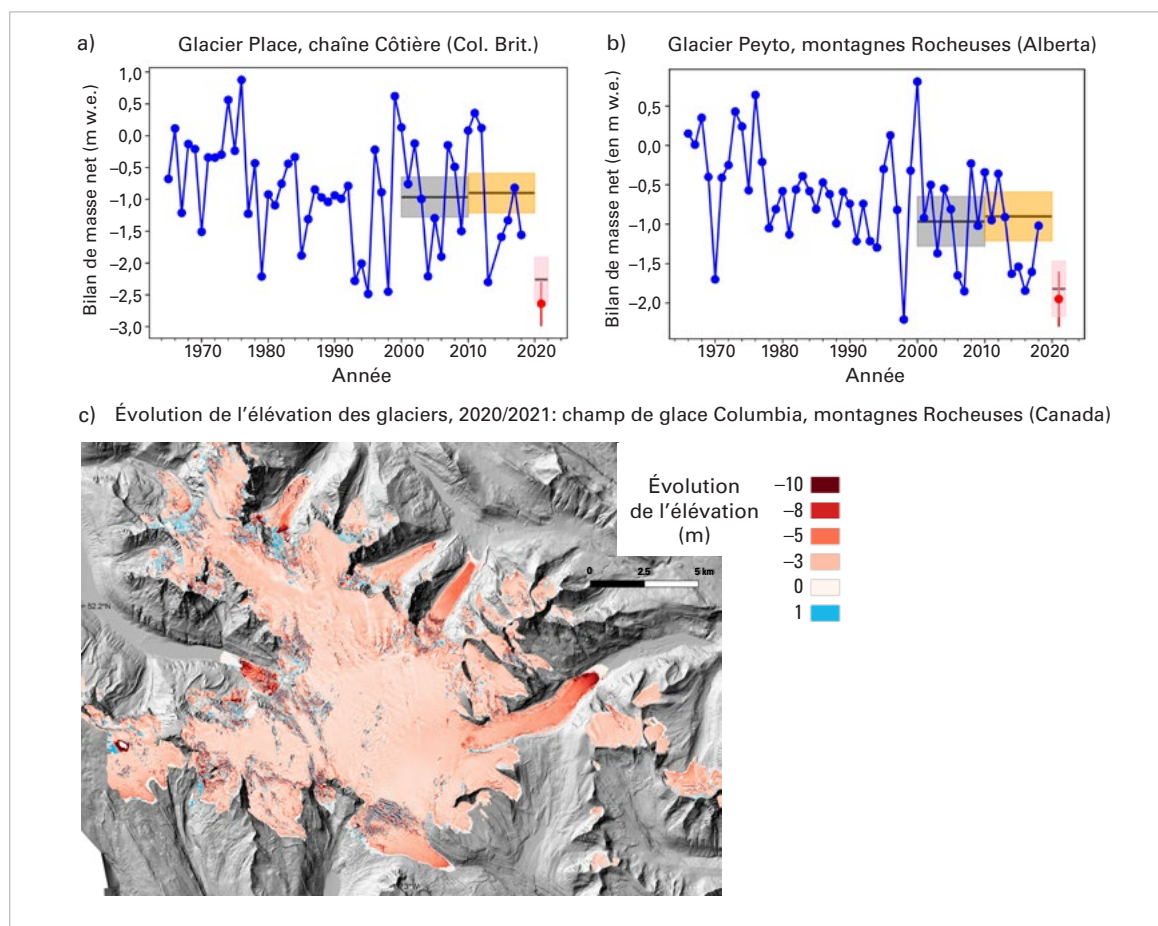


Figure 13. Relevés de bilan massique des glaciers a) Place, en Colombie-Britannique et b) Peyto, dans l'Alberta, de 1965 à 2021. Les données de la période 1965–2019 proviennent du Service mondial de surveillance des glaciers. Le bilan de masse pour 2021 a été estimé à partir de relevés LiDAR, après rectification de la densité des névés à l'aide des données de Pelto *et al.*, 2019 (voir la section [Données sur le bilan de masse des glaciers](#)). Les barres horizontales bleues et jaunes indiquent les valeurs moyennes décennales pour la région, d'après Hugonnet *et al.*, 2021 (voir la section [Données sur le bilan de masse des glaciers](#)). La barre rose pour l'année 2021 indique le niveau d'incertitude, le bilan de masse ayant été calculé à l'aide de la superficie contemporaine des glaciers obtenue grâce aux relevés LiDAR (cercles rouges), tandis que le bilan de masse spécifique a été calculé à partir des données du Randolph Glacier Inventory sur les superficies et limites des glaciers, utilisé par Hugonnet *et al.*, 2021 (réticules noirs). c) Évolution de l'altitude du champ de glace Columbia, dans les Rocheuses canadiennes, dérivée de relevés LiDAR pour l'année 2020/2021.

d'équivalent en glace depuis 1950, dont 76 % (25,5 m) depuis 1980.

Perte de masse glaciaire exceptionnelle dans l'ouest du Canada

La perte de masse des glaciers d'Amérique du Nord s'est accélérée au cours des deux dernières décennies. Dans l'ouest de cette région du monde, elle est passée de 53 ± 13 Gt par an pour la période 2000–2004 à 100 ± 17 Gt par an pour la période 2015–2019⁴².

L'été exceptionnellement chaud et sec qu'a connu l'hémisphère Nord en 2021 (voir la section [Vagues de chaleur et incendies](#)) a exacerbé la fonte de la plupart des glaciers de l'Alberta et du sud de la Colombie-Britannique au Canada, ainsi que dans le nord-ouest de la côte pacifique des États-Unis. Dans la chaîne Côtière de la Colombie-Britannique, la perte enregistrée pour les glaciers Place et Helm entre 2020 et 2021

n'avait jamais été aussi importante depuis le début des mesures en 1965 (figure 13a). Quant au glacier Peyto dans les montagnes Rocheuses canadiennes, il n'y a qu'en 1998 qu'il avait connu un recul aussi important, pour cause d'un épisode El Niño intense (figure 13b). Une série de relevés LiDAR⁴³ fait état des bilans massiques de ces trois glaciers, qui s'élèvent respectivement à $-2,66$, $-3,30$ et $-1,95$ m w.e., soit près de deux fois le taux de perte moyen de la région entre 2015 et 2019.

À la mi-août 2021, la plupart des glaciers de montagne de la région n'étaient quasiment plus enneigés et nombre d'entre eux avaient perdu leur zone de névé, là où la neige pluriannuelle se transforme en glace. Les nombreux feux de forêt qui ont sévi dans la région au cours de l'été 2021 ont entraîné un dépôt de particules, notamment de la suie et des cendres, qui a eu pour conséquence d'assombrir plus que de coutume la surface des glaciers pendant les mois

⁴² Hugonnet, R., McNabb, R., Berthier, E. *et al.*, 2021: «Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century». *Nature*, 592 (7856), 726–731. <https://www.nature.com/articles/s41586-021-03436-z>.

⁴³ Pelto, B. M., Menounos, B., Marshall, S. J., 2019: «Multi-year evaluation of airborne geodetic surveys to estimate seasonal mass balance, Columbia and Rocky Mountains, Canada». *The Cryosphere*, 13, 1709–1727. <https://doi.org/10.5194/tc-13-1709-2019>.

de juillet et août. Ces derniers ont donc absorbé plus de lumière solaire que d'habitude, ce qui a contribué à leur perte de masse extrême. Le glacier Kokanee, en Colombie-Britannique, a perdu entre 5 et 6 % de son volume total en 2021, tandis que le champ de glace Columbia, le plus grand des Rocheuses (210 km²), a perdu environ 0,34 Gt de glace (figure 13c).

INLANDSIS

Les inlandsis sont des étendues de glace couvrant une superficie de plus de 50 000 km². Dans les conditions climatiques actuelles, il n'en subsiste que deux, au Groenland et en Antarctique.

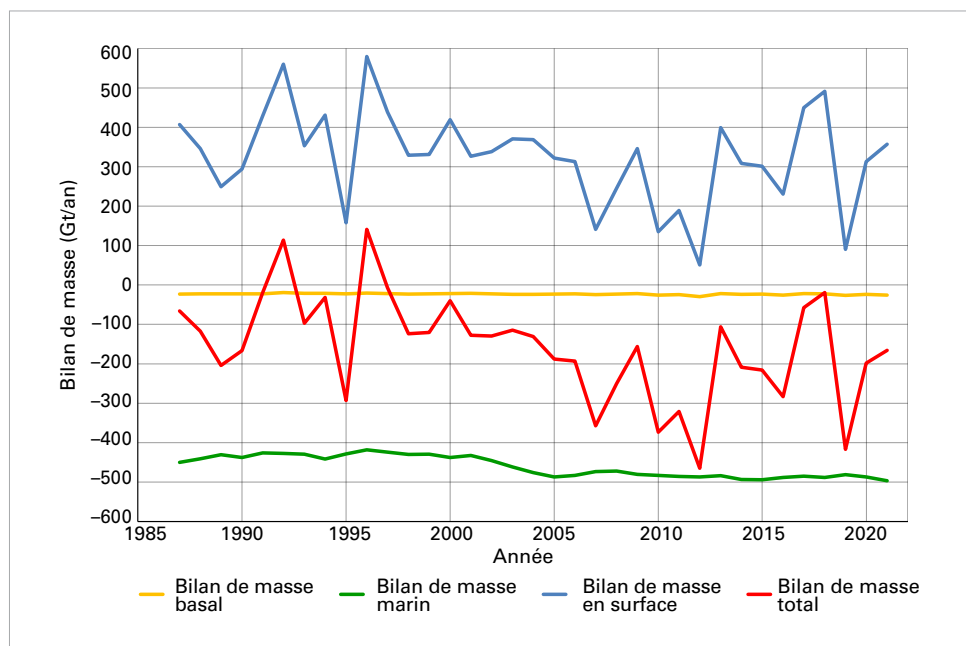
Inlandsis groenlandais

Les variations de masse de l'inlandsis groenlandais reflètent l'effet conjugué de plusieurs éléments: le bilan de masse en surface, défini comme la différence entre les chutes de neige et le ruissellement des eaux de fonte de l'inlandsis;

le bilan de masse marin, qui correspond au total des pertes enregistrées en périphérie en raison du vélage des icebergs et de la fonte des langues glaciaires au contact de l'océan; et le bilan de masse basal, qui mesure la fonte de la base du glacier sous l'effet de la géothermie et de la chaleur de friction générée par le glissement du glacier et la déformation de la glace.

Pour le Groenland, un ensemble de modèles climatiques régionaux⁴⁴ donne un bilan de masse total⁴⁵ estimé à -166 Gt pour l'année 2021 (le bilan de masse étant calculé du 1^{er} septembre 2020 au 31 août 2021). Si l'on se base sur les estimations calculées pour la même période à partir des observations satellitaires et des données du réseau de stations météorologiques de surface PROMICE, on obtient un bilan massique total de -85 Gt⁴⁶. Quant aux données gravitationnelles du satellite GRACE traitées par la NASA⁴⁷, elles donnent pour cette période un bilan massique total de -126 Gt⁴⁸. Ces estimations varient en raison des différentes méthodes et hypothèses utilisées, mais toutes montrent que l'inlandsis

Figure 14. Composantes du bilan de masse total de l'inlandsis groenlandais (1987–2021).
En bleu: bilan de masse en surface;
En vert: bilan de masse marin (également appelé décharge);
En orange/jaune: bilan de masse basal;
En rouge: bilan de masse total, soit la somme des trois bilans précédents (voir la note de bas de page 44).
Source: Mankoff, K. D.; Solgaard, A.; Colgan, W. *et al.* Greenland Ice Sheet solid ice discharge from 1986 through March 2020. *Earth System Science Data* 2020, 12(2), 1367–1383. <https://doi.org/10.5194/essd-12-1367-2020>.



⁴⁴ Moyenne de trois modèles régionaux axés sur le climat et le bilan de masse. Voir Mankoff, K. D., Fettweis, X., Langen, P. L. *et al.*, 2021: «Greenland ice sheet mass balance from 1840 through next week». *Earth System Science Data*, 13, 5001–5025. <https://doi.org/10.5194/essd-13-5001-2021>.

⁴⁵ Un bilan négatif signifie que la superficie de la glace a diminué, tandis qu'un bilan positif correspond à une augmentation de cette superficie.

⁴⁶ Moon, T. A., Tedesco, M., Box, J. E. *et al.*, 2021: «Greenland Ice Sheet». Dans *Arctic Report Card*. Sous la direction de Moon, T. A., Druckenmiller, M. L., Thoman, R. L. Administration américaine pour les océans et l'atmosphère. <https://doi.org/10.25923/546g-ms61>.

⁴⁷ <https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/>

⁴⁸ Wiese, D. N., Yuan, D.-N., Boening, C. *et al.*, 2019: «JPL GRACE et GRACE-FO Mascon Ocean, Ice, and Hydrology Equivalent Water Height». RL06M CRI Filtered Version 2.0, Ver. 2.0, PO.DAAC, CA, États-Unis. <http://dx.doi.org/10.5067/TEMSC-3MJ62>.

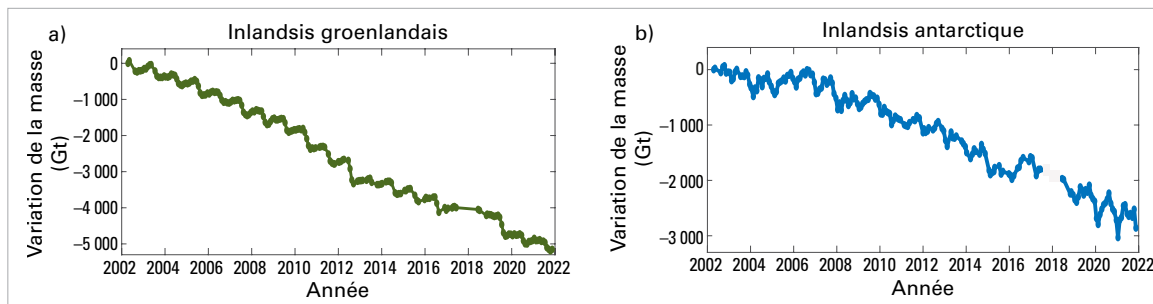


Figure 15. Données gravimétriques des satellites GRACE et GRACE-FO montrant l'évolution de la masse des inlandsis du Groenland et de l'Antarctique d'avril 2002 à novembre 2021 (voir la note de bas de page 48). Au cours de cette période, le taux de perte moyen a été de 276 Gt par an au Groenland et de 152 Gt par an en Antarctique, ce qui équivaut en tout à une élévation du niveau de la mer d'environ 1,2 mm par an.

groenlandais a affiché un bilan de masse négatif pour la vingt-cinquième année consécutive.

période couverte par les données gravimétriques des satellites.

Les modèles climatiques montrent qu'entre septembre 1986 et août 2021, l'inlandsis groenlandais a perdu un total de 5 511 Gt de glace⁴⁹, soit une perte de masse moyenne de 157 Gt par an (figure 14). Cette dernière s'est accélérée au cours des deux dernières décennies. D'après les données gravimétriques des satellites GRACE et GRACE-FO⁵⁰, le Groenland a perdu 5 151 Gt de glace entre avril 2002 et novembre 2021, soit un taux de perte moyen de 276 Gt par an (figure 15). En 2021, le bilan de masse du Groenland était proche de la normale sur 35 ans, quoiqu'inférieur à la moyenne de 2002–2020, qui correspond à la

Lors de la saison de fonte 2021, le taux de fonte de l'inlandsis groenlandais est resté proche de la moyenne à long terme jusqu'au début de l'été, mais les températures et le ruissellement des eaux de fonte ont été bien supérieurs à la normale à la fin du mois de juillet et en août 2021 (figure 16)⁵¹. En effet, en août, une masse d'air chaud et humide est arrivée de la baie de Baffin et s'est installée sur une grande partie du sud-ouest et du centre du Groenland. Le 14 août, la pluie s'est abattue pendant plusieurs heures sur la station Summit, située au point culminant de l'inlandsis groenlandais, à 3 216 m, tandis

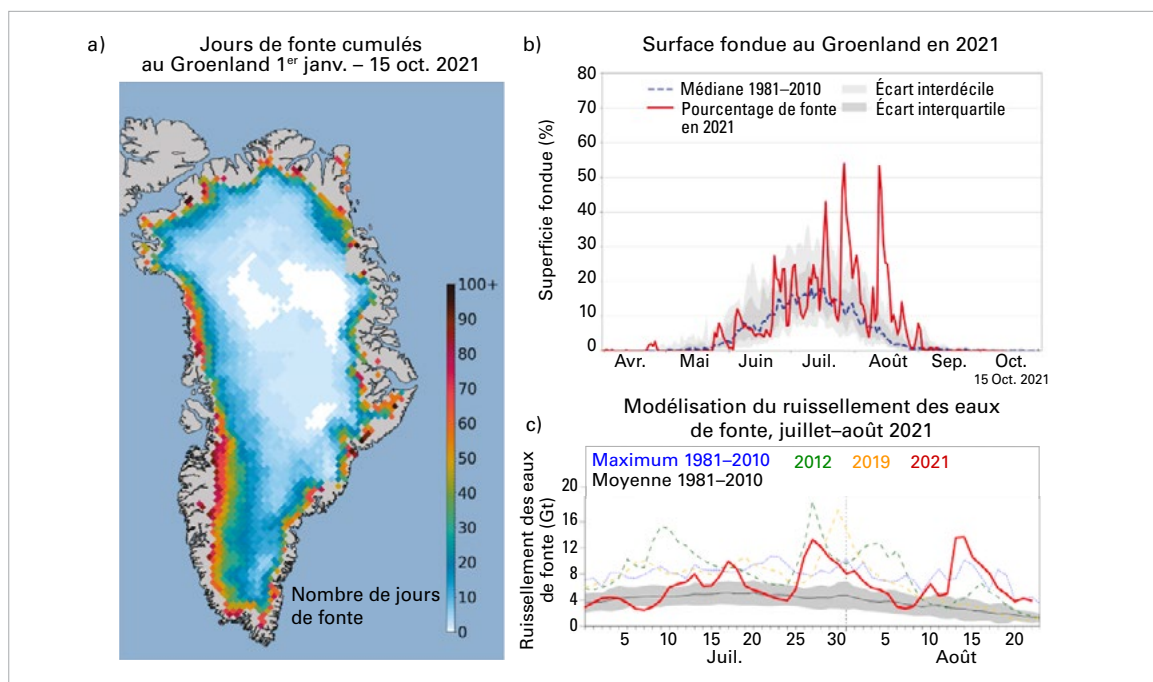


Figure 16. a) Jours de fonte cumulés sur l'inlandsis groenlandais en 2021, montrant que la majeure partie de l'inlandsis a été touchée au cours de l'été 2021. b) Surface fondue (en %) de l'inlandsis groenlandais pendant la saison de fonte 2021, par rapport à la valeur médiane de la période 1981–2010. c) Ruissellement des eaux de fonte du Groenland en juillet et août 2021 par rapport aux longues saisons de fonte de 2012 et 2019, montrant la quantité record de glace fondue en fin de saison due aux précipitations enregistrées à la mi-août à la station Summit. Source: Toutes les images ont été fournies par le Centre national de données sur la neige et la glace des États-Unis <http://nsidc.org/greenland-today/>. Remerciements à Ted Scambos et à l'équipe du *Greenland Ice Sheet Today*. Les analyses a) et b) ont été réalisées par Thomas Mote, de l'Université de Géorgie (États-Unis), et le ruissellement des eaux de fonte au point c) a été estimé à partir du modèle climatique régional MARv3.12, avec l'aimable autorisation de Xavier Fettweis, de l'Université de Liège (Belgique).

⁴⁹ Moyenne de trois modèles régionaux axés sur le climat et le bilan de masse. Voir Mankoff, K. D., Fettweis, X., Langen, P. L. *et al.*, 2021: «Greenland ice sheet mass balance from 1840 through next week». *Earth System Science Data*, 13, 5001–5025. <https://doi.org/10.5194/essd-13-5001-2021>.

⁵⁰ Wiese, D. N., Yuan, D.-N., Boening, C. *et al.*, 2019: «JPL GRACE et GRACE-FO Mascon Ocean, Ice, and Hydrology Equivalent Water Height». RL06M CRI Filtered Version 2.0, Ver. 2.0, PO.DAAC, CA, États-Unis. <http://dx.doi.org/10.5067/TEMSC-3MJ62>.

⁵¹ <http://nsidc.org/greenland-today/2021/08/rain-at-the-summit-of-greenland/>

que la température de l'air est restée supérieure au point de congélation pendant près de neuf heures^{52,53}. Cette station n'avait jusqu'à présent jamais enregistré de précipitations, ni de températures supérieures au point de congélation aussi tard dans l'année. Des phénomènes de fonte ont également été observés à cet endroit en 1995, 2012 et 2019. Les relevés de carottes de glace indiquent qu'avant 1995, la dernière fois que ce type de phénomène s'était produit à cet endroit remonte à la fin du XIX^e siècle⁵⁴.

Inlandsis antarctique

Par rapport au Groenland, la fonte des glaces de surface que connaît l'inlandsis de l'Antarctique est négligeable; elle se produit généralement sur la péninsule Antarctique entre novembre et février, mais aussi sur certains plateaux de glace de faible altitude et dans les zones côtières. Plutôt modérée, la saison de fonte de l'été 2020/2021 a été inférieure à la moyenne de

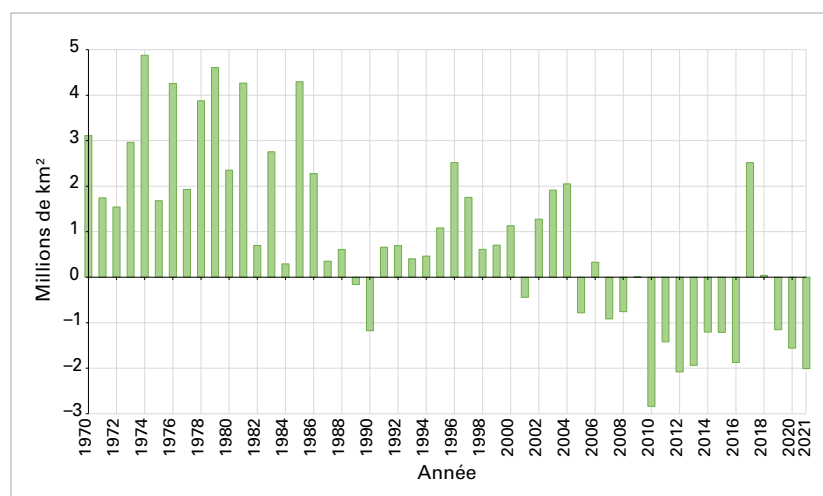
la période 1990–2020⁵⁵. À la mi-décembre 2020, le nord du plateau de Filchner, dans la mer de Weddell, a connu un bref épisode de fonte de forte intensité. La saison de fonte estivale s'est achevée à la mi-février 2021. Sur l'année, les principaux épisodes de fonte supérieurs à la normale ont été observés sur les plateaux de glace résiduels de Larsen B et C, sur la péninsule Antarctique; ailleurs, les phénomènes de fonte sont globalement restés proches des conditions moyennes de la période 1990–2020.

Bien qu'en surface, l'inlandsis de l'Antarctique ait connu un phénomène de fonte proche de la normale au cours de l'été 2020/2021, les données gravimétriques du satellite GRACE-FO indiquent qu'il a continué à s'amincir au début de l'année 2021 (figure 15), en raison notamment du vèlage d'icebergs et de la fonte sous-marine de la calotte glaciaire au niveau de la mer d'Amundsen, dans l'ouest de l'Antarctique. Depuis 2010, la perte de masse de l'inlandsis antarctique s'explique en grande partie par l'amincissement du glacier Thwaites et le retrait de sa ligne d'échouage dus au réchauffement de l'océan dans ce secteur⁵⁶. Selon les données du satellite GRACE FO⁵⁷, l'Antarctique a perdu 296 Gt de glace entre novembre 2020 et novembre 2021, soit à peu près le double du taux de perte moyen de la région sur la période 2002–2021 (figure 15).

ENNEIGEMENT

La couverture de neige saisonnière dans l'hémisphère Nord diminue depuis longtemps à la fin du printemps et en été, tandis qu'en automne, elle reste plutôt stable, voire augmente⁵⁸. Cette tendance s'est confirmée en 2021, malgré

Figure 17. Anomalie de l'étendue de l'enneigement en mai dans l'hémisphère Nord pour la période 1970–2021, par rapport à la moyenne de 1991–2020. Source: Produit sur l'étendue de l'enneigement dans l'hémisphère Nord de l'université Rutgers (<https://snowcover.org>).



⁵² Moon, T. A., Tedesco, M., Box, J. E. *et al.*, 2021: «Greenland Ice Sheet». Dans *Arctic Report Card*. Sous la direction de Moon, T. A., Druckenmiller, M. L., Thoman, R. L. Administration américaine pour les océans et l'atmosphère. <https://doi.org/10.25923/546g-ms61>.

⁵³ <http://nsidc.org/greenland-today/2021/08/rain-at-the-summit-of-greenland/>

⁵⁴ Meese, D. A., Gow, A. J., Grootes, P. *et al.*, 1994: «The Accumulation Record from the GISP2 Core as an Indicator of Climate Change Throughout the Holocene». *Science*, 266 (5191), 1680–1682. <https://doi.org/10.1126/science.266.5191.1680>.

⁵⁵ <http://nsidc.org/greenland-today/2021/04/the-antarctic-2020-to-2021-melt-season-in-review/>

⁵⁶ Velicogna, I., Mohajerani, Y., Landerer, G. A. F. *et al.*, 2020: «Continuity of Ice Sheet Mass Loss in Greenland and Antarctica from the GRACE and GRACE Follow-On Missions». *Geophysical Research Letters*, 47 (8), e2020GL087291. <https://doi.org/10.1029/2020GL087291>. Voir aussi Rignot, E., Mouginot, J., Scheuchl, B. *et al.*, 2019: «Four decades of Antarctic Ice Sheet mass balance from 1979–2017». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116 (4) 1095–1103. <https://doi.org/10.1073/pnas.1812883116>.

⁵⁷ Wiese, D. N., Yuan, D.-N., Boening, C. *et al.*, 2019: «JPL GRACE et GRACE-FO Mascon Ocean, Ice, and Hydrology Equivalent Water Height» RL06M CRI Filtered Version 2.0, Ver. 2.0, PO.DAAC, CA, États-Unis. <http://dx.doi.org/10.5067/TEMSC-3MJ62>.

⁵⁸ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2021: Résumé à l'intention des décideurs. Dans *Changements climatiques 2021: Les éléments scientifiques*, contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf.



Figure 18. Récent mouvement de terrain associé au dégel du pergélisol (glissement dû au décollement de la couche active et effondrement régressif dû au dégel). Au premier plan, de grandes quantités de matière ont été poussées dans la rivière pour former une langue de débris. Collines au pied des monts Mackenzie au sud de Norman Wells, nord-ouest du Canada.
Crédit: Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, Canada.

une anomalie en mai de -2 millions de km^2 , ce chiffre étant au 3^e rang des couvertures neigeuses les plus faibles enregistrées entre 1970 et 2021 (figure 17), selon les analyses du produit sur l'étendue de l'enneigement dans l'hémisphère Nord de l'université Rutgers⁵⁹. Tous les jeux de données montrent une diminution de la surface enneigée au printemps dans l'hémisphère Nord, ce qui s'explique, en 2021, par un enneigement inférieur à la normale dans les hautes latitudes eurasiennes. Aux mois de mai et juin 2021, la superficie de la couverture neigeuse dans l'Arctique eurasien a atteint des valeurs parmi les plus faibles jamais enregistrées pour la période 1967–2021, classées respectivement en cinquième et troisième position⁶⁰.

PERGÉLISOL

Situé sous un huitième des terres émergées de la planète environ, le pergélisol est un sol dont la température reste égale ou inférieure à $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant au moins deux années consécutives. Son dégel peut entraîner une instabilité du terrain et avoir d'autres conséquences, comme la libération de gaz à effet de serre par les matières organiques précédemment gelées. Lorsque la température du pergélisol approche de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, les variations de température dans le sol riche en glace sont bloquées en raison du changement de phase entre la glace et l'eau. Si la hausse de la température peut se stabiliser aux alentours

de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant plusieurs années ou décennies en raison de ce changement de phase, les conséquences du réchauffement et du dégel du pergélisol sur la stabilité du sol (affaissements et mouvements de masse par ex.), l'hydrologie, les écosystèmes et les infrastructures sont souvent clairement visibles (figure 18).

Depuis les années 1990, le Réseau terrestre mondial pour le pergélisol (GTN-P) compile des jeux de données sur les températures du pergélisol (mesurées par forage) et l'épaisseur de la couche active (épaisseur maximale de la couche dégelée en saison au-dessus du pergélisol). Ses activités sont essentiellement alimentées par les projets de recherche. Les séries de données à long terme provenant de réseaux nationaux et régionaux qui surveillent les zones montagneuses et polaires montrent que les tendances au réchauffement se poursuivent au moins jusqu'en 2020 (dernière année pour laquelle des données sont disponibles).

OZONE STRATOSPHERIQUE

Grâce au succès du Protocole de Montréal, les halons et les chlorofluorocarbones (CFC) ne sont officiellement plus utilisés, même si la surveillance de leur concentration dans l'atmosphère se poursuit. Du fait de leur longue durée de vie, ces composés resteront présents dans l'atmosphère

⁵⁹ <https://snowcover.org>

⁶⁰ Mudryk, L., Chereque, A. E., Derksen, C. *et al.*, 2021: «Terrestrial Snow Cover». Dans *Arctic Report Card*. Sous la direction de Moon, T. A., Druck-miller, M. L., Thoman, R. L.. Administration américaine pour les océans et l'atmosphère.
<https://doi.org/10.25923/16xy-9h55>.

Figure 19. À gauche : superficie du trou dans la couche d'ozone (en millions de km²). À droite : concentration minimale d'ozone, où la colonne d'ozone total est inférieure à 220 unités Dobson. L'année 2021 est indiquée en rouge. Les dernières années sont indiquées à titre de comparaison, comme indiqué dans la légende. La courbe épaisse grise représente la moyenne de la période 1979–2020. La zone en bleu correspond aux valeurs comprises entre le 10^e et le 90^e centile, et celle en vert aux valeurs comprises entre le 30^e et le 70^e centile pour la période 1979–2020. Les traits fins noirs indiquent les valeurs maximales et minimales quotidiennes pendant la période 1979–2020.
Source : Graphique élaboré par l'OMM sur la base des données téléchargées depuis le site Ozone Watch de la NASA (<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>). Ces données sont fondées sur des observations satellitaires des instruments OMI et TOMS.

pendant de nombreuses décennies. Même en l'absence de nouvelles émissions, la quantité de chlore et de brome qui subsiste est aujourd'hui encore plus que suffisante pour détruire complètement l'ozone au-dessus de l'Antarctique entre août et décembre. En conséquence, chaque année au printemps, un trou se forme dans la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique, où la concentration d'ozone est naturellement faible, ses dimensions variant essentiellement en fonction des conditions météorologiques.

En 2021, ce trou s'est formé relativement tôt et a continué à croître jusqu'à atteindre de grandes dimensions. D'une superficie de 24 millions de km² le 24 septembre, ce chiffre n'a ensuite pas beaucoup bougé jusqu'à la mi-octobre 2021. Son évolution, tout comme ses dimensions et son importance, ont été similaires à celles des saisons 2020 et 2018. La superficie maximale de 24,8 millions de km² a été atteinte le 7 octobre 2021 ; similaire aux valeurs de 2020 et de 2018, ce chiffre approche des records enregistrés les années précédentes (28,2 millions de km² en 2015 et 29,6 millions de km² en 2006), selon une analyse de l'Administration américaine pour l'aéronautique et l'espace (NASA) (figure 19, à gauche).

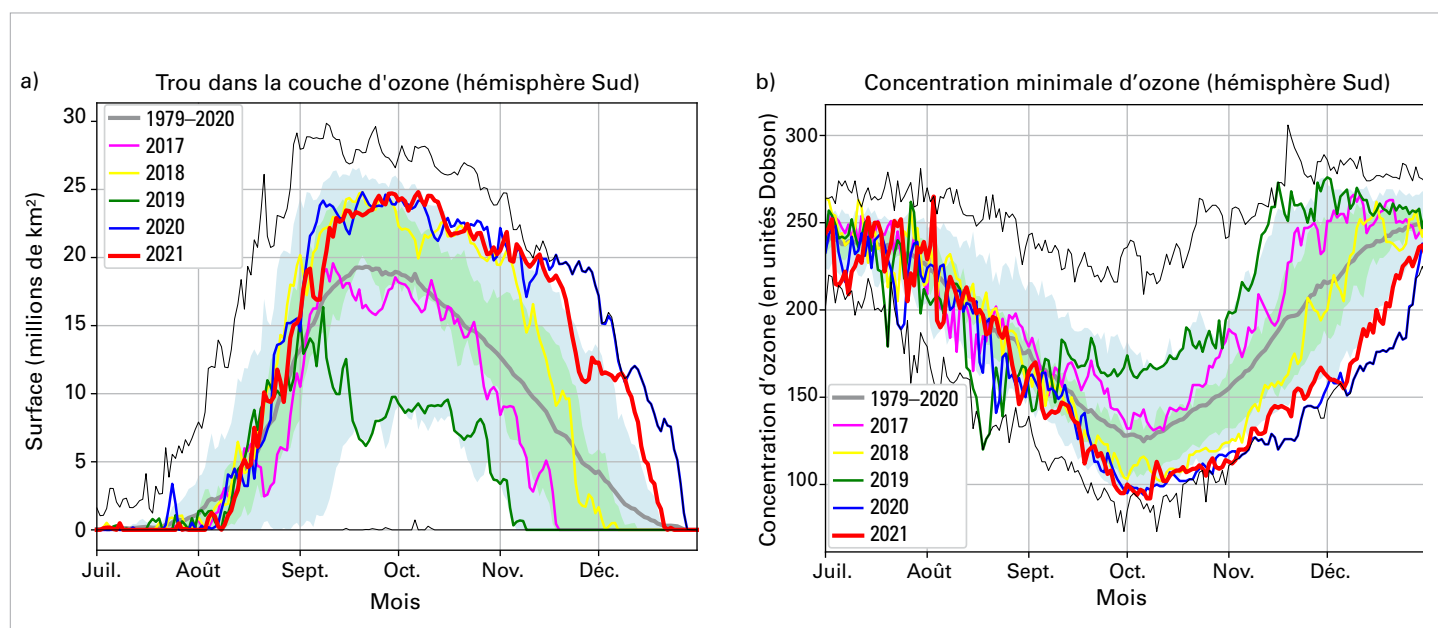
En ce qui concerne la colonne d'ozone total, la valeur minimale relevée par la NASA le 7 octobre 2021 était de 92 unités Dobson, ce qui représente la valeur la plus faible pour la saison 2021 mais aussi pour les 17 dernières années (figure 19, à droite). Après le mois de septembre 2021, la concentration d'ozone

dans la stratosphère est tombée de manière persistante à des valeurs proches de zéro entre 15 et 20 km d'altitude au-dessus de l'Antarctique. Avec la saison 2020, il s'agit des valeurs les plus faibles jamais mesurées par des sondes dans les stations de l'Antarctique, comme l'indique la NOAA.

Le trou qui s'est formé en 2021 a dépassé en taille et en profondeur 70 % des trous observés dans la couche d'ozone depuis 1979, et ce jusqu'à sa fermeture au cours de la seconde quinzaine de décembre. Il se classe au 13^e rang des trous les plus larges en termes de superficie et au 6^e rang des trous les plus profonds en termes de concentration minimale d'ozone. Ces dimensions inhabituelles résultent d'un puissant vortex polaire stable et de conditions plus froides que la normale dans la basse stratosphère.

FACTEURS DE LA VARIABILITÉ DU CLIMAT À COURT TERME

De nombreux phénomènes naturels, communément appelés configurations ou régimes climatiques, influent sur le temps à des échelles de quelques jours à plusieurs mois. Comme les températures à la surface de l'océan varient assez lentement, les configurations récurrentes de la températures de surface de la mer peuvent aider à comprendre et, parfois, à prédire les variations plus rapides des conditions météorologiques sur les terres émergées, à l'échelle d'une saison. De même, quoiqu'à un rythme plus rapide,



les variations de pression dans l'atmosphère peuvent aider à expliquer certains régimes météorologiques régionaux.

En 2021, le phénomène El Niño-oscillation australe, le dipôle de l'océan Indien, l'oscillation arctique et le mode annulaire austral, décrits plus en détail ci-après, ont chacun concouru aux conditions météorologiques et climatiques majeures observées dans différentes parties du monde.

EL NIÑO-OSCILLATION AUSTRALE (ENSO)

Le phénomène ENSO est l'un des principaux facteurs de la variabilité interannuelle des régimes météorologiques dans le monde. Il est associé à des pluies abondantes, des inondations et des sécheresses, entre autres aléas. Les épisodes El Niño, caractérisés par des eaux de surface plus chaudes que la moyenne dans l'est du Pacifique tropical et par un affaiblissement des alizés, tendent à élever les températures mondiales. Les épisodes La Niña, caractérisés par des eaux de surface plus froides que la moyenne dans le centre et l'est du Pacifique tropical et par un renforcement des alizés, ont l'effet inverse.

Des conditions La Niña sont apparues à la mi-2020 et ont atteint un pic d'intensité modérée en octobre et décembre, avec des températures moyennes de la mer en surface inférieures de 1,3 °C à la normale de la période 1991–2020 dans la région Niño 3.4 (5° N–5° S, 120° O–170° O). Ces conditions se sont affaiblies au cours du premier semestre de 2021 jusqu'à atteindre en mai une phase neutre (températures à plus ou moins 0,5 °C de la normale), selon les indicateurs océaniques et atmosphériques. La surface de la mer s'est toutefois refroidie après le milieu de l'année jusqu'à franchir à nouveau les seuils de La Niña sur la période juillet à septembre. Vers les mois d'octobre et décembre, les températures moyennes à la surface de la mer sont remontées pour se situer à 1,0 °C en dessous de la normale.

En plus de sa tendance à faire baisser temporairement les températures à la surface du globe, le phénomène La Niña est associé à des conditions plus sèches que la normale en Afrique de l'Est. Fin 2020, début 2021 et fin 2021, le Kenya, l'Éthiopie et la Somalie ont

ainsi connu plusieurs saisons consécutives de précipitations inférieures à la moyenne qui ont entraîné une sécheresse dans la région. Le continent maritime⁶¹ (qui correspond à la région insulaire climatologiquement importante située entre l'Asie du Sud-Est continentale et l'Australie, et entre les océans Indien et Pacifique) a connu au début de l'année 2021 des pluies plus abondantes qu'en temps normal, à l'inverse de la Patagonie, ce qui est typique de La Niña. En outre, les conditions La Niña sont associées à une activité cyclonique plus intense que la moyenne dans l'Atlantique Nord, lequel a subi 21 tempêtes tropicales baptisées pendant la saison des ouragans 2021 (la moyenne saisonnière de la période 1981–2010 est de 14). Enfin, ce phénomène a contribué à la sécheresse dans le sud des États-Unis. En décembre, la plupart des États de cette région ont enregistré des températures record ou quasi record, et plusieurs d'entre eux ont également connu un mois plus sec que la moyenne.

DIPÔLE DE L'OCÉAN INDIEN

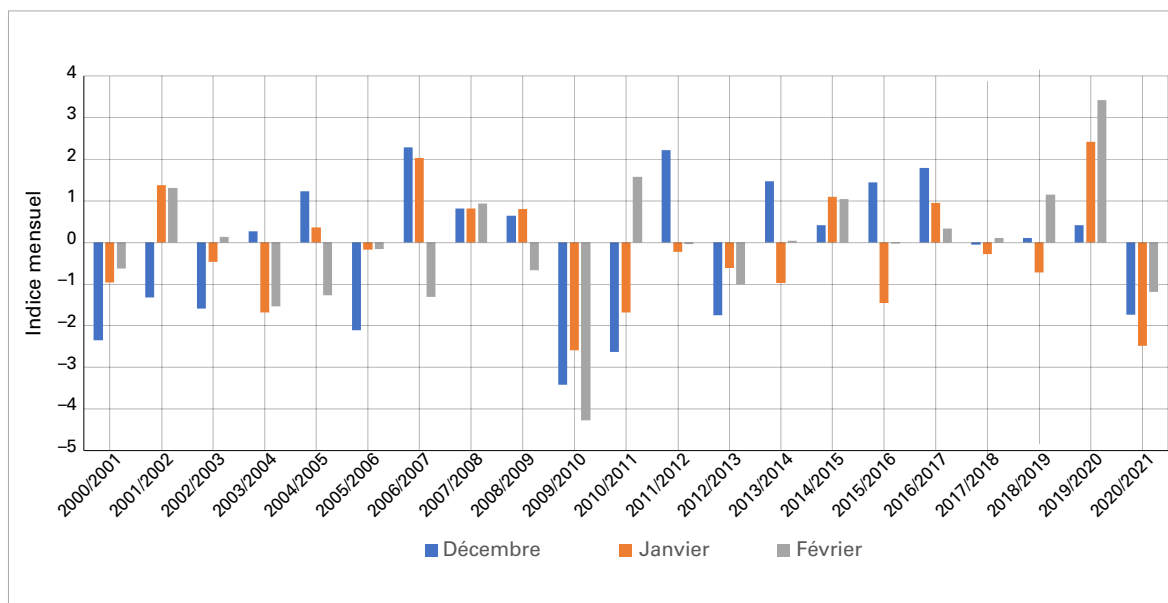
La phase positive du dipôle de l'océan Indien se caractérise par des eaux de surface plus froides que la moyenne dans l'est de l'océan Indien et plus chaudes que la moyenne dans l'ouest. La phase négative a l'effet inverse. La variation du gradient de la température de surface de la mer qui en résulte dans le bassin de l'océan Indien a une incidence sur les conditions météorologiques des continents du pourtour océanique, principalement dans l'hémisphère Sud. La phase positive est généralement associée aux épisodes El Niño, et la phase négative aux épisodes La Niña⁶².

Le dipôle de l'océan Indien est entré dans une phase négative au mois de juillet 2021, qui s'est atténuée jusqu'à redevenir quasiment neutre à la fin de l'année, une première depuis 2016. Sous les effets conjugués de cette phase et de La Niña, une grande partie de l'Australie a connu une fin d'hiver austral et un printemps particulièrement pluvieux. Le sud-ouest de l'Australie occidentale n'avait pas connu de mois de juillet aussi pluvieux depuis 1996, tout comme de nombreuses localités d'Australie méridionale. Sur les 122 années d'observations dont dispose l'Australie, le printemps 2021 se classe au 10^e rang des printemps les plus

⁶¹ Ramage, C. S., 1968: «Role of a Tropical "Maritime Continent" in the Atmospheric Circulation». *Monthly Weather Review*, 96 (6), 365–370. https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/96/6/1520-0493_1968_096_0365_roatmc_2_0_co_2.xml.

⁶² <http://www.bom.gov.au/climate/enso/history/ln-2010-12/IOD-what.shtml>

Figure 20. Indice mensuel de l'oscillation arctique pour les mois d'hiver 2000/2021 de l'hémisphère Nord. Les barres bleues correspondent au mois de décembre, les barres orange au mois de janvier et les barres grises au mois de février.
Source: Centre de prévision du climat de la NOAA



humides du pays, et même au 4^e rang pour la Nouvelle-Galles du Sud. Quant au mois de novembre, il s'agit du plus humide qu'ont jamais enregistré cet État et l'Australie dans son ensemble⁶³. Inversement, la combinaison de ces deux phénomènes a probablement contribué à la sécheresse extrême qui a frappé l'Afrique de l'Est.

OSCILLATION ARCTIQUE

L'oscillation arctique est une configuration atmosphérique à grande échelle qui influence le temps dans tout l'hémisphère Nord⁶⁴. La phase positive se caractérise par une pression atmosphérique inférieure à la moyenne au-dessus de l'Arctique et supérieure à la moyenne au-dessus du Pacifique Nord et de l'Atlantique. Le courant-jet s'établit le long des parallèles terrestres à une latitude plus élevée que d'habitude, emprisonnant l'air froid de l'Arctique, et les tempêtes sont parfois décalées vers le nord de leur trajectoire habituelle. Les latitudes moyennes en Amérique du Nord, en Europe, en Sibérie et en Asie de l'Est subissent moins d'invasions d'air froid que d'ordinaire pendant la phase positive de l'oscillation arctique. La phase négative a l'effet inverse; elle est associée à un courant-jet sinueux et à de l'air froid qui envahit les latitudes moyennes au sud.

L'hiver 2020/2021 de l'hémisphère Nord a vu s'installer une phase négative de l'oscillation arctique, qui, sur le plan saisonnier, n'avait pas été aussi forte depuis l'hiver 2009/2010 (figure 20). Le courant-jet a balayé l'Amérique du Nord, qui a vécu son mois de février le plus froid depuis 1994. En remontant vers le nord, ce même courant-jet sinueux a également contribué à l'extrême chaleur qu'ont connue certaines régions d'Asie du Nord et de l'Est en février 2021. Des régions comme la Mongolie, la Chine, le Japon et la République de Corée ont enregistré des températures record pour cette période de l'année. Le contraste entre les phases positive (hiver 2019/2020) et négative (hiver 2020/2021) de l'oscillation arctique pourrait expliquer une partie des différences observées entre les régimes de température des premiers trimestres de 2020 et de 2021. La phase négative qui s'est installée pendant l'hiver a également limité la perte de glace de mer dans l'Arctique l'été suivant⁶⁵ (voir la section [Banquise arctique](#)).

MODE ANNULAIRE AUSTRAL

De l'autre côté de la planète, le mode annulaire austral (auss appelé «oscillation antarctique») est une configuration atmosphérique à grande échelle qui influence le temps dans l'hémisphère Sud. Il s'agit de la ceinture de vents d'ouest

⁶³ <http://www.bom.gov.au/climate/current/statements/scs75.pdf>

⁶⁴ Thompson, D. W. J., Wallace, J. M., 1998: «The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields». *Geophysical Research Letters*, 25 (9), 1297–1300.

⁶⁵ Rigor, I. G., Wallace, J. M., Colony, R. L., 2002: «Response of Sea Ice to the Arctic Oscillation». *Journal of Climate*, 15 (18), 2648–2663. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<2648:ROSIIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<2648:ROSIIT>2.0.CO;2).

entourant l'Antarctique qui, en se déplaçant vers le nord ou le sud, influence les conditions des latitudes moyennes à élevées dans l'hémisphère Sud. La phase positive, associée aux épisodes La Niña de l'ENSO, se caractérise par une contraction de cette ceinture de vents vers l'Antarctique. Pendant cette phase, un flux d'ouest chaud et humide souffle sur le nord de la péninsule, entraînant un réchauffement du foehn dans la partie orientale et une chaleur anormale. À l'inverse, la phase négative se caractérise par une expansion de la ceinture de forts vents d'ouest vers l'équateur⁶⁶. Ce phénomène peut notamment avoir une incidence importante sur les températures de surface de l'Antarctique, la circulation océanique et le régime des pluies dans certaines parties de l'Australie.

Le mode annulaire austral est resté globalement neutre ou positif tout au long de l'année 2021, dont le début et la fin ont été marqués par une phase fortement positive⁶⁷. Cette configuration a probablement contribué au froid record qui a sévi pendant l'hiver austral et la saison froide d'avril à septembre au pôle Sud, où elle a créé des anomalies dans la vitesse et la direction des vents, principalement en provenance du nord-est, empêchant les masses d'air chaud d'atteindre la région. À l'inverse, la station Esperanza, située au nord-est de la péninsule antarctique, a connu l'année la plus chaude jamais enregistrée, avec une température moyenne de $-2,6^{\circ}\text{C}$. Le 18 décembre, la température a atteint $14,6^{\circ}\text{C}$, un record absolu pour ce mois de l'année dans cette station.

⁶⁶ <http://www.bom.gov.au/climate/sam/>

⁶⁷ <http://www.nerc-bas.ac.uk/icd/gjma/sam.html>

Phénomènes à fort impact en 2021

Bien qu'il importe de comprendre les changements climatiques à grande échelle, les impacts les plus violents du temps et du climat sont le plus souvent ressentis lors de phénomènes météorologiques extrêmes tels que les fortes pluies et chutes de neige, les sécheresses, les vagues de chaleur, les vagues de froid et les tempêtes, y compris les tempêtes tropicales et les cyclones. Ces conditions peuvent provoquer ou aggraver d'autres phénomènes à fort impact comme les inondations, les glissements de terrain, les incendies et les avalanches. La présente section repose en grande partie sur les contributions des Membres de l'OMM. Les dangers associés à ces phénomènes et leurs répercussions socio-économiques plus vastes sont décrits dans la section [Risques et impacts](#).

VAGUES DE CHALEUR ET INCENDIES

Des vagues de chaleur exceptionnelles ont frappé l'ouest de l'Amérique du Nord à plusieurs reprises aux mois de juin et de juillet. Selon certaines mesures, les températures les plus extrêmes ont été enregistrées fin juin dans le nord-ouest des États-Unis et l'ouest du Canada. La ville de Lytton, située dans le centre-sud de la Colombie-Britannique, a atteint 49,6 °C le 29 juin, battant ainsi de 4,6 °C le précédent record national, tandis que les températures ont avoisiné les 45 °C jusque dans la banlieue est de Vancouver et l'intérieur de l'île de la ville. Ces températures ont également dépassé de plus de 5 °C la précédente maximale connue au nord du 50^e parallèle. Cette chaleur a fait de nombreuses victimes, dont 569 dans la seule Colombie-Britannique entre le 20 juin et le 29 juillet⁶⁸, et 185 dans l'Alberta⁶⁹, tandis qu'aux États-Unis, sur une période similaire, 154 décès liés à la chaleur ont été signalés dans l'État de Washington⁷⁰ et au moins 83 dans l'Oregon⁷¹. De nombreuses stations de longue date ont battu leurs records de 4 à 6 °C, comme celle de Portland, dans l'Oregon (46,7 °C). Plusieurs vagues de chaleur ont également sévi dans le

sud-ouest des États-Unis. Une température de 54,4 °C a été enregistrée le 9 juillet dans la Vallée de la Mort en Californie, qui avait déjà connu une chaleur similaire en 2020. Il s'agit de la température la plus élevée jamais enregistrée dans le monde depuis les années 1930 au moins. En moyenne, l'été 2021 a été le plus chaud qu'a connu le territoire continental des États-Unis.

De nombreux feux de forêt de grande ampleur se sont déclarés pendant les vagues de chaleur et dans leur sillage (l'un d'entre eux a détruit une grande partie de la ville de Lytton un jour après qu'elle a battu son record de température). Le Dixie Fire, le plus grand incendie jamais enregistré dans le nord de la Californie, qui s'est déclaré le 13 juillet, a ravagé près de 390 000 hectares avant d'être complètement maîtrisé en octobre. Le 30 décembre, un rare feu de forêt hivernal a causé d'importantes pertes matérielles à l'est de Boulder, dans le Colorado, en détruisant ou en endommageant plus d'un millier de maisons et autres bâtiments. La superficie totale qui a brûlé au cours de la saison aux États-Unis a été légèrement inférieure à la moyenne⁷², à l'inverse du Canada, où elle a été bien au-dessus de la moyenne, notamment dans l'Ontario, où c'est la première fois qu'une telle surface a brûlé à cette saison, et en Colombie-Britannique, où la surface brûlée fait partie des trois plus grandes enregistrées dans l'État. Au cours de l'été, les fumées des incendies ont envahi de nombreuses régions d'Amérique du Nord sur une longue période: Calgary a ainsi enregistré un record de 512 heures de fumée ou de brume, contre une moyenne à long terme de 12 heures.

Des chaleurs extrêmes ont touché la région méditerranéenne au sens large à plusieurs reprises au cours de la seconde moitié de l'été de l'hémisphère Nord. La température la plus exceptionnelle a été enregistrée au cours de la deuxième semaine d'août. Le 11 août, une station agrométéorologique près de Syracuse, en Sicile (Italie), a connu 48,8 °C, record européen provisoire, tandis que Kairouan (Tunisie) a battu le record avec 50,3 °C. Montoro (47,4 °C) a établi le

⁶⁸ https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/birth-adoption-death-marriage-and-divorce/deaths/coroners-service/news/2021/chief_coroner_statement_-_heat_related_deaths.pdf

⁶⁹ <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/dix-evenements-meteorologiques-plus-marquants/2021.html>

⁷⁰ <https://www.doh.wa.gov/Emergencies/BePreparedBeSafe/SevereWeatherandNaturalDisasters/HotWeatherSafety/HeatWave2021#heading88455>

⁷¹ Bureau du médecin légiste de l'Oregon, cité dans les médias, <https://flashalert.net/id/OSP0re/146352>

⁷² <https://www.nifc.gov/>

record espagnol le 14 août, tandis que le même jour, Madrid (aéroport de Barajas) a connu sa journée la plus chaude, avec 42,7 °C. Plus tôt, le 20 juillet, Cizre (49,1 °C) a établi le record turc et Tbilissi (Géorgie) a connu sa journée la plus chaude (40,6 °C). De grands feux incontrôlés se sont déclarés dans de nombreuses parties de la région. L'Algérie, le sud de la Turquie et la Grèce ont été particulièrement touchés, avec plus de 40 morts pour l'Algérie⁷³. La France, l'Italie, la Macédoine du Nord, le Liban, Israël, la Libye, la Tunisie et le Maroc ont également connu d'importants incendies de forêt au cours de cette période.

Le mois de juin a été exceptionnellement chaud dans de nombreuses régions d'Europe centrale et orientale. Des records nationaux pour ce mois ont été établis en Estonie (34,6 °C) et au Bélarus (37,1 °C), tandis que certaines villes ont connu leur journée de juin la plus chaude, comme Saint-Petersbourg (35,9 °C) et Moscou (34,8 °C), toutes deux le 23 juin, Erevan (Arménie, 41,1 °C) le 24, et Bakou (Azerbaïdjan, 40,5 °C) le 26. Tampere, en Finlande, n'avait jamais connu une température aussi élevée (33,2 °C) que le 22 juin. La Lettonie a enregistré son mois de juin et son été les plus chauds de toute son histoire. Plus loin, la Libye a également subi une vague de chaleur prolongée à la fin du mois de juin. Plus tard pendant l'été, une chaleur anormale a également atteint le nord-ouest de l'Europe; les 31,3 °C enregistrés à Castlederg le 21 juillet représentent un record pour l'Irlande du Nord. Deux nuits tropicales ont été observées en Irlande en juillet, avec des températures minimales quotidiennes dépassant 20 °C dans le comté de Kerry.

Pour la troisième année consécutive, de grands incendies ont ravagé les forêts sibériennes pendant l'été, notamment dans la république de Sakha, autour de Iakoutsk. Selon un rapport de l'Agence fédérale des forêts de Russie, le nombre d'incendies en Iakoutie à la fin de l'été était de 2 295, pour une superficie d'environ 8,9 millions d'hectares brûlés depuis le début de la saison des feux de forêt.

Pendant la haute saison, qui s'étend d'août à septembre, les incendies ayant sévi dans la région de l'Amazonie ont été moins nombreux qu'en 2019 ou 2020⁷⁴, ce qui ne fut pas le cas

dans d'autres parties du Brésil, comme le Pantanal.

VAGUES DE FROID ET CHUTES DE NEIGE

De nombreuses régions du centre des États-Unis et du nord du Mexique ont connu des conditions anormalement froides à la mi-février, en particulier le Texas, qui n'avait jamais connu de températures aussi basses depuis au moins 1989, certaines régions ayant enregistré des températures négatives pendant 6 à 9 jours d'affilée. Le 16 février, le thermomètre est descendu à -25,6 °C à Oklahoma City et à -18,9 °C à Dallas, deux villes où il n'avait plus fait aussi froid depuis respectivement 1899 et 1949. L'acheminement de l'électricité a été gravement perturbé: près de 10 millions de foyers ont subi des coupures de courant au plus fort de l'événement. Le gel des tuyaux a également causé beaucoup de dégâts. Au total, 226 décès ont été signalés aux États-Unis et les pertes économiques sont estimées à 24 milliards de dollars É.-U., ce qui en fait la tempête hivernale la plus coûteuse jamais enregistrée aux États-Unis⁷⁵.

L'hiver 2020/2021 a été particulièrement froid dans de nombreuses régions d'Asie du Nord. La Fédération de Russie n'avait plus connu d'hiver aussi froid depuis 2009/2010. Des températures inférieures à la moyenne, accompagnées de plusieurs épisodes de fortes chutes de neige, ont touché une grande partie du Japon fin décembre et début janvier. Un certain nombre de localités en bordure de la mer du Japon, à Honshu, ont connu début janvier les plus fortes chutes de neige jamais enregistrées sur 72 heures. Une grande partie de la Chine a également connu un froid inhabituel au cours de cette période, atteignant -19,6 °C le 7 janvier à Beijing, la température la plus basse dans cette ville depuis 1966.

Une violente tempête de neige a frappé de nombreuses régions d'Espagne entre le 7 et le 10 janvier, suivie d'une semaine de températures négatives. Au total, ce sont 53 cm de neige qui sont tombés au Retiro, un quartier du centre de Madrid, et de fortes chutes de neige ont également été signalées dans de nombreuses

⁷³ <https://www.emdat.be/>

⁷⁴ https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_estados/

⁷⁵ <https://www.ncdc.noaa.gov/billions/events/US/2021>

autres régions d'Espagne⁷⁶. Le 12 janvier, après le passage de la tempête, certaines localités, comme Tolède (−13,4 °C) et Teruel (−21,0 °C), ont enregistré leur record de température minimale. Les transports terrestres et aériens ont été fortement perturbés. Pendant la deuxième semaine de février, les Pays-Bas ont essuyé une tempête de neige à l'intensité inégalée depuis 2010, et de fortes chutes de neige sont également tombées en Allemagne, en Pologne et au Royaume-Uni. Le 12 février, dans le sillage de la tempête, la ville de Braemar a enregistré −23,0 °C, une minimale que le Royaume-Uni n'avait pas connue depuis 1995. Dans le sud-est de l'Europe, une neige très abondante est tombée à Athènes le 15 février, comme la ville n'en avait plus vue depuis 2009. Des chutes de neige inhabituelles se sont abattues sur la Lybie entre le 15 et le 21 février puis à nouveau, sur les hauteurs, fin décembre.

Une vague de froid inhabituelle pour un printemps a déferlé sur de nombreuses régions d'Europe au début du mois d'avril. En France, des records de froid pour ce mois ont été enregistrés, par exemple le 8 à Saint-Etienne avec −7,4 °C et le 6 à Beauvais avec −6,9 °C, tandis que le 7, Belgrade (Serbie) a connu les plus fortes chutes de neige jamais enregistrées en avril. La Pologne a quant à elle vécu son mois d'avril le plus froid du XXI^e siècle. En altitude, des records nationaux pour le mois d'avril ont

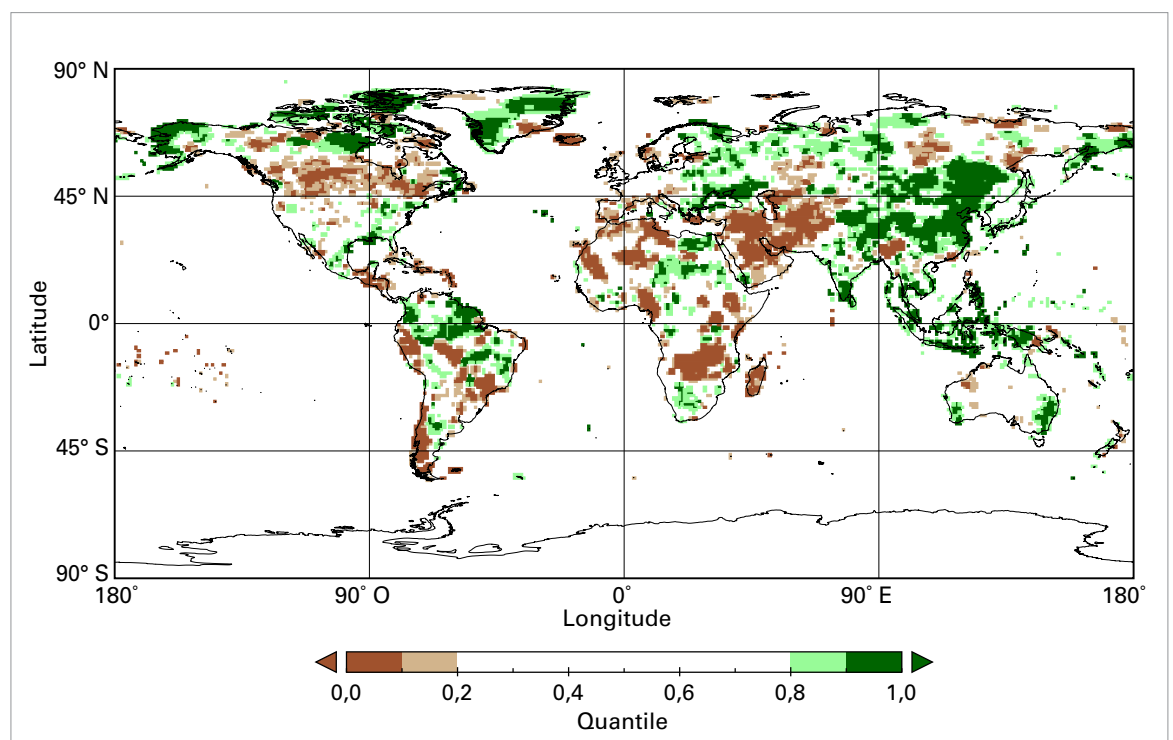
été établis en Suisse (−26,3 °C au Jungfrauoch) et en Slovénie (−20,6 °C à Nova vas na Blokah). Cette vague de froid a fait suite à une fin de mois de mars très chaude: le 31 a été en France le jour le plus chaud jamais enregistré pour un mois de mars. Le secteur agricole a été gravement touché par le gel: rien qu'en France, les pertes subies par les vignobles et autres cultures dépassent 4,6 milliards de dollars É.-U. Enfin, en moyenne, le mois d'avril n'avait plus été aussi froid au Royaume-Uni depuis 1922.

PRÉCIPITATIONS

Par rapport aux températures, les précipitations se caractérisent par une plus grande variabilité spatiale et temporelle. En 2021, les précipitations totales ont été supérieures à la normale de la période climatologique de référence (1951–2000) en Europe de l'Est, en Asie du Sud-Est, sur le continent maritime et dans certaines régions du nord de l'Amérique du Sud et du sud-est de l'Amérique du Nord (figure 21). Au contraire, l'Asie du Sud-Ouest et le Moyen-Orient, ainsi que des régions d'Afrique australe, du sud de l'Amérique du Sud et du centre de l'Amérique du Nord ont souffert d'un déficit pluviométrique.

⁷⁶ http://www.aemet.es/fr/conocermas/borrascas/2020-2021/estudios_e_impactos/filomena

Figure 21. Cumuls de précipitations en 2021, exprimés en centiles de la période de référence 1951–2010, pour les zones qui ont figuré dans la fourchette des 20 % d'années les plus sèches (en brun) et des 20 % d'années les plus humides (en vert) de la période de référence, des nuances plus foncées de brun et de vert indiquant les zones qui font partie, respectivement, de la fourchette des 10 % les plus sèches et des 10 % les plus humides.
Source: Centre mondial de climatologie des précipitations (GPCC), Service météorologique allemand (DWD, Allemagne).



En Afrique de l'Ouest, la mousson a débuté avec du retard. Plus tard dans la saison, le cumul des précipitations a été supérieur à la normale, en particulier dans l'ouest de la région concernée par la mousson. Dans l'ensemble, les précipitations saisonnières ont été proches de la normale. En Afrique australe, dans une zone centrée sur la Zambie, le volume des précipitations tombées pendant la saison pluvieuse jusqu'en mai a été inférieur à la moyenne à long terme. C'est au moins la deuxième année consécutive que Madagascar connaît cette situation, qui s'est également produite la plupart des années depuis 2011. En outre, les deux saisons des pluies (avril-mai et octobre-novembre) ont été plus sèches que d'habitude dans la région de la corne de l'Afrique.

Des précipitations totales supérieures à la moyenne ont été observées en Alaska et dans le nord du Canada, ainsi que dans le sud-est des États-Unis et dans certaines parties des Caraïbes. Sur toute la largeur du continent, les régions comprises entre ces deux bandes plus humides que la moyenne ont au contraire connu des conditions exceptionnellement sèches.

Des volumes de précipitations inhabituellement élevés par rapport à la période de référence ont été enregistrés dans le sud-ouest et le sud-est de l'Australie, contrairement à l'île du Nord de la Nouvelle-Zélande, où le volume des précipitations mesurées était anormalement bas.

Le volume des précipitations tombées autour de la mer Méditerranée était inhabituellement bas, alors que des totaux anormalement élevés ont été enregistrés autour de la mer Noire et dans certaines parties de l'Europe de l'Est.

INONDATIONS

Des précipitations extrêmes, renforcées par l'afflux d'humidité qui a précédé le typhon *In-fa*, ont touché la province du Henan, dans le centre de la Chine, du 17 au 21 juillet. La région en périphérie de la ville de Zhengzhou (capitale de la province du Henan) a été la plus touchée: le 20 juillet, 201,9 mm de pluie y sont tombés en une heure (un record national chinois) et 382 mm en 6 heures. Sur la totalité de cet épisode,

720 mm de pluie sont tombés dans cette zone, soit plus que sa moyenne annuelle. La ville a connu des inondations soudaines et extrêmes, qui ont englouti de nombreux bâtiments, routes et métros. De plus, 380 personnes ont péri dans ces inondations ou sont portées disparues, et des pertes économiques de 17,7 milliards de dollars É.-U. ont été signalées⁷⁷. D'autres inondations de fin de saison ont eu lieu au début du mois d'octobre, principalement dans les provinces du Shanxi et du Hebei.

L'Europe occidentale a connu à la mi-juillet des inondations parmi les plus dévastatrices jamais enregistrées. L'ouest de l'Allemagne et l'est de la Belgique ont été les plus touchés, avec 100 à 150 mm de pluie tombés les 14 et 15 juillet, sur un sol déjà anormalement humide à la suite de fortes précipitations récentes. La ville de Hagen (Allemagne) a enregistré 241 mm de précipitations en 22 heures. De nombreuses rivières ont fortement débordé, inondant plusieurs villes, et plusieurs glissements de terrain se sont également produits. La France, les Pays-Bas, le Luxembourg et la Suisse ont également subi d'importantes inondations. L'Allemagne a signalé 183 décès, et la Belgique 36, tandis que les pertes économiques ont dépassé les 20 milliards de dollars É.-U. en Allemagne⁷⁸.

Les fortes pluies persistantes de la mi-mars ont provoqué d'importantes inondations dans l'est de la Nouvelle-Galles du Sud, en Australie⁷⁹. En moyenne, la semaine du 18 au 24 mars a été la plus humide jamais enregistrée sur la côte de cet État. Les inondations les plus graves ont eu lieu le long des rivières Hastings, Karuah et Manning, au nord de Sydney, mais d'autres zones, par exemple à l'ouest de Sydney, ont également subi des inondations majeures. De nombreux cours d'eau intérieurs ont également quitté leur lit, ce qui a permis de reconstituer en grande partie les stocks d'eau gravement altérés par la sécheresse de 2017-2019. Au moins 2,1 milliards de dollars É.-U. de pertes économiques ont été signalés.

En 2021, deux crues soudaines associées à de fortes pluies localisées se sont produites en Afghanistan début mai, autour de Herat à l'ouest, et les 28-29 juillet au Nuristan à l'est. Ces deux événements ont été particulièrement mortels, avec 61 décès en mai et 113 en juillet⁸⁰.

⁷⁷ Soit 114,3 milliards de RM, selon les données nationales de la Chine.

⁷⁸ Données nationales de l'Allemagne

⁷⁹ <http://www.bom.gov.au/climate/current/statements/scs74.pdf?20210621>

⁸⁰ <https://reliefweb.int/disaster/fl-2021-000050-afg>

Des crues soudaines se sont produites à plusieurs reprises sur les côtes de la Méditerranée et de la mer Noire. L'événement le plus marquant s'est produit le 10 août en Turquie, sur la côte de la mer Noire, occasionnant 77 décès et de lourds dégâts dans plusieurs villes. Un total de 399,9 mm de précipitations a été enregistré à Bozkurt en 24 heures. Cet événement a été associé à un «médicane» – une tempête qui se forme en dehors des tropiques mais qui présente néanmoins les caractéristiques d'une tempête tropicale – dans la mer Noire. Des inondations et précipitations extrêmes ont également été signalées sur la côte de la mer Noire de la Fédération de Russie entre le 12 et le 14 août.

Le 4 octobre, des précipitations exceptionnelles sont tombées dans les régions côtières de la Ligurie (nord-ouest de l'Italie), comme à Montenotte Inferiore (496,0 mm en 6 heures) et à Rossiglione (740,6 mm en 12 heures).

La persistance de précipitations plus abondantes que la moyenne au cours du premier semestre de l'année dans certaines parties du nord de l'Amérique du Sud, en particulier dans le nord du bassin amazonien, a entraîné des inondations de grande ampleur et de longue durée dans la région. À Manaus (Brésil), le Rio Negro a atteint son plus haut niveau jamais enregistré, avec un pic à 30,02 m le 20 juin⁸¹. Les inondations les plus importantes ont été signalées dans le nord du Brésil, mais la Guyane, la République bolivarienne du Venezuela et la Colombie ont également été touchées.

En Inde, la mousson a progressé plus lentement et a duré plus longtemps que d'habitude, mais dans l'ensemble, les précipitations y afférentes ont été proches de la moyenne, car les volumes supérieurs à la moyenne dans l'ouest du pays ont compensé les valeurs inférieures à la moyenne enregistrées dans le nord-est. Au cours de la saison, 529 décès en Inde et 198 au Pakistan (au 30 septembre) ont été attribués aux inondations, le Bangladesh et le Népal n'ayant pas été épargnés⁸². D'autres inondations ont eu lieu dans l'est de l'Inde et au Népal pendant la mousson du nord-est, en octobre et novembre. En Asie de l'Est, la Chine orientale (à l'exception du Henan) a connu une mousson globalement

moins humide qu'en 2020, mais le mois d'août a été extrêmement pluvieux au Japon, notamment dans l'ouest du pays, qui n'avait jamais vécu un mois d'août aussi humide⁸³, certains endroits ayant mesuré plus de 1 400 mm de pluie entre le 11 et le 26 août. Une dépression tropicale s'est abattue sur la Malaisie le 16 décembre, provoquant à Selangor et à Kuala Lumpur de graves inondations, qui ont fait au moins 52 morts. À l'aéroport international de Kuala Lumpur, il est tombé 230 mm de pluie en 12 heures les 17 et 18 décembre⁸⁴.

Dans le Sahel africain, la saison des pluies a été généralement proche de la moyenne (1951–2000), et moins pluvieuse que ces dernières années, bien que des inondations importantes aient été signalées, notamment au Niger, au Soudan et au Soudan du Sud, ainsi qu'au Mali. Ailleurs en Afrique, le lac Tanganyika est monté à plus de 3 m au-dessus de son niveau normal en mai⁸⁵, forçant les riverains à se mettre à l'abri au Burundi, tandis que le lac Victoria a atteint son niveau le plus élevé depuis le début des données satellitaires en 1992, dépassant son record de l'année précédente. Les débits élevés du Nil en aval du lac Victoria, ainsi que les vastes nappes d'eau stagnante qui ont subsisté des inondations de 2020 ont contribué à l'enchaînement des inondations qui a sinistré certaines parties du Soudan du Sud et du Soudan, malgré un niveau de précipitation proche de la normale en 2021. En Afrique australe, dont une grande partie avait connu une sécheresse de longue durée, les précipitations de la saison des pluies 2020/2021 ont été supérieures à la moyenne dans certaines régions, notamment le nord de l'Afrique du Sud et le Zimbabwe, où quelques inondations ont été signalées, mais elles ont été proches ou inférieures à la moyenne plus au nord.

L'Ouest canadien a été touché par de graves inondations en novembre. En de nombreux endroits du sud de la Colombie-Britannique, 200 à 300 mm de pluie sont tombés en 60 heures, provoquant des inondations et des glissements de terrain (aggravés dans certains cas par le ruissellement des zones dévastées par les incendies). Les transports ont été gravement perturbés, la plupart des grands axes reliant Vancouver

⁸¹ http://www.cprm.gov.br/sace/boletins/Amazonas/20211022_11-20211025%20-%20114229.pdf

⁸² Données nationales de l'Inde et du Pakistan; la base de données sur les situations d'urgence EM-DAT dénombre 120 décès au Népal au cours de deux incidents et 21 au Bangladesh à la suite d'un seul.

⁸³ https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/news/press_20210924.pdf

⁸⁴ <https://reliefweb.int/disaster/fl-2021-000209-mys>

⁸⁵ <https://reliefweb.int/disaster/fl-2021-000039-bdi>

au reste du Canada ayant été fermés pendant plusieurs semaines, et plusieurs communautés ont été partiellement ou totalement inondées. Six victimes ont été signalées et les pertes économiques se chiffrent à plus de 2 milliards de dollars canadiens. Les inondations ont également touché les régions adjacentes du nord-ouest des États-Unis. Seattle et Vancouver ont toutes deux connu l'automne le plus pluvieux jamais enregistré.

SÉCHERESSE

Une grave sécheresse a sévi dans une grande partie de l'Amérique du Sud subtropicale pour la deuxième année consécutive. Le volume des précipitations a été bien en-dessous de la moyenne sur une grande partie du centre et du sud du Brésil⁸⁶, du Paraguay, de l'Uruguay et du nord de l'Argentine. Cette sécheresse a entraîné des pertes agricoles conséquentes, aggravées par une vague de froid à la fin du mois de juillet, au cours de laquelle les températures maximales ont été inférieures à 10 °C pendant cinq jours consécutifs dans les régions les plus élevées du sud du Brésil, ce qui a causé beaucoup de dégâts dans de nombreuses régions caféicoles du pays. Le bas niveau des rivières a également entraîné une baisse de la production d'hydroélectricité⁸⁷ et perturbé le transport fluvial. Le gouvernement brésilien a déclaré une situation de pénurie critique des ressources en eau dans la région hydrographique du Paraná, où de nombreux réservoirs d'eau ont atteint ou approché leur niveau le plus bas des 20 dernières années⁸⁸. L'indice de précipitations normalisé sur 24 mois dans la région a atteint son plus bas niveau depuis les années 1960. Le 6 octobre, le fleuve Paraguay à Asuncion est tombé à un niveau record de 0,75 m sous le niveau de référence, soit 0,21 m sous le précédent record établi en 2020. Au Chili, qui connaît depuis la dernière décennie une longue sécheresse, l'année 2021 n'a pas fait exception, la plupart des localités ayant enregistré des précipitations inférieures d'au moins 30 % à la moyenne. Un certain nombre de localités au sud de Santiago ont connu en 2021 l'année la plus sèche jamais enregistrée,

avec un cumul de précipitations de 40 à 50 % inférieur à la normale, notamment à Concepción (559,2 mm), Valdivia (949,0 mm) et Puerto Montt (921,7 mm).

En 2021, la sécheresse généralisée qui s'était installée en 2020 dans l'ouest de l'Amérique du Nord s'est étendue et intensifiée. En septembre, une sécheresse extrême, voire exceptionnelle, s'est installée sur la plupart des régions des États-Unis situées au niveau des montagnes Rocheuses et à l'ouest de ces dernières, malgré une légère atténuation à partir du mois de juillet à l'intérieur des terres du sud-ouest due à une mousson d'été active. Cette sécheresse s'est également étendue vers l'est, au niveau de la frontière entre les États-Unis et le Canada, d'un côté jusqu'au Minnesota, de l'autre jusqu'aux Prairies canadiennes. De janvier 2020 à août 2021, le sud-ouest des États-Unis a vécu ses 20 mois les plus secs jamais enregistrés⁸⁹. Le taux d'humidité y est descendu jusqu'à des valeurs inférieures de plus de 10 % au record précédent. Au Canada, une baisse de 35 à 40 % de la production de blé et de colza était attendue en 2021 par rapport à l'année précédente⁹⁰, tandis qu'aux États-Unis, le niveau du lac Mead sur le fleuve Colorado est tombé en juillet à 47 m sous son niveau maximal, soit le niveau le plus bas jamais enregistré depuis la mise en service complète du réservoir. En Californie, de fortes pluies ont atténué la sécheresse à la fin du mois d'octobre et en décembre; le 24 octobre, la ville de Sacramento a connu sa journée la plus humide avec 138 mm de pluie, alors qu'elle sortait à peine d'une période record de 211 jours sans précipitations mesurables. En quittant la côte ouest, la sécheresse a toutefois progressé vers l'est à la fin de l'année, à travers les États du centre et du sud.

L'Asie du Sud-Ouest a également été touchée par une sécheresse importante tout au long de l'année 2021. Les précipitations qui se sont abattues pendant la saison fraîche 2020/2021 sur la majeure partie de la République islamique d'Iran, de l'Afghanistan, du Pakistan, du sud-est de la Turquie et du Turkménistan ont été bien inférieures à la moyenne. Le Pakistan a connu un mois de février parmi les trois

⁸⁶ <https://clima.inmet.gov.br/prec>

⁸⁷ <http://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20210707-escassez-hidrica-2021.aspx>

⁸⁸ <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/ana-declara-situacao-de-escassez-quantitativa-dos-recursos-hidricos-da-regiao-hidrografica-do-parana>

⁸⁹ <https://www.drought.gov/news/new-noaa-report-exceptional-southwest-drought-exacerbated-human-caused-warming>

⁹⁰ <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/210914/dq210914b-fra.htm>

plus secs de son histoire, ainsi qu'un premier trimestre 2021 au 5^e rang des plus secs jamais enregistrés. En montagne, le manteau neigeux était également bien inférieur à la moyenne: en République islamique d'Iran, l'étendue de la couverture neigeuse n'a atteint que la moitié environ de la moyenne à long terme du pays pendant la majeure partie des mois de janvier et de février, ce qui a entraîné une réduction du débit des cours d'eau tributaires de la fonte des neiges et par conséquent une diminution des quantités d'eau disponibles pour l'irrigation.

Dans la région de la corne de l'Afrique, la sécheresse s'est progressivement installée au cours de l'année, notamment en Somalie, au Kenya et dans certaines parties de l'Éthiopie, après une succession de trois saisons des pluies moins pluvieuses que la moyenne. Celle d'octobre à décembre a été particulièrement mauvaise, malgré quelques pluies au Kenya en fin de saison.

Une grave sécheresse sévit depuis au moins deux ans dans le sud de Madagascar⁹¹. De juillet 2020 à juin 2021, les précipitations ont été inférieures de 50 % à la normale sur la région, qui rencontre de ce fait d'importants problèmes en termes de sécurité alimentaire. Selon le Programme alimentaire mondial, 1,14 million de personnes étaient dans une situation nécessitant une aide urgente en août 2021⁹².

CYCLONES TROPICAUX

En 2021, l'activité des cyclones tropicaux dans le monde a été proche de la moyenne (1981–2010). Pour la deuxième année consécutive, l'Atlantique Nord a connu une saison très active, avec 21 tempêtes baptisées, soit bien plus que la moyenne de 14 enregistrée entre 1981 et 2010. L'activité cyclonique a également été intense dans le nord de l'océan Indien, contrairement aux régions est et ouest du Pacifique Nord, où elle est restée proche de la moyenne, voire en dessous. Dans l'hémisphère Sud, la saison 2020/2021 a également été légèrement plus

calme que la moyenne, aussi bien dans l'océan Pacifique que dans l'océan Indien.

Dans l'Atlantique Nord, la saison a été marquée par le passage de l'ouragan *Ida*, qui a touché terre en Louisiane le 29 août sous la forme d'un ouragan de catégorie 4, avec des vents soutenus de 240 km/h sur une minute, ce qui en fait l'un des ouragans les plus puissants jamais enregistrés dans cet État des États-Unis. Cet ouragan a ensuite poursuivi sa trajectoire vers le nord-est du pays, provoquant sur son passage des inondations importantes, notamment dans la région de New York. Déjà inondée au moment du passage de l'ouragan *Henri* deux semaines plus tôt, New York a enregistré des précipitations horaires record de 80 mm, avec un cumul sur 24 heures dépassant 200 mm dans certaines parties de la ville. Avant de se transformer en cyclone tropical, le système précurseur d'*Ida* avait également causé d'importantes inondations au Venezuela. Au total, 72 décès ont été directement attribués à *Ida* et 43 décès lui ont été indirectement attribués au Venezuela et aux États-Unis, où les pertes économiques ont été estimées à 75 milliards de dollars É.-U.⁹³. Autre événement majeur de l'année, l'ouragan de catégorie 3 *Grace* a frappé Veracruz (Mexique) après avoir provoqué d'autres dégâts, notamment des inondations, en Haïti (où il a entravé les travaux de reconstruction faisant suite au tremblement de terre), en République dominicaine, en Jamaïque et à Trinité-et-Tobago.

Dans l'hémisphère Sud, le cyclone le plus important de 2021⁹⁴ a été *Seroja*, survenu en avril. Formé au sud de l'Indonésie, il s'est dirigé vers le sud-est en direction de l'Australie occidentale. Il a touché terre le 11 avril près de Kalbarri sous la forme d'un cyclone de catégorie 3 (selon la classification australienne), ce qui en fait le plus puissant à avoir touché terre aussi loin dans le sud de l'Australie occidentale depuis 1956. Les conséquences les plus graves de *Seroja*, à savoir les inondations et glissements de terrain qui ont touché le Timor-Leste et la région indonésienne de Nusa Tenggara Timur, sont associées à son système précurseur. Des précipitations à hauteur de 700,4 mm se sont abattues sur la ville de Kupang (Timor) du 2 au

⁹¹ <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/cb7310en.pdf>

⁹² <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/WFP%20Madagascar%20Country%20Brief%20-%20August%202021.pdf>

⁹³ <https://www.ncdc.noaa.gov/billions/events/US/2021>

⁹⁴ Le cyclone tropical *Yasa* (décembre 2020) fait normalement partie des statistiques saisonnières 2020/2021, mais a été signalé dans l'*État du climat mondial en 2020*.

5 avril. Au total, 226 décès ont été attribués à *Seroja*, dont 181 en Indonésie, 44 au Timor-Leste et un en Australie⁹⁵. En janvier, le cyclone *Eloise* a participé aux inondations qui ont touché l'Afrique australe, faisant des dégâts et des victimes au Mozambique, en Afrique du Sud, au Zimbabwe, en Eswatini et à Madagascar, tandis que dans le Pacifique Sud, les cyclones *Ana* et *Niran* ont provoqué des inondations et des coupures de courant respectivement aux Fidji et en Nouvelle-Calédonie.

Dans le nord de l'océan Indien, le cyclone le plus violent de la saison a été *Tauktae*, qui s'est dirigé vers le nord au large de la côte ouest de l'Inde avec une vitesse maximale de vent soutenu de 50 à 53 m/s pendant trois minutes⁹⁶, avant de toucher terre le 17 mai au Gujarat avec une force légèrement inférieure, ce qui en fait le cyclone le plus puissant qu'ait connu cet État de l'Inde. L'Inde a signalé au moins 144 décès et le Pakistan 4⁹⁷. Plus tard dans la saison, à la fin du mois de septembre, le cyclone *Gulab* a traversé la côte orientale de l'Inde depuis le golfe du Bengale; le système résiduel a traversé le pays avant d'émerger dans la mer d'Arabie où il a repris de la vigueur et a été rebaptisé *Shaheen*. Il a touché terre le 3 octobre sur la côte nord d'Oman, au nord-ouest de Muscat. Il s'agit du premier cyclone depuis 1890 à toucher terre dans cette zone. La ville de Suwayq a enregistré 294 mm de pluie en 24 heures, soit près de trois fois la moyenne annuelle de la région. Au total, 39 décès ont été signalés en Inde, au Pakistan, à Oman et en République islamique d'Iran, principalement en raison des inondations.

Dans l'ouest du Pacifique Nord, le cyclone tropical le plus marquant de la saison a été le typhon *Rai* (*Odette*), qui a traversé le centre des Philippines le 16 décembre. Après s'être rapidement intensifié, il a touché terre presque au faite de sa puissance avec une pression centrale minimale de 915 hPa. Le 18 décembre, il a ensuite repris de la vigueur dans la mer de Chine méridionale, avant de s'affaiblir et de se dissiper sans revenir sur terre. Il a causé de graves dégâts dans l'ensemble des Philippines,

où au moins 406 décès ont été signalés, ainsi que des inondations au Viet Nam. Plusieurs autres cyclones importants ont touché terre, notamment le typhon *Chanthu* aux îles Batanes (Philippines). Les typhons *Chanthu* et *In-fa*, en juillet, ont tous deux contribué aux inondations et aux perturbations de la navigation autour de Shanghai, tandis que *Dianmu* a contribué aux inondations qui ont frappé la Thaïlande en septembre après avoir touché terre au Viet Nam.

FORTES TEMPÊTES

De nombreux orages violents ont éclaté en Europe occidentale et centrale au cours de la seconde moitié de juin et en juillet. Une tornade de catégorie F4⁹⁸ a frappé plusieurs villages du sud de la Moravie le 24 juin, causant d'importants dégâts et faisant six morts. Il s'agit de la plus puissante tempête jamais enregistrée en République tchèque. Des tornades ont également été signalées au cours du mois en Belgique, en France et en Pologne. De gros grêlons (6 à 8 cm de diamètre) sont tombés dans plusieurs pays, dont la République tchèque, la Slovaquie, la Suisse et l'Allemagne. Rien qu'en République tchèque, les pertes se sont élevées à environ 700 millions de dollars É.-U.

Aux États-Unis, 1 376 tornades ont été provisoirement enregistrées en 2021, ce qui est supérieur à la moyenne de la période 1991–2010. Le 25 mars, une violente tempête a frappé le sud-est du pays, l'Alabama et l'ouest de la Géorgie étant les plus gravement touchés. Au moins 6 décès et 1,8 milliard de dollars É.-U. de pertes économiques ont été signalés. En décembre 2021, 193 rapports de tornade ont été confirmés, soit environ huit fois la moyenne des mois de décembre de la période de référence, qui est de 24, et deux fois plus que le précédent record de 97 établi en 2002. Le 10 décembre, une tempête historique s'est déclarée dans plusieurs États du sud-est et du centre, à cause de laquelle 93 personnes sont décédées et 3,9 milliards de dollars É.-U. de dégâts ont été enregistrés. Il s'agit de la tornade la plus meurtrière qu'ont

⁹⁵ <https://reliefweb.int/disaster/tc-2021-000033-idn>

⁹⁶ https://rsmcnewdelhi.imd.gov.in/uploads/report/26/26_e0cc1a_Preliminary%20Report%20on%20ESCS%20TAUKTAE-19july.pdf

⁹⁷ Données nationales.

⁹⁸ Sur l'échelle de Fujita et l'échelle de Fujita améliorée, une tornade qui provoque des dégâts dévastateurs est classée dans la catégorie 4 (respectivement F4 et EF4). Ces échelles diffèrent dans les vitesses de vent considérées comme associées à des «dégâts dévastateurs», le système amélioré adoptant des vitesses de vent plus faibles pour le même niveau de dégâts.

connue les États-Unis pour un mois de décembre, devant celle de Vicksburg (Mississippi) qui avait fait 38 morts le 5 décembre 1953. Les tempêtes de grêle qui ont frappé le Texas et l'Oklahoma les 27 et 28 avril ont entraîné des pertes à hauteur de 3,3 milliards de dollars É.-U.

ATTRIBUTION

Il n'est pas rare que l'attribution d'un phénomène extrême particulier prenne plusieurs mois en raison de la nécessité de procéder à un examen par les pairs. Toutefois, de plus en plus d'études d'attribution s'appuyant sur des méthodes satisfaisant à cette nécessité peuvent être réalisées en très peu de temps et permettent de tirer des conclusions quelques jours seulement après qu'un record météorologique a été battu. De telles études d'«attribution rapide» ont été menées pour la vague de chaleur qui a touché l'ouest de l'Amérique du Nord en juin et en juillet^{99,100,101}, les inondations de juillet en Europe occidentale¹⁰² et les inondations de novembre en Colombie-Britannique¹⁰³. Selon la première de ces études, la vague de chaleur qu'a connue l'ouest de l'Amérique du Nord reste un phénomène rare dans le climat actuel, qui aurait

toutefois été pratiquement impossible sans le changement climatique.

En ce qui concerne les inondations en Europe occidentale, l'étude d'attribution rapide a mis en lumière la difficulté à déceler des tendances en matière de précipitations extrêmes à l'échelle de l'événement en question, en précisant que les sols saturés et l'hydrologie locale avaient également contribué à sa survenue. En élargissant la zone géographique couverte, l'étude a cependant pu dégager des tendances significatives qui lui ont permis de conclure qu'à cette échelle, le changement climatique d'origine anthropique avait augmenté la probabilité qu'un événement avec des précipitations extrêmes comparables à celles qui ont été observées se produise.

D'un point de vue plus général, l'émergence de ces phénomènes relève d'une évolution plus large. Le GIEC a déterminé¹⁰⁴ que les chaleurs extrêmes sont plus fréquentes dans l'ouest et le nord-ouest de l'Amérique du Nord et qu'il est possible de dire avec une certitude moyenne que cette augmentation est due aux activités humaines. Il en va de même pour les inondations en Europe occidentale et centrale, avec toutefois un indice de confiance actuellement faible.

⁹⁹ <https://www.worldweatherattribution.org/western-north-american-extreme-heat-virtually-impossible-without-human-caused-climate-change/>

¹⁰⁰ Philip, S. Y., Kew, S. F., van Oldenborgh, G. J. *et al.*, 2021: «Rapid Attribution Analysis of the Extraordinary Heatwave on the Pacific Coast of the US and Canada June 2021». *Earth System Dynamics Discussions*, en cours de révision, 1–34. Prépublication: <https://doi.org/10.5194/esd-2021-90>

¹⁰¹ Christidis N., 2021: «Using CMIP6 Multi-model Ensembles for Near Real-time Attribution of Extreme Events». Notes techniques 107 du centre Hadley. Met Office britannique: Exeter. https://digital.nmla.metoffice.gov.uk/10_e2e76d02-d72e-49d6-8419-728fb313d075/; <https://blog.metoffice.gov.uk/2021/06/29/heatwave-record-for-pacific-north-west/>

¹⁰² <https://www.worldweatherattribution.org/heavy-rainfall-which-led-to-severe-flooding-in-western-europe-made-more-likely-by-climate-change/>

¹⁰³ Gillett, N., Cannon, A., Malinina, E. *et al.*, 2022: «Human Influence on the 2021 British Columbia Floods». Publication savante n° 4025205 sur le réseau SSRN (*Social Science Research Network*): Rochester. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4025205>

¹⁰⁴ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2021: Résumé à l'intention des décideurs. Dans *Changements climatiques 2021: Les éléments scientifiques*, contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf

Risques et impacts

Le risque de subir des impacts liés au climat dépend d'interactions complexes entre les aléas climatiques et la vulnérabilité, l'exposition et la capacité d'adaptation des systèmes humains et naturels. Les phénomènes climatiques font peser sur la société des risques humanitaires par leurs conséquences sur la santé, la production alimentaire, l'approvisionnement en eau, la sécurité des personnes et leur mobilité, les moyens de subsistance, l'économie, les infrastructures et la biodiversité. Les phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes influent non seulement sur l'utilisation et la répartition des ressources naturelles entre les régions et au sein des pays, mais ont aussi d'importants effets négatifs sur l'environnement, parmi lesquels les conséquences sur les terres qu'ont les sécheresses, les incendies de forêt et de tourbière, la dégradation des sols, les tempêtes de sable et de poussière, la désertification, les inondations et l'érosion des côtes. Aux niveaux actuels des émissions mondiales de gaz à effet de serre, on se dirige vers un réchauffement planétaire supérieur aux seuils fixés de 1,5 °C ou 2 °C au-dessus des niveaux préindustriels, ce qui accroît le risque que le changement climatique ait de graves répercussions, dépassant celles déjà à l'œuvre.

SÉCURITÉ ALIMENTAIRE

SÉCURITÉ ALIMENTAIRE EN 2021: PERSPECTIVES MONDIALES

Les effets conjugués des conflits, des phénomènes météorologiques extrêmes et des chocs économiques, exacerbés par la pandémie de COVID-19, ont entraîné une recrudescence de la famine, sapant des décennies de progrès vers l'amélioration de la sécurité alimentaire (figure 22). L'aggravation des crises humanitaires en 2021 a également entraîné l'augmentation du nombre de pays menacés par la famine. En 2020, plus de la moitié des personnes sous-alimentées vivait en Asie (418 millions) et un tiers en Afrique (282 millions). Après le pic atteint en 2020 (768 millions de personnes sous-alimentées), les projections prévoyaient un recul du nombre de victimes de la faim dans le monde, censé se ramener à environ 710 millions en 2021 (soit 9 % de la population mondiale)¹⁰⁵. En octobre 2021 toutefois, les chiffres avaient déjà dépassé ceux de 2020 dans de nombreux pays. Cette augmentation frappante s'est surtout fait sentir dans les groupes souffrant déjà de crises alimentaires ou pire (phase 3 ou plus de

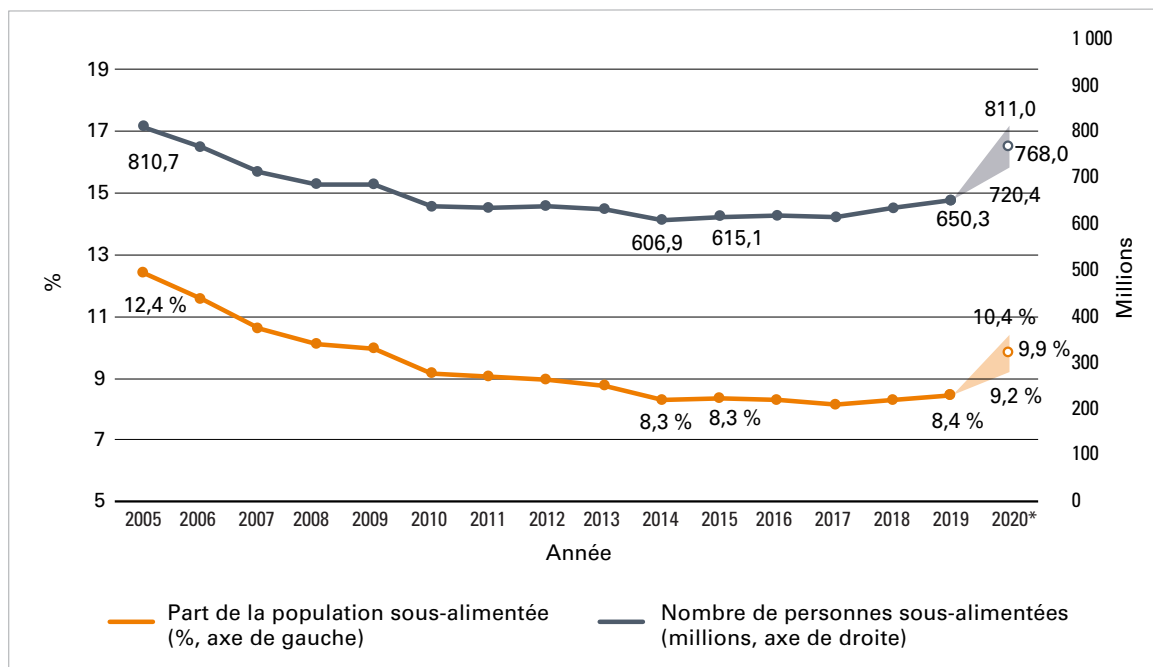


Figure 22. Le nombre de personnes sous-alimentées dans le monde a considérablement augmenté pendant la pandémie de COVID-19, passant de 650 millions en 2019 à 768 millions en 2020. Les zones ombrées et les cercles vides illustrent les projections. Source: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

¹⁰⁵ Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), 2021: «The State of Food Security and Nutrition in the World 2021: Transforming Food Systems for Food Security, Improved Nutrition and Affordable Healthy Diets for All», https://docs.wfp.org/api/documents/WFP-0000130141/download/?_ga=2.47516911.931354890.1634299853-763856357.1633873374

l'IPC/CH¹⁰⁶); le nombre de personnes appartenant à ces groupes est passé de 135 millions en 2020 à 161 millions en septembre 2021, soit une hausse de 19 %¹⁰⁷. Ces chocs ont également eu pour conséquence une augmentation du nombre de personnes confrontées à la famine et à l'effondrement total des moyens d'existence (phase 5 de l'IPC/CH), dont le nombre total est passé à 584 000 personnes, principalement situées en Éthiopie, au Soudan du Sud, au Yémen et à Madagascar. Au premier trimestre de 2021, les prix à la consommation des denrées alimentaires ont été les plus élevés de ces six dernières années dans le monde entier, et plus particulièrement en Amérique latine et dans les Caraïbes¹⁰⁸. En Afrique de l'Ouest, avec la hausse des prix des céréales secondaires, les prix des denrées alimentaires ont atteint des niveaux records ou quasi records dans plusieurs pays. Ces hausses ont été exacerbées par l'insécurité civile et les pluies torrentielles. En Afrique du Nord, l'inflation des produits alimentaires est restée modérée en 2021 grâce aux subventions mises en place sur de nombreux produits de base.

IMPACTS DES RISQUES HYDROMÉTÉOROLOGIQUES SUR LA PRODUCTION ALIMENTAIRE

L'épisode La Niña de 2020/2021 a perturbé les saisons des pluies, compromettant les moyens de subsistance et les campagnes agricoles dans le monde entier. Les événements météorologiques, hydrologiques et climatiques extrêmes associés qui se sont succédé au cours de la saison des pluies 2021 ont aggravé les chocs de l'année ou des années précédentes, ce qui rend de plus en plus difficile la quantification des impacts résultant d'un seul événement. Les sécheresses consécutives qui ont frappé une grande partie de l'Afrique, de l'Asie et de l'Amérique latine, associées par endroits aux

effets de l'épisode La Niña de «double creux», ainsi que des phénomènes régionaux comme des tempêtes, des cyclones et des ouragans violents, ont profondément affecté les moyens de subsistance et la capacité à se remettre des catastrophes météorologiques récurrentes.

Les conditions de sécheresse qui ont sévi dans de vastes zones de l'Amérique du Sud pourraient menacer davantage les rendements des cultures dans cette région. Les plantations en plus grand nombre ont cependant largement compensé les pertes de productivité des cultures sur l'ensemble du continent (–3,6 % en 2021 par rapport à 2020¹⁰⁹). Dans les Caraïbes, Haïti a été triplement touché, par des tremblements de terre, des pluies irrégulières et une instabilité politique, ce qui a contribué aux dégâts agricoles et plongé toujours plus le pays dans l'insécurité alimentaire.

En Afrique de l'Ouest, les inondations et les périodes de sécheresse ont entraîné des dégâts dans les cultures et des pertes de récolte dans des zones localisées, d'où un léger ralentissement de la production en 2021, mais les prévisions de la production cumulée pour l'ensemble du continent africain sont restées supérieures à la moyenne (+2,9 % en 2021 par rapport à 2020¹¹⁰). Dans les régions centrales et méridionales d'Afrique de l'Est, la première récolte saisonnière de 2021 a pâti de sécheresses prolongées, principalement au Kenya, où les estimations officielles font état d'une production de maïs inférieure de 42 % à 70 % à la moyenne¹¹¹. Dans les régions septentrionales d'Afrique de l'Est, l'ampleur des inondations saisonnières et leur impact sur les cultures ont été moins importants qu'en 2020. En Afrique australe, Madagascar a connu pour la deuxième année consécutive une saison des pluies inférieure à la moyenne, ce qui a considérablement réduit la production d'aliments de base ainsi que la taille du cheptel. En outre, les aléas climatiques, les ravageurs et

¹⁰⁶ Le Cadre intégré de la classification de la sécurité alimentaire (IPC) est une échelle mondiale commune permettant de classer la gravité et l'ampleur de l'insécurité alimentaire et de la malnutrition. <https://www.ipcinfo.org/ipcinfo-website/resources/ipc-manual/fr>. Le Cadre Harmonisé (CH) est un outil unifié permettant de classer la nature et la gravité de l'insécurité alimentaire et nutritionnelle aiguë actuelle et projetée.

¹⁰⁷ Réseau mondial contre les crises alimentaires, 2021: «Global Report on Food Crises: Joint Analysis for Better Decisions.» Mise à jour de septembre 2021. http://www.fightfoodcrises.net/fileadmin/user_upload/fightfoodcrises/doc/resources/FINAL_GRFC2021_Sept_Update.pdf

¹⁰⁸ Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), 2021: «The State of Food Security and Nutrition in the World 2021: Transforming Food Systems for Food Security, Improved Nutrition and Affordable Healthy Diets for All». https://docs.wfp.org/api/documents/WFP-0000130141/download/?_ga=2.47516911.931354890.1634299853-763856357.1633873374

¹⁰⁹ Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), 2021: Perspectives de récolte et situation alimentaire – Rapport mondial trimestriel, <https://www.fao.org/3/cb1101fr/cb1101fr.pdf>.

¹¹⁰ Ibid.

¹¹¹ Ibid.

les maladies devraient entraîner une forte baisse des récoltes, avec des estimations de rendement inférieures de 50 à 70 % à la moyenne quinquennale¹¹². Au Mozambique, le cyclone *Eloise* a touché terre à la fin du mois de janvier, pendant la période de soudure de la région, lorsque les populations sont particulièrement vulnérables, touchant des communautés qui ne s'étaient pas encore remises du cyclone *Idai*, survenu à peine deux ans plus tôt. Selon le gouvernement du Mozambique, plus de 441 000 personnes ont été touchées par le cyclone, qui a déplacé près de 44 000 personnes et détruit plus de 45 000 hectares de terres cultivées¹¹³.

Les conditions de sécheresse qui se sont installées en Asie du Sud-Ouest et au Moyen-Orient ont réduit la production céréalière à des niveaux inférieurs à la moyenne, exacerbant les impacts sur l'agriculture et la sécurité alimentaire dans des contextes fragiles, principalement en Afghanistan et en République arabe syrienne. Alors que la production céréalière a diminué au Moyen-Orient, la production de blé en Asie de l'Est a atteint un niveau record en 2021, tandis que la production de riz non décortiqué s'est maintenue à un niveau élevé grâce à des conditions météorologiques favorables. En revanche, le centre de la Chine a été frappé par des pluies torrentielles à la mi-juillet 2021, causant de nombreux décès et des dommages matériels. Cette situation a suscité des inquiétudes quant à l'approvisionnement alimentaire du pays, car un million d'hectares de terres cultivées – principalement du maïs, du soja et des arachides – ont été touchés, dont un tiers a été anéanti par les fortes pluies.

IMPACTS HUMANITAIRES ET DÉPLACEMENTS DE POPULATION

Les réfugiés, les personnes déplacées à l'intérieur d'un pays et les apatrides font souvent partie des personnes les plus vulnérables aux aléas climatiques et météorologiques. De nombreuses personnes vulnérables qui sont déplacées finissent par s'installer dans des zones à haut risque, où elles sont exposées à des risques climatiques et météorologiques à différentes

échelles. Aux aléas hydrométéorologiques et aux problématiques de mobilité humaine peuvent également s'ajouter des tensions et des conflits sociaux et politiques dans des contextes complexes, d'où la nécessité de réfléchir à des mesures globales de réduction des risques de catastrophe multidangers, comme des systèmes d'alerte précoce et des actions de préparation, et à des enjeux de développement durable à plus long terme, tels que l'utilisation des sols et la planification urbaine.

DES ALÉAS CLIMATIQUES À L'ORIGINE DE NOUVEAUX DÉPLACEMENTS

Tout au long de l'année, les phénomènes et conditions météorologiques, hydrologiques et climatiques extrêmes ont eu de lourdes conséquences, de nature diverse, sur le déplacement des populations et sur la vulnérabilité des personnes déjà déplacées. De l'Afghanistan à l'Amérique centrale, des sécheresses, des inondations et d'autres phénomènes extrêmes ont frappé les personnes les moins à même de se rétablir et de s'adapter¹¹⁴. Comme les années précédentes, la plupart des déplacements à grande échelle survenus en 2021 ont eu lieu dans des pays asiatiques très peuplés. La majeure partie des déplacements dus aux catastrophes en 2021 ont été provoqués par des tempêtes tropicales et des inondations en Asie de l'Est, dans le Pacifique, en Asie du Sud, en Amérique et en Afrique subsaharienne.

Au cours de l'année 2021, des millions de personnes supplémentaires en situation de vulnérabilité ont été contraintes de se déplacer à cause de la dégradation de l'environnement et de phénomènes hydrométéorologiques dangereux, qu'il s'agisse d'événements à déclenchement rapide, comme les inondations, les tempêtes et les incendies de forêt, ou de processus à déclenchement lent, comme la sécheresse et la désertification. Ces phénomènes compromettent la sécurité des personnes et leur capacité à répondre à leurs besoins fondamentaux, tels que la nourriture, l'eau, un logement résilient et des terres productives. En Afghanistan par exemple, les catastrophes ont entraîné au premier semestre de l'année quelque 22 500 nouveaux

¹¹² Système d'alerte précoce contre la famine (FEWS NET), 2021: «Madagascar Food Security Alert», <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Madagascar%20Food%20Security%20Alert%20-%20June%2010%2C%202021.pdf>

¹¹³ <https://www.fao.org/mozambique/news/detail-events/en/c/1393190/>

¹¹⁴ <https://www.unhcr.org/fr/news/stories/2021/4/60812882a/statistiques-mettent-evidence-limpact-lurgence-climatique-deplacements.html>

déplacements, principalement pour cause d'inondation¹¹⁵. En juin, le gouvernement a déclaré l'état de sécheresse nationale, 80 % du pays souffrant d'une sécheresse qualifiée de sévère ou grave. À cela s'ajoutent une escalade du conflit, l'insécurité alimentaire et les impacts sanitaires et socio-économiques du COVID-19, c'est pourquoi les acteurs du domaine humanitaire, du développement et du gouvernement prévoyaient le déplacement très probable de familles d'agriculteurs¹¹⁶. Les personnes contraintes de quitter leur foyer ont dû vendre leurs biens et se livrer à des travaux dangereux pour survivre, tandis que des enfants ont été envoyés travailler dans d'autres régions ou dans les pays voisins, ou ont été mariés pour réduire la charge financière¹¹⁷. En République arabe syrienne, un pays décimé par plus d'une décennie de conflit, les inondations dues à de fortes pluies ont également causé des déplacements de population à l'intérieur du pays, celles de la mi-janvier ayant touché près de 142 000 personnes¹¹⁸. En Inde, plus de 100 000 personnes ont été déplacées entre novembre et décembre 2021¹¹⁹.

Conformément aux tendances établies, l'écrasante majorité des nouveaux déplacements survenus en 2021 à la suite de phénomènes météorologiques dangereux ont eu lieu à l'intérieur des frontières nationales. La plupart de ces déplacements internes ont été déclenchés par des cyclones tropicaux, des inondations, des tremblements de terre et des éruptions volcaniques, notamment en Asie de l'Est et dans le Pacifique. Les pays ayant enregistré le plus de déplacements en octobre 2021 sont la Chine (plus de 1,4 million en juillet), le Viet Nam (plus de 664 000 en septembre) et les Philippines (plus de 214 000 en juillet et plus de 386 000 en octobre)¹²⁰.

En Afrique de l'Est, les inondations et les sécheresses ont entraîné des déplacements à grande échelle, notamment en Somalie et en Éthiopie.

Une grande partie des personnes touchées vivaient déjà dans des camps surpeuplés et peu sûrs de réfugiés nationaux, rejoints par de nombreuses personnes contraintes à leur tour de quitter leur foyer suite aux inondations. Les agriculteurs dont les cultures ont été dévastées par les criquets pèlerins ont également dû quitter leurs terres pour trouver de quoi survivre¹²¹. Au Soudan, le camp de réfugiés d'Alganaa a été envahi par les flots en novembre 2021, laissant 35 000 réfugiés sud-soudanais dans une situation nécessitant une assistance d'urgence¹²².

Les pays à haut revenu n'ont pas été épargnés. Dans les régions occidentales des États-Unis et du Canada, les vagues de chaleur exceptionnelles, la sécheresse et les incendies de forêt ont chassé des milliers de personnes de leur foyer. Les incendies ont également aggravé les risques liés à d'autres aléas, augmentant encore le risque de déplacement. En janvier 2021 par exemple, 15 000 personnes ont été préventivement déplacées en Californie après avoir reçu l'ordre d'évacuer à la suite de fortes pluies¹²³.

DÉPLACEMENTS PROLONGÉS ET RÉPÉTÉS ALIMENTÉS PAR DES RISQUES HYDROMÉTÉOROLOGIQUES

Privées de la possibilité de retourner chez elles ou de solutions pour s'intégrer sur place ou s'installer ailleurs, de nombreuses personnes déplacées mettent du temps à sortir de cette situation. Au début de l'année 2021, au moins 7 millions de personnes vivaient en situation de déplacement à l'intérieur de leur pays à la suite de catastrophes naturelles¹²⁴ survenues les années précédentes, selon l'Observatoire des situations de déplacement interne (IDMC). Ces personnes se trouvaient en grande majorité en Afghanistan, en Inde et au Pakistan, devant

¹¹⁵ <https://story.internal-displacement.org/2021-midyear-review/index.html>

¹¹⁶ <https://prod.drc.ngo/about-us/for-the-media/press-releases/2021/7/drought-crisis-in-afghanistan-intensifies-risk-of-displacement>

¹¹⁷ Ibid.

¹¹⁸ <https://reliefweb.int/disaster/fl-2021-000007-syr>

¹¹⁹ <https://www.internal-displacement.org/global-displacement-map>

¹²⁰ Ibid.

¹²¹ <https://www.unhcr.org/fr/news/stories/2021/8/611cc7aea/deplaces-refugies-somaliens-peinent-reprendre-cours-vie-face-frequentes.html>

¹²² <https://www.unhcr.org/fr/news/stories/2021/11/619cd865a/refugies-dressent-bilan-degats-suite-destruction-dun-camp-inondations-soudan.html>

¹²³ <https://story.internal-displacement.org/2021-midyear-review/index.html>

¹²⁴ https://www.internal-displacement.org/sites/default/files/publications/documents/grid2021_idmc.pdf

l'Éthiopie, le Soudan, le Bangladesh, le Niger et le Yémen¹²⁵.

En raison de la persistance ou de l'augmentation des risques dans leur région d'origine (et de retour) ou sur leur lieu d'installation, il arrive que les personnes déplacées à la suite d'événements hydrométéorologiques soient obligées de reprendre la route plus ou moins fréquemment, ce qui ne leur laisse que peu de temps pour se remettre de chaque choc. En Indonésie, par exemple, les catastrophes survenues au premier semestre de l'année, à commencer par les grandes inondations de la saison des pluies, ont forcé 557 000 personnes supplémentaires à fuir. Les activités humaines, comme la déforestation, l'urbanisation et la dégradation des sols, ont réduit la capacité de certaines régions d'Indonésie à absorber les pluies torrentielles. Entre octobre et novembre 2021, bien avant le pic de la saison des pluies, de fortes précipitations et des inondations ont encore déplacé plus de 50 000 personnes, deux fois plus qu'en 2020¹²⁶. De telles situations soulignent l'intérêt de la préparation aux catastrophes et de la gestion des risques, mais aussi l'importance de promouvoir des solutions durables aux déplacements et de renforcer la résilience des personnes qui sans cela pourraient voir leurs conditions de vie s'éroder progressivement sous l'effet de catastrophes et de déplacements répétés.

PHÉNOMÈNES DANGEREUX ET CHANGEMENT CLIMATIQUE VIENNENT S'AJOUTER AUX MULTIPLES RISQUES AUXQUELS SONT CONFRONTÉS LES PERSONNES DÉPLACÉES ET LES RÉFUGIÉS DANS LES PAYS EN GUERRE

Au Yémen, la population déjà vulnérable a été frappée par des phénomènes dangereux, comme les inondations et les sécheresses, qui ont entraîné la destruction d'abris et d'infrastructures, restreint l'accès aux marchés et

aux services de base, détruit des moyens de subsistance, facilité la propagation de maladies mortelles et contribué à la mortalité. À la mi-avril, de fortes pluies et des inondations se sont abattues sur plusieurs régions du pays, touchant 7 000 personnes, dont 75 % de personnes déplacées vivant dans des conditions précaires¹²⁷. Ces événements ont contribué à un déplacement interne de population déjà considéré comme l'une des quatre plus grandes crises au monde, avec plus de 4 millions de personnes déplacées à l'intérieur du pays. La saison des pluies annuelle est synonyme de fortes précipitations, de vents violents et d'inondations, en particulier dans les zones côtières. En 2021, des milliers de familles ont été victimes de crues soudaines. Les inondations bloquent également les routes, empêchant l'acheminement de l'aide vitale¹²⁸.

Au Mozambique, les multiples tempêtes tropicales et inondations, qui viennent s'ajouter aux épidémies récurrentes et aux conflits, ont considérablement augmenté la vulnérabilité des personnes touchées¹²⁹, notamment des milliers de familles qui n'avaient pas encore pu rentrer chez elles depuis les cyclones *Idai* et *Kenneth* survenus en 2019. En janvier, la tempête tropicale *Chalane* et le cyclone *Eloise* se sont accompagnés de vents violents et d'inondations, qui ont endommagé ou détruit les abris de plus de 8 700 de ces familles déplacées, ainsi que des écoles et des hôpitaux¹³⁰. Ces événements ont également entraîné de nouveaux déplacements, à savoir plus de 43 300 pour le cyclone *Eloise*¹³¹. Des dizaines de milliers de personnes sont toujours déplacées et ne peuvent reprendre le cours de leur vie¹³². Les effets conjugués des catastrophes, des épidémies récurrentes et des conflits ont considérablement accru la vulnérabilité des populations de la région. Il serait possible d'améliorer cette situation, que connaissent aussi d'autres régions, en intensifiant les efforts visant à réduire la vulnérabilité au climat et les risques associés des communautés

¹²⁵ <https://www.internal-displacement.org/global-displacement-map>

¹²⁶ <https://story.internal-displacement.org/10-internal-displacement-situations-to-watch-in-2022/index.html>

¹²⁷ https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Humanitarian%20Update_May%202021%20v4.pdf

¹²⁸ <https://reliefweb.int/report/yemen/climate-crisis-exacerbates-humanitarian-situation-yemen-enar>

¹²⁹ <https://www.unhcr.org/fr/news/briefing/2021/4/606c4f14a/hcr-intensifie-aide-milliers-personnes-fuient-attaques-nord-mozambique.html>

¹³⁰ <https://displacement.iom.int/reports/mozambique-%E2%80%93-flash-report-16-tropical-cyclone-elouise-january-2021?close=true>

¹³¹ <https://reliefweb.int/report/afghanistan/internal-displacement-mid-year-10-situations-review>

¹³² <https://www.unhcr.org/fr/news/stories/2020/3/5e70dc4ea/an-apres-personnes-deplacees-cyclone-idai-tentent-reconstruire-vie.html>

fragiles touchées par des conflits et à renforcer la préparation de ces dernières¹³³.

Au Nigeria, des sécheresses et des inondations ont affecté les activités agricoles, entraînant la perte d'abris et renforçant la vulnérabilité des personnes déjà déplacées par le conflit dans le nord-est du pays. La situation s'est encore détériorée au cours du premier semestre 2021, pendant lequel près de 294 000 nouveaux déplacements ont été signalés¹³⁴.

Au Bangladesh, les pluies de mousson ont entraîné des inondations massives et le déplacement de millions de personnes dans le sillage du cyclone *Yaas* en mai et juin 2021. Les inondations qui ont submergé en juillet 2021 les sites de réfugiés rohingyas dans la ville de Cox's Bazar ont endommagé plus de 6 000 abris et plus de 25 000 réfugiés ont été contraints de se mettre à l'abri dans des installations collectives ou auprès d'autres familles¹³⁵. Des inondations ont également fortement touché la Chine, le Népal et les Philippines, où des milliers de personnes ont été déplacées par le typhon *In-fa* en juillet 2021. Sans les mesures de préparation prises dans les camps, notamment le renforcement des abris, la construction de structures de retenue sur les flancs des collines et l'amélioration du drainage, des routes et des ponts, les conséquences auraient été bien plus graves.

IMPACTS SUR LES ÉCOSYSTÈMES

Le changement climatique exerce une influence sur les écosystèmes, notamment les

écosystèmes terrestres, aquatiques, côtiers et marins, et les services qu'ils fournissent, certains étant plus vulnérables que d'autres¹³⁶. Par ailleurs, certains écosystèmes se dégradent à un rythme sans précédent, ce qui limite leur capacité à assurer le bien-être des êtres humains et nuit à l'aptitude de ses derniers à s'adapter pour devenir plus résilients¹³⁷.

Par exemple, les écosystèmes des montagnes, véritables châteaux d'eau du monde, sont vulnérables et peuvent être profondément affectés par le changement climatique en raison de leur faible capacité d'adaptation, ce qui pourrait se répercuter sur les 1,9 milliard de personnes qui vivent dans les régions montagneuses ou directement en aval de celles-ci¹³⁸. Le changement climatique risque d'exacerber le stress hydrique, en particulier dans les régions où les précipitations diminuent et où les nappes phréatiques sont déjà épuisées, ce qui se répercuterait sur la production agricole, les terres arables et les plus de deux milliards de personnes qui souffrent déjà d'un stress hydrique¹³⁹.

Le changement climatique affecte également les espèces sensibles au climat. Il semble que les plantes sensibles à la température fleurissent et commencent à produire des feuilles plus tôt au printemps et qu'elles perdent leurs feuilles plus tard en automne¹⁴⁰. De même, on observe un changement manifeste dans le calendrier des fraies de poissons marins et d'eau douce et des migrations animales dans le monde entier. Des changements substantiels dans le nombre d'individus et la répartition des espèces peuvent à leur tour modifier les interactions

¹³³ <https://www.unhcr.org/fr/news/stories/2020/3/5e70dc4ea/an-apres-personnes-deplacees-cyclone-idai-tendent-reconstruire-vie.html>

¹³⁴ Ibid.

¹³⁵ <https://www.unhcr.org/fr/news/stories/2021/7/6103fce7a/inondations-exacerbent-souffrances-refugies-rohingyas-camps-bangladesh.html>

¹³⁶ Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), 2021: «Rapport 2020 sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière d'adaptation», <https://www.unep.org/fr/resources/rapport-2020-sur-lecart-entre-les-besoins-et-les-perspectives-en-matiere-dadaptation>.

¹³⁷ Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), 2021: «Faire la paix avec la nature: un plan scientifique pour faire face aux urgences en matière de climat, de biodiversité et de pollution», <https://www.unep.org/fr/resources/making-peace-nature>.

¹³⁸ Immerzeel, W. W., Lutz, A. F., Andrade, M. *et al.*, 2020: «Importance and Vulnerability of the World's Water Towers». *Nature*, 577 (7790), 364–369. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1822-y>.

¹³⁹ Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), 2021: «Faire la paix avec la nature: un plan scientifique pour faire face aux urgences en matière de climat, de biodiversité et de pollution», <https://www.unep.org/fr/resources/making-peace-nature>.

¹⁴⁰ Hemming, D. L., Garforth, J., Park, T. *et al.*, 2021: «Phenology of Primary Producers». Dans *State of the Climate in 2020*, supplément. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 102 (8), S57–S60. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0098.1>.

entre ces dernières¹⁴¹. En outre, les risques que représentent les parasites, les agents pathogènes et les maladies pour les écosystèmes et chaque espèce évoluent¹⁴². Le changement climatique renforce également d'autres menaces qui pèsent sur la biodiversité. Le nombre d'espèces dont on prévoit l'extinction augmente considérablement à mesure que la température mondiale s'élève: il est de 30 % plus élevé si le réchauffement atteint 2 °C au lieu de 1,5 °C¹⁴³.

Dans le même temps, des changements à grande échelle ont été observés au niveau des écosystèmes marins; il s'agit notamment de la baisse de la productivité des océans, de la migration d'espèces vers des latitudes et des altitudes plus élevées et de la détérioration des récifs coralliens et des mangroves. Un réchauffement de 1,5 °C entraînera une hausse de la température de l'eau et modifiera la chimie de l'océan (acidification, par exemple), ce qui entraînera l'apparition de nouveaux écosystèmes. Les espèces les moins à même de se déplacer devraient connaître

des taux élevés de mortalité et de déclin¹⁴⁴. Le changement climatique a également des conséquences sur les inlandsis du Groenland et de l'Antarctique, et augmente les chances que l'océan Arctique soit libre de glace en été, ce qui perturbe davantage la circulation océanique et les écosystèmes de la région¹⁴⁵.

La hausse des températures accroît le risque de perte irréversible des écosystèmes marins et côtiers, comme les prairies sous-marines et les forêts de laminaires. Les récifs coralliens sont particulièrement vulnérables au changement climatique. Selon les prévisions, ils perdront entre 70 et 90 % de leur ancienne superficie si le réchauffement atteint 1,5 °C, et plus de 99 % s'il atteint 2 °C. Entre 20 % et 90 % des zones humides côtières actuelles risquent de disparaître d'ici la fin du siècle, en fonction de la vitesse à laquelle le niveau des mers augmente. Cela compromettra davantage l'approvisionnement en nourriture, le tourisme et la protection des côtes, entre autres services écosystémiques¹⁴⁶.

¹⁴¹ Scheffers, B. R., De Meester, L., Bridge, T. C. *et al.*, 2016: «The Broad Footprint of Climate Change from Genes to Biomes to People». *Science*, 354 (6313), aaf7671. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7671>.

¹⁴² Thackeray, S. J., Henrys, P. A., Hemming, D. *et al.*, 2016: «Phenological Sensitivity to Climate across Taxa and Trophic Levels». *Nature*, 535 (7611), 241–245. <https://doi.org/10.1038/nature18608>.

¹⁴³ Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), 2021: «Faire la paix avec la nature: un plan scientifique pour faire face aux urgences en matière de climat, de biodiversité et de pollution», <https://www.unep.org/fr/resources/making-peace-nature>.

¹⁴⁴ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2019: Résumé à l'intention des décideurs. Dans *Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté*, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_fr.pdf

¹⁴⁵ Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), 2021: «Faire la paix avec la nature: un plan scientifique pour faire face aux urgences en matière de climat, de biodiversité et de pollution», <https://www.unep.org/fr/resources/making-peace-nature>.

¹⁴⁶ *Ibid.*

Extrêmes estivaux dans l'hémisphère Nord: le rôle des ondes planétaires quasi stationnaires et de l'amplification du réchauffement de l'Arctique

José Álvaro Silva (OMM)

TEMPÉRATURES EXTRÊMES DANS L'HÉMISSPHERE NORD EN 2021: BRÈVE DESCRIPTION

En 2021, au cours de l'été boréal, plusieurs phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes se sont produits dans les régions de latitude moyenne de l'hémisphère Nord. Des records de température journalière, des vagues de chaleur, de graves sécheresses, de violents incendies de forêt destructeurs et des pluies diluviennes ont provoqué des dégâts considérables et fait de nombreux morts, comme le décrit en détail la section consacrée aux [phénomènes à fort impact en 2021](#).

La chaleur estivale s'est installée de bonne heure et plusieurs régions de l'hémisphère Nord ont connu une chaleur extrême dès le mois de juin, notamment l'Afrique du Nord, l'Europe de l'Est et le Moyen-Orient. Le nord-ouest des États-Unis et l'ouest du Canada ont enregistré des températures anormalement élevées à la fin du mois de juin (figure 23). À Lytton, en Colombie-Britannique, le thermomètre est ainsi grimpé à 49,6 °C le 29 juin, un nouveau record pour le Canada. Le 9 juillet, lors de l'une des multiples vagues de chaleur qui se sont abattues sur le sud-ouest des États-Unis au cours de l'été, la station météorologique de Furnace Creek

(Vallée de la Mort, Californie) a atteint 54,4 °C pour la deuxième année consécutive (la température la plus élevée enregistrée au monde depuis au moins 90 ans).

Les 14 et 15 juillet, des inondations d'une gravité exceptionnelle se sont produites dans certains pays de l'ouest de l'Europe. Des régions de l'ouest de l'Allemagne et de l'est de la Belgique ont particulièrement souffert des fortes précipitations de longue durée. Quelques jours plus tard, dans la province chinoise du Henan, il est tombé plus de pluie sur Zhengzhou entre le 17 et le 21 juillet qu'il n'en tombe en une année moyenne; en une heure, le 20 juillet, la ville a enregistré un cumul de précipitations de 201,9 mm, un nouveau record pour la Chine.

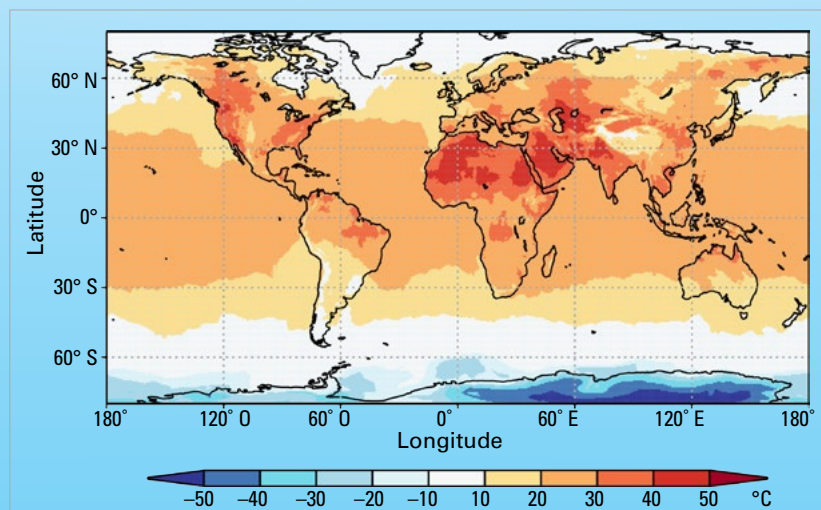
En août, la chaleur extrême a provoqué de violents incendies de forêt qui ont dévasté des régions du pourtour méditerranéen. Le 11 août, une station près de Syracuse, en Sicile (Italie), a connu 48,8 °C, un record européen provisoire.

CAUSES POTENTIELLES ET MÉCANISMES DES EXTRÊMES ESTIVAUX DE L'HÉMISSPHERE NORD

Conformément à la tendance qui s'est dessinée au cours des dernières décennies, de nombreux extrêmes météorologiques et climatiques ont été observés pendant l'été 2021 dans l'hémisphère Nord. Qu'est-ce qui pourrait bien expliquer la multiplication et l'intensification de ces phénomènes extrêmes?

Certains types d'événements météorologiques et climatiques extrêmes deviennent plus fréquents en raison du changement climatique¹, et des études d'attribution ont montré que ce dernier est également à l'origine de l'intensification de nombreux événements récents^{2,3,4,5,6,7,8}. Certaines de ces études suggèrent que des processus atmosphériques très variés sont à l'œuvre dans l'évolution des événements extrêmes, qui se joue en outre à diverses échelles spatio-temporelles, mais leur apparition s'explique généralement par une anomalie dans les configurations à grande échelle de la circulation atmosphérique, d'où le rôle important des régimes quasi résonnants.

Figure 23. Réanalyse ERA5 de la température maximale de l'air (en °C) le 29 juin 2021. *Source:* Service Copernicus concernant le changement climatique et satellite d'exploration du climat du KNMI



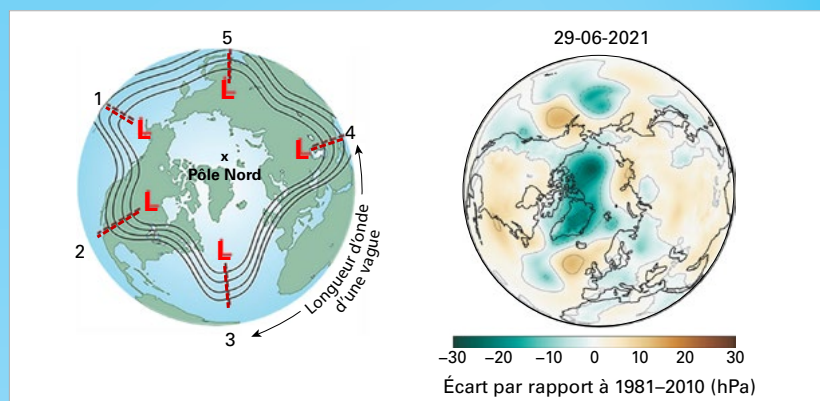
L'AMPLIFICATION QUASI RÉSONNANTE

Il y a de plus en plus de preuves que des mécanismes physiques mettant en jeu la dynamique atmosphérique, et plus particulièrement les ondes planétaires, peuvent expliquer les caractéristiques associées aux perturbations persistantes du courant-jet polaire et aux extrêmes estivaux de l'hémisphère Nord^{9,10,11}. Les ondes de Rossby¹² (figure 24), et notamment l'amplification quasi résonnante¹³ (QRA) de ces ondes de haute amplitude aux latitudes moyennes (nombre d'onde zonal de 6 à 8), est un mécanisme important à l'origine des conditions associées aux extrêmes^{14,15,16}. Le courant-jet joue un rôle majeur dans la formation des régimes météorologiques; lorsqu'il s'affaiblit et devient plus sinueux, en association avec ces ondes lentes, les déplacements d'air d'ouest en est ralentissent, ce qui entraîne des situations de blocage dans lesquelles des systèmes météorologiques restent quasi stationnaires pendant une période prolongée pouvant durer plusieurs semaines^{17,18}.

AMPLIFICATION DU RÉCHAUFFEMENT DE L'ARCTIQUE

Au cours des 50 dernières années, les températures dans l'Arctique ont augmenté deux fois plus vite que la moyenne mondiale¹⁹, une caractéristique importante du changement climatique baptisée «amplification arctique²⁰». Ce phénomène influence la circulation estivale aux latitudes moyennes en affaiblissant les tempêtes, en modifiant la position du courant-jet et en amplifiant les ondes quasi stationnaires. Bien que nous ne sachions pas encore avec certitude comment ces changements dynamiques affectent les conditions météorologiques régionales²¹, il est généralement admis qu'au cours des dernières décennies, l'apparition de conditions favorables à l'amplification quasi résonnante^{22,23} a favorisé la survenue de phénomènes météorologiques extrêmes persistants potentiellement liés à l'amplification du réchauffement de l'Arctique, qui serait donc l'un des vecteurs du changement climatique²⁴. Néanmoins, les observations et les simulations des modèles climatiques ne permettent pas d'établir une relation de cause à effet claire, c'est pourquoi il n'est pas facile d'établir un lien indéniable.

Nous ne connaissons pas encore toutes les causes de l'amplification arctique, mais comme le souligne le Groupe de travail I dans le chapitre 4 de sa contribution au sixième Rapport d'évaluation du GIEC, notre compréhension des mécanismes physiques à l'origine de ce phénomène s'est améliorée au cours de la dernière décennie,



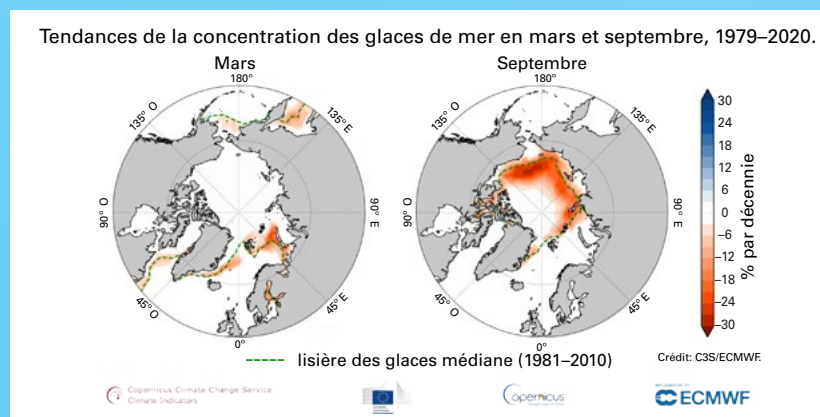
et plusieurs études mentionnées dans le rapport ont mis au jour divers processus et rétroactions positives qui y contribuent²⁵. Le premier de ces facteurs a rapport au recul de la glace de mer (figure 25), qui entraîne un changement de l'albédo de la surface (la glace réfléchissante est remplacée par l'océan plus sombre), d'où une plus grande absorption de la chaleur du rayonnement solaire. C'est ce que l'on appelle la rétroaction glace-albédo. La rétroaction des nuages et de la vapeur d'eau, ainsi que la température (aussi bien celle de Planck que le gradient thermique vertical) constituent d'autres processus atmosphériques importants à l'origine de l'amplification arctique²⁶, de même que les augmentations du transport atmosphérique et océanique de chaleur et d'humidité de l'équateur aux pôles.

En résumé, les recherches axées sur la circulation estivale et le changement climatique doivent être approfondies pour apporter les connaissances importantes qu'il nous manque encore, mais nous disposons déjà de preuves pour étayer l'hypothèse que les variations de la circulation estivale aux latitudes moyennes (ondes planétaires amplifiées et plus stationnaires, courant-jet plus faible et plus sinueux) associées au réchauffement de l'Arctique pourraient multiplier les situations de blocage et favoriser ainsi l'apparition de phénomènes extrêmes dans l'hémisphère Nord.

Figure 24. À gauche: exemple schématique d'un modèle à cinq ondes planétaires. Source: NOAA/NWS.

À droite: anomalie de la pression au niveau de la mer pour le 29 juin 2021 (différence par rapport à la période 1981–2010), associée à un courant-jet lent et sinueux. Les données proviennent du produit de réanalyse ERA5. Source: Service Copernicus concernant le changement climatique.

Figure 25. Tendances de la concentration des glaces de mer en mars et septembre, 1979–2020. Source: C3S, <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/sea-ice>.



REFERENCES

1. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2021: *Changements climatiques 2021: Les éléments scientifiques*, contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation (en anglais), <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
2. Philip, S. Y., Kew, S. F., van Oldenborgh, G. J. *et al.*, 2021: «Rapid Attribution Analysis of the Extraordinary Heatwave on the Pacific Coast of the US and Canada June 2021». *Earth System Dynamics Discussions*, En cours de révision, 1–34. Prépublication: <https://doi.org/10.5194/esd-2021-90>.
3. Kreienkamp, F., Philip, S. Y., Tradowsky, J. S. *et al.*, 2021: «Rapid Attribution of Heavy Rainfall Events Leading to the Severe Flooding in Western Europe During July 2021». *World Weather Attribution*. <https://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/Scientific-report-Western-Europe-floods-2021-attribution.pdf>.
4. van Oldenborgh, G. J., van der Wiel, K., Kew, S. *et al.*, 2021: «Pathways and Pitfalls in Extreme Event Attribution». *Climatic Change*, 166 (1), 13. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03071-7>.
5. Herring, S. C., Christidis, N., Hoell, A. *et al.*, 2019: «Explaining Extreme Events of 2017 from a Climate Perspective». *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100 (1), S1–S117. <https://doi.org/10.1175/BAMS-ExplainingExtremeEvents2017.1>.
6. Lu, C., Lott, F., Sun Y. *et al.*, 2020: «Detectable Anthropogenic Influence on Changes in Summer Precipitation in China». *Journal of Climate*, 33 (13), 5357–5369. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0285.1>.
7. Kahraman, A., Kendon, E. J., Chan, S. C. *et al.*, 2021: «Quasi-stationary Intense Rainstorms Spread across Europe under Climate Change». *Geophysical Research Letters*, 48 (13), e2020GL092361. <https://doi.org/10.1029/2020GL092361>.
8. Sun, Y., Dong, S., Zhang X. *et al.*, 2019: «Anthropogenic Influence on the Heaviest June Precipitation in Southeastern China since 1961». Dans *Explaining Extreme Events of 2017 from a Climate Perspective*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100 (1), S 79–S 84. <https://doi.org/10.1175/BAMS-ExplainingExtremeEvents2017.1>.
9. Mann, M. E., Rahmstorf, S., Kornhuber, K. *et al.*, 2018: «Projected Changes in Persistent Extreme Summer Weather Events: The Role of Quasi-resonant Amplification». *Science Advances*, 4 (10), eaat3272. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat3272>.
10. Coumou, D., Petoukhov, V., Rahmstorf, S. *et al.*, 2014: «Quasi-resonant Circulation Regimes and Hemispheric Synchronization of Extreme Weather in Boreal Summer». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111 (34), 12331–12336. <https://doi.org/10.1073/pnas.1412797111>.
11. Petoukhov, V., Petri, S., Rahmstorf, S. *et al.*, 2016: «Role of Quasiresonant Planetary Wave Dynamics in Recent Boreal Spring-to-autumn Extreme Events». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113 (25), 6862–6867. <https://doi.org/10.1073/pnas.1606300113>.
12. Une onde de Rossby est une grande ondulation atmosphérique horizontale associée au courant-jet polaire, qui sépare l'air polaire froid de l'air tropical chaud. Ces ondes planétaires jouent un rôle important dans les transports d'énergie et d'humidité vers le pôle.
13. Associées à un courant-jet sinueux, les ondes de Rossby amplifiées ralentissent et provoquent un phénomène de résonance des ondes appelé amplification quasi résonnante (QRA).
14. Petoukhov, V., Rahmstorf, S., Petri, S. *et al.*, 2013: «Quasiresonant Amplification of Planetary Waves and Recent Northern Hemisphere Weather Extremes». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110 (14), 5336–5341. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222000110>.
15. Kornhuber, K., Petoukhov, V., Petri, S. *et al.*, 2016: «Evidence for Wave Resonance as a Key Mechanism for Generating High-amplitude Quasi-stationary Waves in Boreal Summer». *Climate Dynamics*, 49 (5), 1961–1979. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3399-6>.
16. Kornhuber, K., Coumou, D., Vogel, E. *et al.*, 2020: «Amplified Rossby Waves Enhance Risk of Concurrent Heatwaves in Major Breadbasket Regions». *Nature Climate Change*, 10 (1), 48–53. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0637-z>.

17. Teng, H., Branstator, G., Wang, H. *et al.*, 2013: «Probability of US Heat Waves Affected by a Subseasonal Planetary Wave Pattern». *Nature Geoscience*, 6 (12), 1056–1061. <https://doi.org/10.1038/ngeo1988>.
18. Grams, C. M., Binder, H., Pfahl, S. *et al.*, 2014: «Atmospheric Processes Triggering the Central European Floods in June 2013». *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14 (7), 1691–1702. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1691-2014>.
19. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2021: *Changements climatiques 2021: Les éléments scientifiques*, contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation (en anglais), <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
20. Francis, J. A., Vavrus, S. J., 2012: «Evidence Linking Arctic Amplification to Extreme Weather in Mid-latitudes». *Geophysical Research Letters*, 39 (6), L06801. <https://doi.org/10.1029/2012GL051000>.
21. Coumou, D., Di Capua, G., Vavrus, S. *et al.*, 2018: «The Influence of Arctic Amplification on Mid-latitude Summer Circulation». *Nature Communications*, 9 (1), 2959. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05256-8>.
22. Petoukhov, V., Rahmstorf, S., Petri, S. *et al.*, 2013: «Quasiresonant Amplification of Planetary Waves and Recent Northern Hemisphere Weather Extremes». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110 (14), 5336–5341. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222000110>.
23. Kornhuber, K., Petoukhov, V., Petri, S. *et al.*, 2016: «Evidence for Wave Resonance as a Key Mechanism for Generating High-amplitude Quasi-stationary Waves in Boreal Summer». *Climate Dynamics*, 49 (5), 1961–1979. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3399-6>.
24. Mann, M., Rahmstorf, S., Kornhuber, K. *et al.*, 2017: «Influence of Anthropogenic Climate Change on Planetary Wave Resonance and Extreme Weather Events». *Scientific Reports*, 7 (1), 45242. <https://doi.org/10.1038/srep45242>.
25. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2021: *Changements climatiques 2021: Les éléments scientifiques*, contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation (en anglais), <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
26. Previdi, M., Smith, K. L., Polvani, L. M., 2021: «Arctic Amplification of Climate Change: A Review of Underlying Mechanisms». *Environmental Research Letters*, 16 (9), 093003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1c29>.

Systèmes d'observation à la base de la surveillance du climat

La surveillance du climat est assurée par un ensemble de systèmes qui observent l'atmosphère, l'océan, le cycle hydrologique, la cryosphère et la biosphère. Diverses organisations assurent par les méthodes voulues le suivi de chacun de ces domaines. Recoupant tous ces domaines, les observations par satellite concourent de manière notable à la surveillance du climat mondial.

En 1992, le Système mondial d'observation du climat (SMOC) a été créé par l'OMM, la Commission océanographique intergouvernementale (COI) de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et le Conseil international des sciences dans le but de coordonner et de faciliter l'essor et l'amélioration des observations du climat mondial. Le SMOC a défini des variables climatologiques essentielles (VCE) qui, ensemble, fournissent les informations nécessaires pour comprendre, modéliser et prévoir l'évolution du climat ainsi que pour planifier des stratégies d'atténuation et d'adaptation (figure 26). L'état des dispositifs qui servent de base au recueil des VCE est publié dans des rapports réguliers. Le SMOC indique aussi les éléments nécessaires pour améliorer le système dans des rapports de mise en œuvre.

En plus des données fournies par le Réseau de stations d'observation en surface (GSN) et le Réseau de stations d'observation en altitude (GUAN) pour le SMOC, les Services météorologiques et hydrologiques nationaux (SMHN) des Membres de l'OMM composent un réseau plus complet et étendu principalement destiné à la prévision météorologique en exploitation. Le Réseau d'observation de base mondial (ROBM) de l'OMM, qui définit à l'échelle planétaire les capacités et les calendriers d'observation et qui impose l'échange international de données, fournira des observations cruciales pour la prévision numérique du temps et aidera à renforcer notablement la surveillance du climat.

Afin d'offrir l'assistance financière et technique qu'exigent la mise en œuvre et l'exploitation du ROBM dans les zones les plus démunies et les moins bien observées du globe, l'OMM et les membres de l'Alliance pour le développement hydrométéorologique^a mettent actuellement en place un mécanisme de financement des observations systématiques (SOFF).

Venant compléter l'observation des propriétés physiques et dynamiques de l'atmosphère, la Veille de l'atmosphère globale de l'OMM coordonne les mesures de la composition de l'atmosphère et s'assure que des informations

Variables climatologiques essentielles 2016					
Atmosphère	Surface	Océan	Physique	Terres émergées	Hydrologie
	Précipitations, pression, bilan du rayonnement en surface, vitesse et direction du vent, température, vapeur d'eau		Flux de chaleur en surface, glaces de mer, niveau de la mer, état de la mer, salinité en surface, température en surface, courants sous la surface, salinité sous la surface, température sous la surface		Eaux souterraines, lacs, débit des cours d'eau, humidité du sol
	Altitude		Biogéochimie		Cryosphère
	Bilan radiatif de la Terre, éclairs, température, vapeur d'eau, vitesse et direction du vent		Carbone inorganique, protoxyde d'azote, nutriments, couleur de l'océan, oxygène, traceurs transitoires		Glaciers, inlandsis et plates-formes de glace, pergélisol, neige
	Composition		Biologie/écosystèmes		Biosphère
	Propriétés des aérosols, dioxyde de carbone, méthane et autres gaz à effet de serre, propriétés des nuages, ozone, précurseurs des aérosols et de l'ozone		Propriétés des habitats marins, plancton		Biomasse aérienne, albédo, feu, fraction absorbée du rayonnement photosynthétiquement actif, couvert terrestre, température en surface, flux de chaleur latente et sensible, indice de surface foliaire, carbone du sol
					Exploitation des ressources naturelles
					Flux de gaz à effet de serre, utilisation de l'eau

Figure 26. Variables climatologiques essentielles pour le SMOC

^a <https://public.wmo.int/en/our-mandate/how-we-do-it/development-partnerships>

fiables et exactes sont tirées des données recueillies par les Membres de l'OMM, les instituts et/ou organismes de recherche et les autres réseaux partenaires.

Le Système mondial d'observation de l'océan (GOOS) coordonne le suivi de la physique, de la biogéochimie, de la biologie et des écosystèmes marins. Le Groupe de coordination des observations du GOOS supervise les activités^b et produit un bulletin annuel sur le sujet. En règle générale, les observations océaniques sont diffusées largement à l'échelon international.

L'observation des terres émergées fait appel à un plus large éventail de réseaux. Les observations hydrologiques sont généralement effectuées par les SMHN et coordonnées au sein de l'OMM. Le SMOC reçoit aussi les données d'un certain nombre de réseaux terrestres mondiaux (GTN) spécialisés dans l'hydrologie, le pergélisol, les glaciers, l'utilisation des terres ou la biomasse, par exemple. En règle générale, les accords d'échange de données sont moins courants pour

les réseaux du domaine terrestre, si bien qu'un grand volume d'observations importantes ne sont pas mises à la disposition des utilisateurs internationaux.

Le Groupe de travail mixte sur le climat, qui relève conjointement du Comité sur les satellites d'observation de la Terre et du Groupe de coordination pour les satellites météorologiques, se fonde sur les exigences définies par le SMOC concernant les VCE pour orienter le développement des observations satellitaires à des fins climatologiques. Il a produit un inventaire qui rassemble 766 relevés de données climatologiques pour 33 VCE, couvrant 72 produits distincts, et d'autres sont prévus. Les observations par satellite présentent certains avantages – elles offrent une couverture quasi mondiale – mais il arrive que les nuages interrompent les mesures optiques. Associées aux observations à partir du sol, comme données complémentaires ou pour la validation et l'étalement, elles sont irremplaçables au sein du système d'observation mondial.

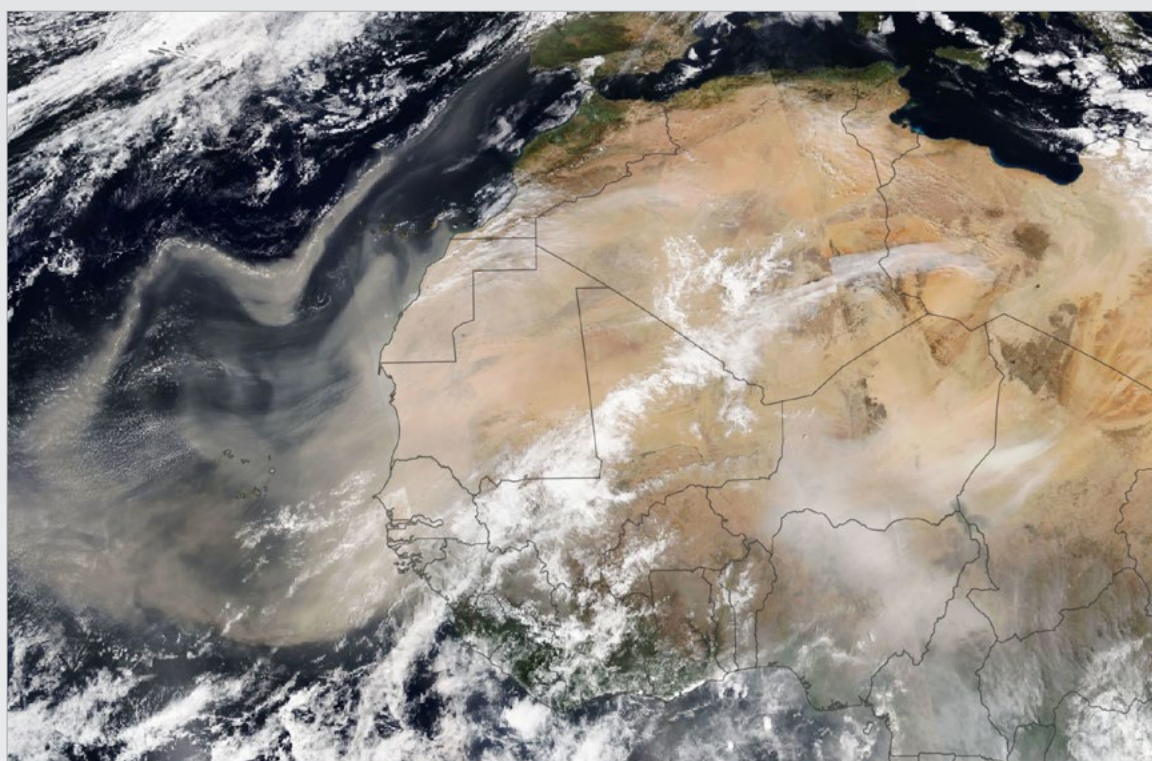


Figure 27. Tempête de poussière dans le désert du Sahara, le 18 février 2021. Cet événement a entraîné une dégradation généralisée de la qualité de l'air pendant plusieurs jours et a fait suite à un autre événement, survenu plus tôt dans le mois, qui a recouvert la neige des Pyrénées et des Alpes et a rendu le ciel orange dans certaines parties de l'Europe, notamment en France, en Allemagne et en Suisse.

^b <https://www.ocean-ops.org/>

Les prévisions infrasaisonnières à saisonnières peuvent-elles améliorer la préparation aux risques de catastrophe en Asie du Sud-Est?

Analyse d'un événement survenu entre le 20 et le 26 septembre 2021

**Estelle De Coning¹, Thea Turkington²,
Frederic Vitart³, Andrew Robertson⁴, Ryan Kang²,
Wee Leng Tan²**

¹ OMM

² Agence nationale de l'environnement (Singapour)

³ Coprésident du projet S2S au Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme

⁴ Coprésident du projet S2S à l'Institut international de recherche sur le climat et la société

L'Asie du Sud-Est est particulièrement bien placée pour bénéficier de services de prévision climatique infrasaisonnière à saisonnière (S2S), en raison de ses compétences élevées en la matière. Le Centre météorologique spécialisé (CMSA) de l'Association des nations de l'Asie du Sud-Est (ANASE) et ses partenaires (CESAP^a, RIMES^b, Centre AHA^c) s'emploient à développer des produits S2S dans la région pour réduire les risques de catastrophe dans le cadre du projet pilote S2S SEA, qui fait partie de l'initiative pilote en temps réel du projet de prévision S2S entreprise par l'OMM, le Programme mondial de recherche sur la prévision du temps (PMRPT) et le Programme mondial de recherche sur le climat (PMRC). Ce projet vise à étudier l'utilité des prévisions S2S pour la réduction des risques de catastrophe.

Entre le 20 et le 26 septembre 2021, plus de 50 000 personnes^d ont été touchées par des inondations aux Philippines, ainsi qu'aux Célèbes et dans l'est de Bornéo en Indonésie. Au cours de la même semaine, le cyclone tropical *Dianmu* a contribué à de graves inondations dans certaines parties du Viet Nam, du Cambodge et de la Thaïlande, touchant plus de 180 000 personnes^e. S'appuyant sur les prévisions établies dans le cadre du projet pilote S2S SEA, les météorologues avaient prévu une légère augmentation du risque de précipitations extrêmes dans le

sud-est de l'Indonésie, trois semaines avant l'événement en question. Deux semaines plus tard, cette prévision a évolué: l'augmentation des probabilités de précipitations extrêmes était désormais modérée pour les Célèbes, les îles Maluku et la Papouasie occidentale, et faible pour certaines parties de la Thaïlande, de la République démocratique populaire lao et du Viet Nam, ainsi que le sud des Philippines, le sud de Sumatra, l'est de Bornéo et Java. Dans le cadre des démarches entreprises dans la région pour établir des prévisions sans faille, ces perspectives ont été signalées dans le rapport hebdomadaire du Centre AHA^f aux organisations nationales de gestion des catastrophes, entre autres, en appui aux préparatifs pour le cyclone *Dianmu*^g et d'autres dangers, accompagnées de nouvelles prévisions météorologiques.

Ces résultats sont typiques des conclusions qu'a pu tirer le projet pilote jusqu'à présent, à savoir que l'augmentation de la probabilité de précipitations extrêmes pour le continent maritime est un bon indicateur, trois semaines à l'avance, qu'un ou plusieurs phénomènes dangereux peuvent se produire dans la zone. Cet indicateur est toutefois moins efficace pour la partie continentale de l'Asie du Sud-Est, où l'augmentation des risques ne peut être prédite qu'une semaine à l'avance. Une augmentation de la probabilité de phénomènes dangereux s'accompagne d'une hausse de la probabilité de catastrophe. Bien qu'à l'échelle infrasaisonnière, il n'y ait pas toujours d'indication de l'imminence de phénomènes dangereux, le nombre relativement faible de fausses alertes signifie qu'il est possible de prendre des mesures, comme un suivi ciblé de l'évolution des phénomènes et l'activation plus précoce des procédures institutionnelles afin de renforcer l'efficacité des mesures de préparation et d'intervention.

^a Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique (CESAP) des Nations Unies : <https://www.unescap.org/>

^b Système régional intégré d'alerte rapide multirisque pour l'Afrique et l'Asie: <https://www.rimes.int/>

^c Centre de coordination de l'aide humanitaire de l'ANASE pour la gestion des catastrophes: <https://ahacentre.org/>

^d <https://adinet.ahacentre.org>

^e Ibid.

^f https://ahacentre.org/wp-content/uploads/2021/09/DWeek_37_13-19Sep2021.pdf

^g <https://ahacentre.org/flash-update/flash-update-no-01-tropical-depression-21w-twentyone-viet-nam-23-september-2021/>

Jeux de données et méthodologies

DONNÉES SUR LES GAZ À EFFET DE SERRE

La concentration des gaz à effet de serre a été estimée à partir de 1750 pour définir les conditions préindustrielles. La fraction molaire qui sert ainsi de référence pour les calculs est de 278 ppm pour le CO₂, de 722 ppb pour le CH₄ et de 270 ppb pour le N₂O.

Centre mondial de données relatives aux gaz à effet de serre, exploité par le Service météorologique japonais: <https://gaw.kishou.go.jp/>.

Organisation météorologique mondiale (OMM), 2021: *Bulletin de l'OMM sur les gaz à effet de serre – N°17: Bilan des gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère, d'après les observations effectuées à l'échelle du globe en 2020*. Genève.

Centre mondial de données sur l'ozone et le rayonnement ultraviolet, exploité par Environnement et Changement climatique Canada: <https://woudc.org/home.php?lang=fr>.

DONNÉES SUR LES TEMPÉRATURES MONDIALES

SÉRIE CHRONOLOGIQUE SUR LES TEMPÉRATURES MOYENNES À L'ÉCHELLE DU GLOBE

La méthode de calcul des anomalies de la température mondiale par rapport à la période de référence 1850–1900 a été mise à jour depuis le rapport sur l'*État du climat mondial en 2020* afin d'exploiter l'évaluation du changement climatique à long terme et de ses incertitudes réalisée par le Groupe de travail I dans le cadre de sa contribution au sixième Rapport d'évaluation du GIEC. La nouvelle méthode utilise également un éventail plus large de séries de données plus courtes qui sont régulièrement mises à jour afin de fournir une évaluation faisant autorité de l'évolution récente des températures.

Dans le rapport de 2020 (et les rapports précédents), les changements par rapport à la période de référence 1850–1900 étaient déterminés au moyen du jeu de données HadCRUT4, qui était le seul à remonter à 1850. D'autres jeux de données étaient décalés pour correspondre à la moyenne de HadCRUT4 sur la période 1880–1900 (NASA GISTEMP et NOAA GlobalTemp) ou 1981–2010 (ERA5, JRA-55).

En 2021, le Groupe de travail I a évalué les changements survenus entre 1850–1900 et d'autres périodes à partir de la moyenne de quatre jeux de données (HadCRUT5, Berkeley Earth, NOAA-Interim et Kadow *et al.*, 2020) qui remontent tous à 1850. Pour évaluer le degré d'incertitude, il a pris en compte la plage d'incertitude des quatre estimations, de la limite inférieure du jeu de données présentant les températures les plus froides à la limite supérieure du jeu de données comprenant les températures les plus chaudes. En utilisant quatre jeux de données qui remontent à 1850, le Groupe de travail a ainsi pu établir une estimation plus complète du niveau d'incertitude.

Étant donné que deux des quatre jeux de données utilisés par le GIEC ne sont pas régulièrement mis à jour, le présent rapport a combiné l'estimation de l'évolution des températures entre 1850–1900 et 1981–2010 réalisée par le GIEC et l'estimation de l'évolution des températures de 1981–2010 à nos jours établie à partir de six jeux de données pour calculer l'écart entre les températures de 2021 et celles de la période 1850–1900.

Les six jeux de données montrent une évolution similaire, mais pas identique, des températures entre 1981–2010 et aujourd'hui, car les données d'observation pour cette période sont nombreuses. Le faible degré d'incertitude qui subsiste en raison de la dispersion des six jeux de données est combinée à l'estimation du GIEC pour la période 1850–1900 à 1981–2010.

Plus précisément, la température à l'échelle du globe a été calculée à partir de six jeux de données (énumérés ci-après) et les écarts entre la température moyenne mondiale actuelle et celle de la période de référence (1850–1900) ont été déterminés selon la méthodologie suivante:

1. Pour chaque jeu de données, une série chronologique des températures moyennes annuelles à l'échelle mondiale, mise à disposition par les fournisseurs de données, a servi de point de départ. Les écarts de température ont donc été présentés en utilisant des périodes de référence différentes.
2. Pour chaque jeu de données, les écarts ont été calculés par rapport à la moyenne de la période 1981–2010 en soustrayant ladite moyenne.
3. Un total de 0,69 °C a été ajouté à chaque série; il s'agit de l'écart estimé entre les périodes 1850–1900 et 1981–2010 selon la méthode du Groupe de travail I (voir la légende de la figure 1.12 du sixième Rapport d'évaluation du GIEC).
4. La moyenne et l'écart-type des six estimations ont été calculés.
5. Le degré d'incertitude relatif à l'estimation du GIEC a été combinée avec l'écart-type, en supposant que les deux sont indépendants et que la plage d'incertitude du GIEC (0,54 °C à 0,79 °C) est représentative d'un intervalle de confiance de 90 % (1,645 écart-type).

Le chiffre cité dans le présent rapport pour 2021 ($1,11 \pm 0,13$ °C) a été calculé de cette manière, 1,11 °C étant la moyenne des six estimations.

Cartes des températures annuelles

La méthode de calcul de la carte des anomalies de la température annuelle a également été mise à jour. Le rapport de 2020 utilisait une carte montrant les anomalies par rapport à la période 1981–2010 établie à partir d'un seul jeu de données (ERA5), alors que l'évaluation contenue dans le rapport reposait sur tous les jeux de données disponibles.

La carte des anomalies de température de 2021 a quant à elle été établie à partir de la valeur médiane de cinq jeux de données: HadCRUT5, ERA5, NOAA GlobalTemp, Berkeley Earth et GISTEMP, appliquée sur la grille spatiale des jeux de données à plus faible résolution (NOAA GlobalTemp et HadCRUT5), qui sont présentés sur une grille de 5° de latitude par 5° de longitude. La médiane a été utilisée de préférence à la moyenne afin de réduire au maximum l'effet des valeurs aberrantes potentielles. La mi-distance des jeux de données donne une indication de l'incertitude. La dispersion des jeux de données est la plus élevée aux hautes latitudes et en Afrique centrale en raison du volume limité de données pour ces deux régions.

Les six jeux de données suivants ont été utilisés:

Berkeley Earth: Rohde, R. A., Hausfather, Z., 2020: «The Berkeley Earth Land/Ocean Temperature Record». *Earth System Science Data*, 12, 3469–3479. <https://doi.org/10.5194/essd-12-3469-2020>.

ERA5: Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P. *et al.*, 2020: «The ERA5 global reanalysis». *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146 (730), 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.

GISTEMP v4: Équipe GISTEMP, 2022: «GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), version 4». Institut Goddard d'études spatiales de la NASA, <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>. Lenssen, N., Schmidt, G., Hansen, J. *et al.*, 2019: «Improvements in the GISTEMP Uncertainty Model». *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(12), 6307–6326. <https://doi.org/10.1029/2018JD029522>.

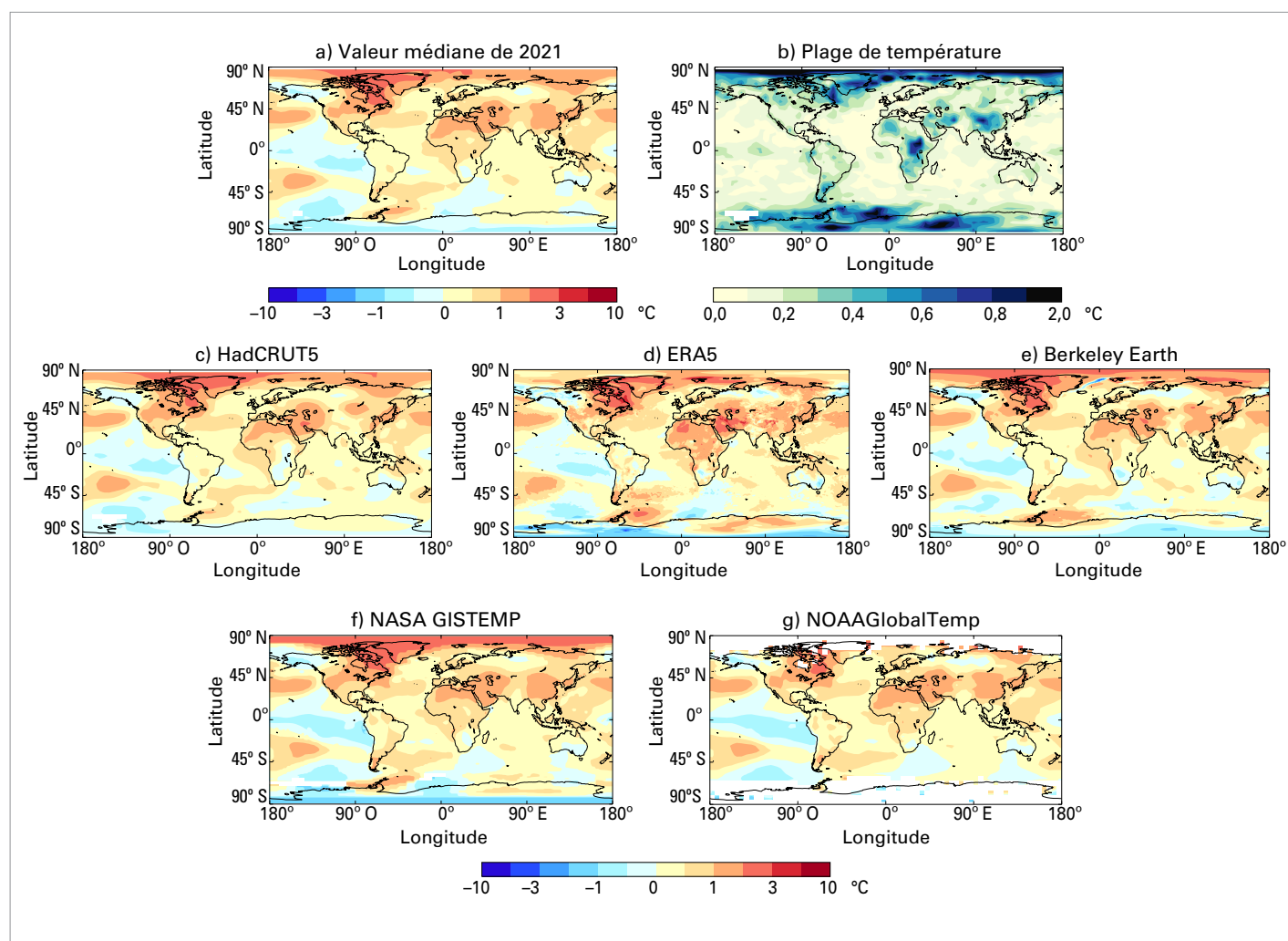
HadCRUT.5.0.1.0: Morice, C. P., Kennedy, J. J., Rayner, N. A. *et al.*, 2021: «An Updated Assessment of Near-Surface Temperature Change From 1850: The HadCRUT5 Data Set». *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126(3), e2019JD032361. <https://doi.org/10.1029/2019JD032361>. Les données HadCRUT.5.0.1.0 ont été obtenues à l'adresse <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut5> le 24 octobre 2021 et sont protégées par le copyright © British Crown Copyright, Met Office 2021. Elles ont été fournies au titre d'une licence gouvernementale d'accès libre <http://www.nationalarchives.gov.uk/doc/open-government-licence/version/3/>.

JRA-55: Kobayashi, S., Ota, Y., Harada, Y. *et al.*, 2015: «The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics». *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Ser. II. 93 (1), 5–48. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2015-001>, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmsj/93/1/93_2015-001/_article.

NOAAGlobalTemp v5: Zhang, H.-M. *et al.*: NOAA Global Surface Temperature Dataset (NOAAGlobalTemp), Version 5.0. Centres nationaux d'information sur l'environnement de la NOAA, États-Unis. doi:10.7289/V5FN144H.

Huang, B., Menne, M. J., Boyer, T. *et al.*, 2020: «Uncertainty Estimates for Sea Surface Temperature and Land Surface Air Temperature in NOAAGlobalTemp Version 5». *Journal of Climate*, 33 (4), 1351–1379. <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/33/4/jcli-d-19-0395.1.xml>.

Figure 28.
a) Anomalies de la température de l'air proche de la surface en 2021 par rapport à la moyenne de la période 1981–2010 pour la médiane de cinq jeux de données sur une grille de 5°. b) Plage de température des cinq estimations. Anomalies de la température à proximité de la surface sur la grille de résolution native des jeux de données c) HadCRUT5 (résolution de 5°), d) ERA5 (0,25°), e) Berkeley Earth (1°), f) GISTEMP (2°) et g) NOAAGlobalTemp (5°).



DONNÉES SUR LE CONTENU THERMIQUE DE L'OcéAN

Données utilisées pour les estimations jusqu'en 2021:

- Cheng, L., Trenberth, K. E., Fasullo, J. *et al.*, 2017: «Improved estimates of ocean heat content from 1960 to 2015». *Science Advances*, 3 (3), e1601545. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601545>.
- Ishii, M., Fukuda, Y., Hirahara, S. *et al.*, 2017: «Accuracy of Global Upper Ocean Heat Content Estimation Expected from Present Observational Data Sets». *SOLA*, 13, 163–167. <https://doi.org/10.2151/sola.2017-030>.
- Lyman, J. M., Johnson, G. C., 2014: «Estimating Global Ocean Heat Content Changes in the Upper 1800 m since 1950 and the Influence of Climatology Choice». *Journal of Climate*, 27 (5), 1945–1957. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00752.1>.
- von Schuckmann, K., Le Traon, P.-Y., 2011: «How well can we derive Global Ocean Indicators from Argo data?» *Ocean Science*, 7 (6), 783–791. <https://doi.org/10.5194/os-7-783-2011>.

Données utilisées jusqu'en 2020:

- Desbruyères, D. G., Purkey, S. G., McDonagh, E. L., *et al.*, 2016: «Deep and abyssal ocean warming from 35 years of repeat hydrography». *Geophysical Research Letters*, 43 (19), 310–356. <https://doi.org/10.1002/2016GL070413>.
- Gaillard, F., Reynaud, T., Thierry, V. *et al.*, 2016: «In Situ-Based Reanalysis of the Global Ocean Temperature and Salinity with ISAS: Variability of the Heat Content and Steric Height». *Journal of Climate*, 29 (4), 1305–1323. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0028.1>.
- Hosoda, S., Ohira, T., Nakamura, T., 2008: «A monthly mean dataset of global oceanic temperature and salinity derived from Argo float observations». JAMSTEC Report of Research and Development, 8, 47–59. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jamstecr/8/0/8_0_47/_article.
- Kuusela M., Stein, M. L., 2018: «Locally stationary spatio-temporal interpolation of Argo profiling float data». *Proceedings of the Royal Society A*, 474, 20180400. <http://dx.doi.org/10.1098/rspa.2018.0400>.
- Levitus, S., Antonov, J. I., Boyer, T. P. *et al.*, 2012: «World Ocean heat content and thermosteric sea level change (0-2 000 m) 1955-2010». *Geophysical Research Letters*, 39 (10), L10603. <https://doi.org/10.1029/2012GL051106>.
- Li, H., Xu, F., Zhou, W. *et al.*, 2017: «Development of a global gridded Argo data set with Barnes successive corrections». *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122 (2), 866–889, <https://doi.org/10.1002/2016JC012285>.
- Roemmich, D., Gilson, J., 2009: «The 2004-2008 mean and annual cycle of temperature, salinity, and steric height in the global ocean from the Argo Program». *Progress in Oceanography*, 82 (2), 81–100. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.03.004>.
- von Schuckmann, K., Le Traon, P.-Y., Smith, N. *et al.*, 2018: «Copernicus Marine Service Ocean State Report». *Journal of Operational Oceanography*, 11, S1–S142. <https://doi.org/10.1080/1755876X.2018.1489208>.

DONNÉES SUR LE NIVEAU DE LA MER

GMSL du CNES/Aviso+ <https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/ocean-indicators-products/mean-sea-level/data-acces.html#c12195>

DONNÉES SUR LES VAGUES DE CHALEUR ET VAGUES DE FROID MARINES

Les vagues de chaleur marines sont classées comme modérées lorsque la température de surface de la mer est supérieure au 90^e centile de la distribution climatologique pendant cinq jours ou plus; les catégories suivantes sont définies en fonction de la différence entre la température de surface de la mer et la moyenne de la distribution climatologique: forte, intense ou extrême, si cette différence est, respectivement, plus de deux, trois ou quatre fois supérieure à la différence entre

le 90^e centile et la moyenne de la distribution climatologique (Hobday *et al.*, 2018). Les vagues de froid marines sont classées de manière analogue, mais en fonction des températures de surface de la mer inférieures au 10^e centile.

La période de référence utilisée pour les vagues de chaleur et vagues de froid marines va de 1982 à 2011. Elle est décalée d'un an par rapport à la période standard (1981–2010) car la première année complète pour laquelle nous disposons de données satellitaires sur la température de surface de la mer est 1982.

- Hobday, A. J., Oliver, E. C. J., Sen Gupta, A. *et al.*, 2018: «Categorizing and naming marine heatwaves». *Oceanography*, 31 (2), 1–13. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2018.205>.
- NOAA OISST v2: Interpolation optimale de la température de surface de la mer (OISST) – Banzon, V., Smith, T. M., Chin, T. M. *et al.*, 2016: «A long-term record of blended satellite and in situ sea-surface temperature for climate monitoring, modeling and environmental studies». *Earth System Science Data*, 8 (1), 165–176. <https://doi.org/10.5194/essd-8-165-2016>.

DONNÉES SUR LE BILAN DE MASSE DES GLACIERS

Les données sur le bilan de masse des glaciers qui servent au réseau mondial des glaciers de référence sont disponibles auprès du Service mondial de surveillance des glaciers (WGMS), <https://www.wgms.ch>. Les données pour l'année 2020–2021 sont préliminaires et reposent sur un sous-ensemble de 32 glaciers de référence (sur un total de 42 environ). Les données sur le bilan de masse des glaciers de l'ouest du Canada reposent sur des relevés LiDAR pluriannuels (avril et septembre) régulièrement effectués par Brian Menounos de l'Université de la Colombie-Britannique du Nord (Canada), comme décrit dans Pelto *et al.*, 2019.

- Pelto, B. M., Menounos, B., Marshall, S. J., 2019: «Multi-year evaluation of airborne geodetic surveys to estimate seasonal mass balance, Columbia and Rocky Mountains, Canada». *The Cryosphere*, 13 (6), 1709–1727. <https://doi.org/10.5194/tc-13-1709-2019>.
- Hugonnet, R., McNabb, R., Berthier, E. *et al.*, 2021: «Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century». *Nature*, 592, 726–731. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03436-z>.

DONNÉES SUR LES INLANDSIS DU GROENLAND ET DE L'ANTARCTIQUE

Les données sur le bilan de masse de l'inlandsis du Groenland proviennent de trois sources. Les modélisations de l'évolution du bilan massique de surface et du bilan massique total de 1985 à 2021 reposent sur la moyenne de trois modèles régionaux du climat et du bilan massique, décrits dans Mankoff *et al.*, 2021. Une autre estimation du bilan de masse de 2021 est donnée dans le bulletin Arctic Report Card de la NOAA (Moon *et al.*, 2021), et repose sur des observations satellitaires de la superficie fondue et des modèles de bilan de masse de surface établis par le réseau de stations météorologiques de surface PROMICE. Les données gravimétriques satellitaires du bilan de masse total de l'inlandsis issues des missions GRACE et GRACE-FO sont disponibles dans Wiese *et al.*, 2019 (mise à jour jusqu'en 2021). Ces données sont disponibles pour les inlandsis du Groenland et de l'Antarctique.

- Mankoff, K. D., Fettweis, X., Langen, P. L. *et al.*, 2021: «Greenland ice sheet mass balance from 1840 through next week». *Earth System Science Data*, 13 (10), 5001–5025. <https://doi.org/10.5194/essd-13-5001-2021>.
- Moon, T. A., Tedesco, M., Box, J. E. *et al.*, 2021: «Greenland Ice Sheet». Dans *Arctic Report Card*. Sous la direction de Moon, T. A., Druckenmiller, M. L., Thoman, R. L. Administration américaine pour les océans et l'atmosphère. <https://doi.org/10.25923/546g-ms61>.
- Wiese, D. N., Yuan, D.-N., Boening, C. *et al.*, 2019: «JPL GRACE et GRACE-FO Mascon Ocean, Ice, and Hydrology Equivalent Water Height» RL06M CRI Filtered Version 2.0, Ver. 2.0, PO.DAAC, CA, États-Unis. <http://dx.doi.org/10.5067/TEMSC-3MJ62>.

DONNÉES SUR LA NEIGE

Les données relatives à l'enneigement et les graphiques des séries chronologiques des anomalies mensuelles sont disponibles à l'adresse suivante: <https://climate.rutgers.edu/snowcover/files/wmo/rutgers-nh-sce-anomalies-2020-21-data.xlsx>

DONNÉES SUR LES GLACES DE MER

La section relative aux glaces de mer utilise les données des produits Indice de la glace de mer v2.1 du SAF OSI d'EUMETSAT (voir Lavergne *et al.*, 2019) et Indice de la glace de mer v3 du NSIDC (Fetterer *et al.*, 2017). Les concentrations de glace de mer sont estimées à partir des mesures satellitaires de la luminance dans les micro-ondes. La superficie des glaces de mer est calculée comme étant la surface des cellules de la grille océanique où la concentration de glace de mer dépasse 15 %. Bien qu'il y ait des différences relativement importantes dans la superficie absolue entre les jeux de données, ces derniers se rejoignent sur l'évolution annuelle et les tendances. Dans le présent rapport, les données du NSIDC sont indiquées pour les superficies absolues (par exemple, 18,95 millions de km²) pour des raisons de cohérence avec les rapports précédents, tandis que les classements tiennent compte des deux jeux de données.

Centre des applications satellitaires Océans et glaces de mer (SAF OSI) d'EUMETSAT, Indice sur la glace de mer de 1979 à nos jours (v2.1, 2020), OSI-420, données extraites du serveur FTP du SAF OSI: 1979–2020, hémisphères Nord et Sud. <https://osi-saf.eumetsat.int/products/osi-420>.

Fetterer, F., Knowles, K., Meier, W. N. *et al.* 2017 (mise à jour quotidienne): «Indice de la glace de mer, version 3». Boulder, Colorado, États-Unis. NSIDC <https://doi.org/10.7265/N5K072F8>.

Lavergne, T., Sørensen, A. M., Kern, S. *et al.*, 2019: «Version 2 of the EUMETSAT OSI SAF and ESA CCI sea-ice concentration climate data records». *The Cryosphere*, 13 (1), 49–78. <https://doi.org/10.5194/tc-13-49-2019>.

DONNÉES SUR LE PERGÉLISOL

Noetzli, J., Christiansen, H. H., Hrbáček, F. *et al.*, 2021: «Global Climate Permafrost Thermal State». Dans *State of the Climate in 2020*. Sous la direction de Dunn, R. J., Aldred, H., F., Gobron, N. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 102 (8); S42–S44. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0098.1>.

Smith, S. L., Romanovsky, V. E., Isaksen, K. *et al.*, 2021: «Permafrost». Dans *State of the Climate in 2020*. Sous la direction de Druckenmiller, M. L., Moon, T., Thoman, R. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 102 (8); S293–S297. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0086.1>.

DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES

La présente analyse a utilisé les jeux de données suivants du Centre mondial de climatologie des précipitations (GPCC):

- Première estimation mensuelle, doi: 10.5676/DWD_GPCC/FG_M_100.
- Produit de surveillance (version 2020), doi: 10.5676/DWD_GPCC/MP_M_V2020_100.
- Données mensuelles complètes (version 2020), doi: 10.5676/DWD_GPCC/FG_M_V2020_100.
- Première estimation journalière, doi: 10.5676/DWD_GPCC/FG_D_100.
- Données journalières complètes (version 2020), doi: 10.5676/DWD_GPCC/FG_D_V2020_100.

Contributions

MEMBRES ET TERRITOIRES DE L'OMM

Afrique du Sud, Algérie, Allemagne, Andorre, Arabie Saoudite, Argentine, Arménie, Australie, Autriche, Bahreïn, Barbade, Bélarus, Belgique, Belize, Bosnie-Herzégovine, Botswana, Bulgarie, Burkina Faso, Cameroun, Canada, Chili, Chine, Colombie, Croatie, Chypre, Danemark, Égypte, Espagne, Estonie, États-Unis d'Amérique, Fédération de Russie, Finlande, France, Gambie, Géorgie, Grèce, Grenade, Guinée, Guinée-Bissau, Hong Kong (Chine), Hongrie, Inde, Irlande, Israël, Italie, Japon, Jordanie, Kazakhstan, Kenya, Lettonie, Liberia, Libye, Lituanie, Luxembourg, Macao (Chine), Macédoine du Nord, Madagascar, Mali, Malte, Maroc, Maurice, Niger, Nigéria, Norvège, Nouvelle-Zélande, Ouzbékistan, Pakistan, Pays-Bas, Pérou, Philippines, Pologne, Portugal, République de Moldova, République arabe syrienne, République islamique d'Iran, République tchèque, République-Unie de Tanzanie, Roumanie, Royaume-Uni, Rwanda, Saint-Kitts-et-Nevis, Saint-Vincent-et-les-Grenadines, Sénégal, Serbie, Slovaquie, Slovénie, Soudan, Suède, Suisse, Territoires britanniques des Caraïbes, Thaïlande, Togo, Trinité-et-Tobago, Tunisie, Turquie, Ukraine, Uruguay, Zimbabwe.

INSTITUTIONS

Centre d'excellence sur les extrêmes climatiques du Conseil australien de la recherche (ARC), Université de Tasmanie, Australie; Institut de recherche forestière de Birmingham, Université de Birmingham, Royaume-Uni; British Antarctic Survey (BAS); Bureau météorologique australien (BoM); Carbon Portal, Université de Lund, Suède; Centre national d'études spatiales (CNES), France; Mercator Océan international, France; Observatoire Midi-Pyrénées (OMP), France; IFREMER, France; Université de Brest, France; Centre national de la recherche scientifique (CNRS), France; Institut de recherche pour le développement (IRD), France; Laboratoire d'océanographie physique et spatiale (LOPS), France; Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales (LEGOS), France; Institut universitaire européen de la mer (IUEM), France; CELAD, France; Université de la Sorbonne, France; Laboratoire d'océanographie de Villefranche, France; Centre des méga-sciences océaniques, Académie chinoise des sciences; Service Copernicus concernant le changement climatique (C3S); Département Océans et atmosphère de l'Organisation de recherche scientifique et industrielle du Commonwealth (CSIRO), Australie; Institut météorologique danois (DMI); Centre mondial de climatologie des précipitations (GPCC), Service météorologique allemand (DWD); Environnement et Changement climatique Canada (ECCC); ETH Zürich, Suisse; Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMET); Université George Washington, États-Unis; Observatoire de Hong Kong; Institut de physique atmosphérique (IAP), Académie chinoise des sciences (CAS); Organisme pour les sciences et technologies géologiques et océanographiques du Japon (JAMSTEC); Joint Institute for Marine and Atmospheric Research (JIMAR), Université de Hawaï, États-Unis; Centre Hadley du Met Office, Royaume-Uni; Département de recherche sur la modélisation de l'atmosphère, de l'océan et du système Terre, Institut de recherche météorologique, Japon; Agence nationale de l'environnement (NEA), Singapour; Centres nationaux d'information sur l'environnement (NCEI) de l'Administration américaine pour les océans et l'atmosphère (NOAA), États-Unis; Laboratoire pour l'environnement marin du Pacifique (PMEL) de la NOAA, États-Unis; Centre océanographique national (NOC), Royaume-Uni; Ressources Naturelles Canada; Institut météorologique norvégien; Université Rutgers, États-Unis; Institut Scripps d'océanographie, États-Unis; Centre climatologique de Tokyo (TCC), Service météorologique japonais (JMA); Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brésil; Université d'Exeter, Royaume-Uni; Université de Victoria, Canada; Institut Woods Hole d'océanographie, États-Unis; Programme mondial de recherche sur le climat (PMRC); Centre mondial de données relatives aux gaz à effet de serre (CMDGS).

ORGANISMES DES NATIONS UNIES

Bureau des Nations Unies pour la prévention des catastrophes (UNDRR), Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), Haut-Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés (HCR), Organisation internationale pour les migrations (OIM), Programme alimentaire mondial (PAM), Commission océanographique intergouvernementale (COI) de l'UNESCO

CHERCHEURS, EXPERTS ET SCIENTIFIQUES

Signe Aaboe (Institut météorologique norvégien), Jorge Alvar-Beltrán (FAO), Omar Baddour (coordonnateur des publications de l'OMM), Jessica Blunden (NOAA NCEI), Tim Boyer (NOAA NCEI), Anny Cazenave (LEGOS, CNES et OMP), Lijing Cheng (IAP, Centre des méga-sciences océaniques, Académie chinoise des sciences), Louis Clément (Centre océanographique national), Kyle Clem (Université de Victoria), Estelle De Coning (OMM), Damien Desbruyères (IFREMER, CNRS, IRD, Laboratoire d'océanographie physique et spatiale), Maxx Dilley (OMM), Robert Dunn (Hadley Centre du Met Office), Simon Eggleston (OMM/SMOC), Thomas Estilow (Université Rutgers), Florence Geoffroy (HCR), Donata Giglio (Université du Colorado), Nathan Gillett (ECCC), John Gilson (Institut Scripps d'océanographie, Université de Californie), Loretta Hieber Girardet (UNDRR), Atsushi Goto (TCC, JMA), Yvan Gouzenes (LEGOS et OMP), Stephan Gruber (Université Carleton), Debbie Hemming (Hadley Centre du Met Office, Institut de recherche forestière de Birmingham), Ana Heures (FAO), Shigeki Hosoda (JAMSTEC), Matthias Huss (ETH Zürich), Kirsten Isensee (COI de l'UNESCO), Gregory C. Johnson (NOAA, PMEL), Ryan Kang (NEA), Maarten Kappelle (PNUE), John Kennedy (auteur principal, Hadley Centre du Met Office), Valentina Khan (Centre de recherche hydrométéorologique de la Fédération de Russie), Rachel Killick (Hadley Centre du Met Office), Brian A. King (NOC), Animesh Kumar (UNDRR), Mikael Kuusela (Université Carnegie Mellon), Gernot Laganda (PAM), Thomas Lavergne (Institut météorologique norvégien), Yuehua Li (Université de Nouvelle-Galles du Sud), Renata Libonati (Universidade Federal do Rio de Janeiro), Juerg Luterbacher (OMM), John Lyman (NOAA, PMEL), Shawn Marshall (ECCC et Université de Calgary), Jesse Mason (PAM), Brian Menounos (Université de Colombie britannique du Nord), Audrey Minière (Mercator Océan international), Maeva Monier (CELAD/Mercator Océan international), Colin Morice (Hadley Centre du Met Office), Lev Neretin (FAO), Stoyka Natcheva (OMM), Rodica Nitu (OMM), Jeannette Noetzli, (Institut pour l'étude de la neige et des avalanches), Ben Peltó (Université de Colombie britannique du Nord), Claire Ransom (OMM), Andrew Robertson (Coprésident de S2S, IRI), David Robinson (Université Rutgers), Dean Roemmich (Institut Scripps d'océanographie), Kanako Sato (JAMSTEC), Katsunari Sato (JMA), Yousuke Sawa (JMA, CMDGS), Robert W. Schlegel (Université de la Sorbonne, CNRS, Laboratoire d'océanographie de Villefranche), Katherina Schoo (COI de l'UNESCO), Karina von Schuckmann (Mercator Océan international), Rahul Sengupta (UNDRR), Fumi Sezaki (TCC, JMA), José Álvaro Silva (OMM), Sharon Smith (Ressources Naturelles Canada), Michael Sparrow (PMRC), Martin Stendel (DMI), Peter Stott (Hadley Centre du Met Office, Université d'Exeter), Dmitry Streletskiy (Université George Washington), Toshio Suga (JAMSTEC, Université de Tohoku), Tanguy Szekely (OceanScope), Wee Leng Tan (NEA), Oksana Tarasova (OMM), Blair Trewin (BoM), Thea Turkington (NEA, Singapour), John Turner (BAS), Freja Vamborg (CEPMMT), Alex Vermeulen (Carbon Portal, Université de Lund), Frederic Vitart (Coprésident de S2S, CEPMMT), Ying Wang (PNUE), Michelle Yonetani (HCR), Zhiwei Zhu (Université des sciences et technologies de l'information de Nanjing), Markus Ziese (DWD)



Food and Agriculture Organization
of the United Nations



UNHCR
The UN Refugee Agency



UNDRR
UN Office for Disaster Risk Reduction



World Food
Programme



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 stratégique
Cabinet du Secrétaire général

Tél.: +41 (0) 22 730 83 14

Courriel: cpa@wmo.int

public.wmo.int