

The Global Warming Policy Foundation Rapport 50 Traduction française

Association des Climato-Réalistes

L'État du climat en 2020

Ole Humlum

Rapport 50, The Global Warming Policy Foundation © Copyright 2021, The Global Warming Policy Foundation

À propos de l'auteur

Ole Humlum est ancien professeur de géographie physique au Centre universitaire de Svalbard en Norvège, et professeur émérite de géographie physique à l'université d'Oslo, en Norvège.

Traduit de l'anglais par l'Association des Climato-Réalistes



Table des matières

À propos de l'auteur	ii
1. Aperçu général 2020	2
2. Répartition spatiale des températures de l'air à la surface du globe en 2020	4
3. Température mensuelle globale de la basse troposphère depuis 1979	6
4. Température de l'air de la basse troposphère depuis 1979 : moyennes annuelles	7
5. Température mensuelle de l'air à la surface du globe depuis 1979	8
6. Température annuelle moyenne de l'air en surface dans le monde	.10
7. Réflexions sur la marge d'erreur, la cohérence et la qualité des relevés de température	.11
8. Comparaison des relevés de surface et des relevés satellitaires	.13
9. Changements de température de la basse troposphère au-dessus des terres et des océans	.14
10. Changements de température à différentes altitudes	.14
11. Gaz à effet de serre dans l'atmosphère : vapeur d'eau et dioxyde de carbone	.16
12. Températures zonales de l'air	. 19
13. Températures de l'air polaire	. 20
14. Anomalies de la température de surface de la mer 2018-2020	.20
15. Températures moyennes mondiales des océans jusqu'à 1900 m de profondeur	.22
16. Températures océaniques mondiales à différentes profondeurs	.23
17. Changements régionaux de la température océanique, profondeur 0-1900 m	.24
18. Changement net de la température de l'océan 2004-2020 dans des secteurs sélectionnés	.26
19. Indice de l'oscillation australe	. 29
20. Oscillation décennale du Pacifique	. 29
21. Oscillation multidécennale de l'Atlantique	.30
22. Niveau de la mer : considérations générales	.31
23. Le niveau de la mer à partir de l'altimétrie satellitaire	.31
24. Le niveau de la mer à partir des marégraphes	.32
25. Étendue mondiale des banquises arctique et antarctique	.34
26. Étendue de la couverture neigeuse dans l'hémisphère nord	.36
27. Énergie cyclonique accumulée des tempêtes tropicales et des cyclones	.38
28. Autres tempêtes et vents observés	.40
29. Références	. 41
30. Liens et sources de données	.42
Process	. 43
À propos du Global Warming Policy Foundation	.43
À propos de l'Association des Climato-Réalistes	.44



CLIMATEN 2020 Ole Humlum

1. Aperçu général 2020

Ce rapport se concentre sur des observations, et non sur les résultats de modèles numériques. Les références et les sources de données sont énumérées à la fin du rapport.

Températures de l'air

Les températures de l'air mesurées près de la surface de la planète (températures de l'air en surface) sont au cœur de nombreuses discussions sur le climat, mais il ne faut pas exagérer réchauffement l'importance ďun ou ďun refroidissement à court terme enregistré dans ces séries de données. Chaque fois que la Terre connaît des épisodes chauds d'El Niño ou froids de La Niña. il y a d'importants échanges de chaleur entre l'océan Pacifique et l'atmosphère, ce qui se traduit en final par un signal dans la température de l'air à l'échelle mondiale. Toutefois, cela ne reflète pas un changement du contenu thermique total du système océan-atmosphère; ces échanges de chaleur sont simplement une redistribution de l'énergie entre l'océan et l'atmosphère. L'évaluation de la dynamique des températures océaniques est donc tout aussi importante que l'évaluation des changements des températures de l'air en surface.

Si l'on considère les relevés de température de l'air en surface depuis les années 1850-1880, l'année 2020 a été très chaude, presque aussi chaude que 2016. En 2019-2020, la baisse de la température moyenne mondiale enregistrée en 2017 et 2018 a été interrompue par un nouvel épisode El Niño modéré, soulignant l'importance des échanges océan-atmosphère.

De nombreuses régions arctiques ont connu des températures de l'air record en 2016, mais depuis lors, y compris en 2020, les conditions ont généralement été un peu plus fraîches. Le pic de température dans l'Arctique en 2016 peut avoir été affecté par la chaleur libérée par l'océan Pacifique pendant le fort El Niño de 2015-16, et ensuite transportée vers la région arctique. Cela souligne à quel point les températures de l'air arctique peuvent être affectées non seulement par les variations des conditions locales, mais aussi par les variations jouant dans des régions géographiquement éloignées.

De nombreux diagrammes de ce rapport se concentrent sur la période commençant en 1979 (le satellite Era), année du début de l'ère satellitaire, depuis laquelle il existe un large éventail d'observations avec une couverture presque mondiale, y compris de la température. Les données satellitaires fournissent une vue détaillée des changements de température au fil du temps à différentes altitudes dans l'atmosphère. Elles révèlent que si la pause de température dans la basse troposphère, largement reconnue, a commencé vers 2002, un plateau de température stratosphérique similaire avait déjà commencé en 1995.

Depuis 1979, les températures de la basse troposphère ont augmenté tant sur les terres que sur les océans, mais plus nettement sur les terres. L'explication la plus simple de ce phénomène est qu'une grande partie du réchauffement est causée par l'insolation solaire, mais il pourrait bien y avoir plusieurs raisons supplémentaires, telles que des changements dans la couverture nuageuse et dans l'utilisation des terres.

Océans

Le programme Argo, qui utilise des flotteurs robotisés pour surveiller la température des océans, fournit maintenant 15 ans de couverture mondiale. Au cours de ces 15 ans, il est passé d'un réseau relativement clairsemé de 1000 flotteurs en 2004 à plus de 3900 en janvier 2021. Depuis 2004, il fournit un ensemble unique de données sur la température des océans jusqu'à 1900 mètres de profondeur. Bien que les océans soient beaucoup plus profonds que cela et que les données Argo encore relativement soient limitées, des caractéristiques intéressantes émergent de ces observations.

Depuis 2004, les 1900 mètres supérieurs des océans ont connu un réchauffement net d'environ 0,07 °C. Le réchauffement net maximal est d'environ 0.2 °C et concerne les 100 premiers mètres des océans, principalement dans les régions proches de l'équateur, où l'irradiation solaire est la plus forte. À des profondeurs plus importantes, un léger réchauffement net, d'environ 0,025°C, a été observé au cours de la même période. Cette évolution de la température globale des océans se reflète dans les océans équatoriaux entre les latitudes 30°N et 30°S gui, en raison de la forme sphérique de la planète, représentent une surface énorme. Simultanément, les océans du nord (55-65°N) ont connu en moyenne un refroidissement marqué jusqu'à 1400 m de profondeur, et un léger réchauffement à plus grande profondeur. Les océans du sud (55-65°S) ont connu en moyenne un léger réchauffement à la plupart des profondeurs depuis 2004, mais principalement près de la surface. Toutefois, les moyennes peuvent être trompeuses et, bien souvent, on obtient de meilleurs résultats en étudiant les détails, comme nous le verrons plus loin dans ce rapport.

Le niveau de la mer

Le niveau mondial des mers est surveillé par altimétrie satellitaire et par des mesures directes effectuées par des marégraphes le long des côtes. Alors que l'enregistrement par satellite suggère une élévation du niveau de la mer d'environ 3,3 mm par an, les données des marégraphes le long des côtes du monde entier suggèrent une élévation stable et moyenne du niveau de la mer de 1 à 2 mm par an. Les mesures n'indiquent aucune accélération (ou décélération) récente de l'élévation du niveau de la mer. La différence marquée (un rapport d'environ 1:2) entre les deux ensembles de données n'a toujours pas d'explication acceptée par tous, mais il est connu que les observations par satellite rencontrent des complications dans les zones côtières (voir, par exemple, Vignudelli et al. 2019). Cependant, pour la planification côtière locale, ce sont les données marégraphiques qui sont pertinentes, comme détaillé plus loin dans ce rapport.

glace de mers

En 2020, l'étendue mondiale de la glace de mer est restée bien en dessous de la moyenne de l'ère satellitaire (depuis 1979), mais une tendance à la hausse est désormais perceptible. À la fin de l'année 2016, l'étendue de la glace de mer mondiale a atteint un minimum marqué, causé au moins en partie par le fonctionnement de deux différents modèles de variation naturelle de la banquise, respectivement dans les hémisphères Nord et Sud. Ces deux variations ont connu des minima simultanés en 2016, avec les conséquences qui en résultent pour l'étendue mondiale de la glace de mer. Une tendance de sens opposé, vers une étendue de la banquise stable ou plus importante aux deux pôles a probablement commencé en 2018 et s'est accentuée en 2019 et 2020, notamment pour la banquise de l'Antarctique. La réduction marquée de la banquise de l'Antarctique en 2016 s'explique par des conditions de vent inhabituelles.

Couverture neigeuse

Les variations de l'étendue de la couverture neigeuse à l'échelle mondiale sont dues à des changements dans l'hémisphère nord, où se trouvent la plupart des grandes masses terrestres. L'étendue de la couverture neigeuse dans l'hémisphère sud est essentiellement contrôlée par la calotte glaciaire de l'Antarctique, et elle est donc relativement stable. La couverture neigeuse moyenne de l'hémisphère nord est également stable depuis le début des observations par satellite, bien que des variations interannuelles locales et régionales puissent être importantes. Si l'on considère les changements saisonniers dans l'hémisphère Nord depuis 1979, l'étendue de la couverture neigeuse a légèrement augmenté en automne, est restée stable en hiver, et a légèrement diminué au printemps. En 2020, la couverture neigeuse saisonnière de l'hémisphère Nord était légèrement inférieure à celle des années précédentes.

Tempêtes et cyclones

Les données les plus récentes sur le nombre de tempêtes tropicales mondiales et l'énergie cyclonique accumulée (ACE) se situent bien dans la fourchette des observations depuis 1970. En fait, les séries de données ACE montrent une variabilité dans le temps, avec une périodicité significative de 3,6 ans, mais sans tendance claire vers des valeurs plus élevées ou plus faibles. Des séries de données ACE plus longues pour le bassin atlantique (depuis 1850) suggèrent toutefois un cycle naturel d'environ 60 ans. Le nombre de cyclones ayant atterri sur le territoire continental des États-Unis reste dans la fourchette des données enregistrées depuis 1851.

2. Répartition spatiale des températures de l'air à la surface du globe en 2020

La température moyenne de l'air à la surface du globe en 2020 a été élevée, mais selon la plupart des relevés, légèrement plus fraîche qu'en 2016. Les années 2016, 2019 et 2020 ont été affectées par des épisodes El Niño se déroulant dans l'océan Pacifique. En 2017-18, la température de l'air à la surface du globe a commencé à baisser lentement pour revenir au niveau d'avant 2015-16. Toutefois, cette tendance a été interrompue en 2019 par une nouvelle hausse de la température due à un nouvel El Niño modéré. À la fin de 2020 cependant, un La Niña s'est développé (figure 22, épisode page 21), ce qui devrait pousser les températures de l'air vers le bas en 2021 à l'échelle mondiale.

En 2020, l'hémisphère Nord a été marqué par des contrastes régionaux de température, sous l'influence du jet stream. L'évolution la plus marquée a été une vague de chaleur de longue durée dans le nord-ouest de la Sibérie, clairement visible sur la figure 1, et le maintien depuis 2018-19 de conditions relativement froides dans une grande partie de l'Amérique du Nord.

Près de l'équateur, les températures de l'air en surface étaient généralement proches ou inférieures à la moyenne des dix années précédentes. En particulier, une grande partie de l'océan Pacifique équatorial s'est refroidie, en raison de l'épisode La Niña.

Dans l'hémisphère sud, les températures de l'air en surface ont été proches ou inférieures à la moyenne des dix dernières années. Peu de régions terrestres ont été plus chaudes que la moyenne des dix dernières années.

Dans l'Arctique (figure 2), les secteurs américain et atlantique ont été relativement froids, tandis que la plupart des secteurs Russie-Sibérie ont été relativement chauds.

L'Antarctique a été marquée par des températures proches de la moyenne en 2020, dans la continuité des conditions de 2019.

En résumé, en 2020, les températures moyennes mondiales de l'air ont été relativement élevées, reflétant l'épisode l'El Niño modéré de 2019-20 qui s'est déroulé dans l'océan Pacifique. Toutefois, à la fin de 2020, cet épisode a été remplacé par un épisode La Niña en développement. Les températures de l'air à la surface du globe ont donc continué à être fortement influencées par ces phénomènes océanographiques.



Figure 1 : Températures de l'air en surface en 2020 par rapport à la moyenne des 10 années précédentes.

Les couleurs vert-jaune-rouge indiquent les zones où la température est supérieure à la moyenne, tandis que les couleurs bleues indiquent des températures inférieures à la moyenne. Source des données : anomalie de température de surface télé détectée, AIRS/ Aqua L3 Monthly Standard Physical Retrieval 1-degree x 1-degree V006 (https://airs.jpl.nasa.gov/), obtenue sur le portail de données du GISS (https://data. giss.nasa.gov/gistemp/maps/index_v4.html).



Figure 2 : Températures de l'air à la surface des pôles en 2020 par rapport à la moyenne des 10 années précédentes.

Les couleurs vert-jaune-rouge indiquent les zones où la température est supérieure à la moyenne, tandis que les couleurs bleues indiquent celles où es températures ont été inférieures à la moyenne. Source des données : anomalie de température de surface télé détectée, AIRS/Aqua L3 Monthly Standard Physical Retrieval 1-degree × 1-degree V006 (https://airs.jpl.nasa.gov/), obtenue sur le portail de données du GISS (https://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/index_v4.html).

3. Température mensuelle globale de la basse troposphère depuis 1979

Il existe deux séries de températures par satellite pour la basse troposphère : celle de l'Université d'Alabama à Huntsville (UAH) et celle de Remote Sensing Systems (RSS). Les deux montrent clairement un pic de température associé à l'El Niño 2015-16, une baisse progressive ultérieure, suivie de l'apparition d'un nouveau pic de température dû à l'El Niño modéré de 2019-20.

La comparaison entre le dernier enregistrement (décembre 2020) et celui de mai 2015 (lignes rouges de la figure 3) montre que seuls quelques petits ajustements ont été apportés à la série UAH depuis lors, mais que la série RSS a fait l'objet d'importants ajustements vers des températures plus élevées à partir de 2002 (environ +0,1 °C). Ces ajustements de la série RSS ont été introduits en 2017. Toutes les séries de température ont été ajustées au fur et à mesure de l'introduction de nouvelles versions. Cette question est examinée plus en détail à la section 7.

La variation globale de la température dans les deux séries (figures 3 et 4) est similaire, mais l'augmentation sur la période 1979-2019 est plus importante pour RSS que pour UAH. Avant l'ajustement de 2017 de la série RSS, l'augmentation de la température était presque identique pour les deux séries.



Figure 3 : Moyenne mensuelle mondiale des températures de la basse troposphère depuis 1979.

(a) UAH et (b) RSS. La ligne épaisse est la simple moyenne glissante sur 37 mois, correspondant quasiment à une moyenne glissante de 3 ans. Les versions 2015 des jeux de données sont indiquées en rouge.



Figure 4 : Évolution temporelle des températures globales de la basse troposphère depuis 1979.

Anomalie de température par rapport à 1979-2008. Les effets des El Niños de 1998, 2010 et 2015-2016 sont clairement visibles, tout comme la tendance de nombreux El Niños à culminer pendant l'hiver de l'hémisphère Nord. Comme les différentes bases de données de température utilisent des périodes de référence différentes, les séries ont été rendues comparables en fixant leur moyenne sur 30 ans (1979-2008) comme valeur zéro de référence.

4. Température de l'air de la basse troposphère depuis 1979 : moyennes annuelles



Figure 5 : Moyenne annuelle mondiale des températures de l'air dans la basse troposphère depuis 1979.

Données satellitaires interprétées par l'Université d'Alabama à Huntsville (UAH) et Remote Sensing Systems (RSS), tous deux aux États-Unis.

1979

5. Température mensuelle de l'air à la surface du globe depuis 1979

Les trois enregistrements de la température de l'air de surface montrent clairement le pic de température associé à l'El Niño 2015-16, la baisse de température qui s'ensuit et la nouvelle hausse de température due à l'épisode El Niño modéré de 2019-20 (figure 6).

La comparaison entre l'enregistrement le plus récent (décembre 2020) et celui de mai 2015 (lignes rouges de la figure 6) montre que peu d'ajustements ont été introduits depuis dans

(a) HadCRUT4

(b) NCDC

(c) GISS.

l'enregistrement HadCRUT, tandis que des nombreux et relativement été introduits ont dans les enregistrements NCDC et GISS.

Les trois enregistrements de surface confirment toutefois le point culminant du récent épisode El Niño majeur au début de 2016, le retour progressif ultérieur vers les conditions d'avant 2015 et le nouveau réchauffement en 2019. Cette évolution est également illustrée par la figure 7.

Figure 6 : Moyenne mensuelle mondiale des températures de l'air 1.1 HadCRUT4 global temperature an en surface depuis 1979. 0.9 ũ 0.8 (deg. 07 0.6 anomaly La ligne épaisse est la moyenne glissante sur 0.5 37 mois, correspondant quasiment à une 0.4 rature moyenne glissante sur 3 ans. Les versions 0.3 2015 sont indiquées en rouge. 0.2 emper 0.1 0 -0.1 -0.2 -0.3 TT 1979 (b) 1.3 NCDC global temperature anomaly Monthly values and naming 37-month avera 1.2 1.1

changements importants



1982 1985 1988 1991 1994 1997 2000 2003 2006 2009 2012 2015 2018 2021



6. Température annuelle moyenne de l'air en surface dans le monde

Les trois estimations de la température moyenne à la surface de l'air montrent que 2016 a été l'année

la plus chaude jamais enregistrée, et aussi que l'année 2020 a été presque aussi chaude.



Figure 8 : Températures annuelles moyennes mondiales de l'air en surface depuis 1880. (a) HadCRUT4 (b) NCDC (c) GISS. Anomalie de température (°C) par rapport à 1979-2008.

7. Réflexions sur la marge d'erreur, la cohérence et la qualité des relevés de température

D'après les différentes séries de mesures de températures de l'air, 2020 a été une année chaude, parmi les plus chaudes depuis le début des relevés.

Les relevés de température de surface sont une combinaison de données sur la surface de la mer, recueillies à partir de navires en mouvement ou par d'autres moyens, et de données provenant de stations terrestres dont la qualité est en partie inconnue et dont le degré de représentativité pour leur région est inconnu également. En effet, de nombreuses stations terrestres ont été déplacées géographiquement au cours de leur période de fonctionnement, les instruments ont été modifiés et la plupart des stations sont influencées par les changements constants de leur environnement (végétation, bâtiments, etc.).

Les enregistrements de température par satellite présentent également des problèmes spécifiques, mais ceux-ci sont généralement de nature plus technique et sont donc probablement plus faciles à l'échantillonnage corriger. En outre, des températures par les satellites est plus régulier et plus complet à l'échelle mondiale, et donne donc meilleure représentation aue une les enregistrements de surface. Il est également important de noter que les capteurs des satellites mesurent la température directement par le rayonnement émis, alors que la plupart des mesures modernes de la température en surface indirectes. utilisant une résistance sont électronique.

Tous les relevés de température sont affectés par au moins trois sources d'erreur différentes, qui diffèrent selon les relevés individuels des stations utilisés pour le calcul d'une estimation de la température moyenne mondiale :

- L'exactitude est définie par le degré de proximité d'une valeur mesurée par rapport à la valeur « réelle ».
- La précision est la répétabilité, attribut selon lequel des mesures répétées dans des conditions inchangées indiquent la même valeur, vraie ou non.
- La résolution est la plus petite variation de mesure qu'un appareil de mesure peut différencier.

La combinaison de ces trois chiffres est généralement ce que la « marge d'erreur » tente d'exprimer pour les relevés de température. La marge d'erreur a fait l'objet d'intenses discussions, et elle est probablement d'au moins $\pm 0,1$ °C pour les enregistrements de la température de l'air en surface, voire plus. De ce fait, il est souvent peu pratique, d'un point de vue statistique, de classer une année comme ayant battu un record, car plusieurs autres années peuvent se situer dans la fourchette de $\pm 0,1$ °C de la valeur considérée.

Deux autres questions relatives à la marge d'erreur des relevés de surface n'ont pas été traitées de façon identique. Tout d'abord, à titre d'exemple, il ne sera pas possible de tirer de grandes conclusions sur la valeur réelle de la température de l'air à la surface du globe en décembre 2020 avant mars-avril 2021, lorsque les données non encore communiquées (au moment de la rédaction du présent rapport, en janvier 2021) seront intégrées dans les bases de données sur la température de l'air à la surface. C'est ce que l'on pourrait appeler l'effet du retard dans la communication des données.

Le deuxième problème provient des changements perpétuels des apparemment valeurs de température mensuelles et annuelles, au fur et à mesure des ajustements apportés aux bases de données. Cela signifie que la température moyenne globale rapportée pour les années précédentes changera plus tard au fil du temps. Ces modifications permanentes des données semblent n'avoir que peu ou pas de rapport avec la déclaration tardive des valeurs manquantes. Cela est démontré par le fait que des changements sont souvent apportés aux températures enregistrées très loin dans le temps, et même avant 1900, notamment par le GISS et le NCDC. Ces ajustements sont le plus vraisemblablement le résultat de modifications dans la façon dont les valeurs mensuelles moyennes sont calculées, dans le but d'améliorer l'enregistrement qui en résulte.



Figure 9 : Ajustements depuis le 17 mai 2008 dans l'enregistrement des températures de surface du GISS.

La figure 9 montre l'effet cumulé depuis mai 2008 de ces retraitements des données sur la température de l'air en surface du GISS, qui remontent à 1880. Il est important de souligner que toutes les données de température de surface semblent être soumises à de tels changements. L'effet global net des retraitements introduits dans l'enregistrement du GISS depuis mai 2008 est d'une part le réchauffement de la partie ancienne et récente de données et d'autre part le refroidissement de la période intermédiaire 1900-1970. Plusieurs des changements nets introduits depuis 2008 sont assez importants, allant d'environ +0,15 à -0,15 °C.

Pour illustrer l'effet de ces changements d'une manière différente, la figure 10 montre comment les valeurs du GISS pour les 2 mois de janvier 1910 et janvier 2000 (indiqués dans la figure 9) ont changé depuis mai 2008. Le réchauffement apparent est passé de 0,45 °C (indiqué en mai 2008) à 0,66 °C (indiqué en février 2021), soit environ 47 %. En d'autres termes, près de la moitié de l'augmentation apparente de la température mondiale entre janvier 1910 et janvier 2000 est due aux retraitements des données originales depuis mai 2008. Il est clair que ces ajustements sont importants lorsqu'on évalue la qualité globale des

divers relevés de température, au même titre que d'autres sources d'erreur standard. En fait, l'ampleur des retraitements peut dépasser la marge d'erreur officielle.

Tous ceux qui s'intéressent à la science du climat devraient reconnaître les efforts déployés dans la maintenance des différentes bases de données de température mentionnées dans le présent rapport. Dans le même temps, cependant, il est également important de réaliser que tous les enregistrements de température ne peuvent pas être de qualité scientifique égale. Le simple fait qu'ils diffèrent dans une certaine mesure montre qu'ils ne peuvent pas tous être corrects.

L'anomalie de température moyenne à la surface du globe - avec toutes les erreurs et incertitudes qu'elle comporte - reste au centre de la plupart des discussions sur le réchauffement climatique. Pour un excellent examen de la manière dont les séries de données sont construites et présentées, et des implications qui en découlent, le lecteur est invité à consulter l'article de Lindzen et Christy (2020).

Enfin, il peut être utile de souligner qu'une température moyenne globale sera rarement utile au niveau régional et local. Les valeurs moyennes peuvent être utiles mais peuvent aussi être très trompeuses. Figure 10 : Ajustements apportés depuis mai 2008 aux anomalies du GISS pour les mois de janvier 1910 et janvier 2000.



8. Comparaison des relevés de surface et des relevés satellitaires

Il y a en général une bonne cohérence entre les moyennes des données de surface et celles par satellite, comme le montre la figure 11. Cependant, avant l'ajustement majeur de l'enregistrement satellitaire RSS en 2017, la situation était différente, la moyenne des températures de surface évoluant vers le haut par rapport aux données satellitaires. Encore une fois, cela illustre l'importance des changements continus apportés aux séries de données de température.



Figure 11 : Comparaison des relevés de surface et des relevés satellitaires.

Graphiques mensuels pour les enregistrements de surface (HadCRUT, NCDC et GISS) et satellitaires (UAH et RSS). Lignes fines : valeur mensuelle ; lignes épaisses : moyenne glissante sur 37 mois. Le graphe inférieur montre les différences entre les températures de surface et celles par satellite. Anomalies par rapport à la moyenne de janvier 1979 à décembre 2008.

9. Changements de température de la basse troposphère au-dessus des terres et des océans

Depuis 1979, la basse troposphère au-dessus des terres s'est réchauffée beaucoup plus que celle audessus des océans. Il peut y avoir plusieurs raisons à cela, comme les variations du rayonnement solaire entrant, la couverture nuageuse ou encore l'utilisation des terres.



Figure 12 : Réchauffement sur les terres et les océans.

Température moyenne mensuelle globale de la basse troposphère depuis 1979, mesurée au-dessus des terres et des océans, représentée respectivement en rouge et en bleu, selon l'Université d'Alabama à Huntsville (UAH), USA. Lignes fines : valeur mensuelle ; lignes épaisses : moyenne glissante sur 37 mois.

10. Changements de température à différentes altitudes

Les changements du profil vertical de température de l'atmosphère (figure 13) sont importants, car l'augmentation des températures de la troposphère et la diminution des températures de la stratosphère sont deux caractéristiques centrales de l'hypothèse du réchauffement induit par les émissions humaines de dioxyde de carbone.

Les variations de température enregistrées dans la basse troposphère se répercutent généralement à des altitudes plus élevées, jusqu'à environ 10 km d'altitude. Le plateau de température global depuis environ 2002 se retrouve à toutes ces altitudes, tout comme l'augmentation de température induite par El Niño en 2015-16.

À haute altitude, près de la tropopause, le profil des variations enregistrées plus bas dans l'atmosphère peut encore être reconnu, mais sur la durée des enregistrements (depuis 1979), il n'y a pas eu de tendance claire vers des températures plus élevées ou plus basses.

Plus haut dans l'atmosphère, dans la stratosphère, à 17 km d'altitude, deux pics de température prononcés sont visibles avant le début du siècle. Ils peuvent tous deux être liés à des éruptions volcaniques majeures. Si l'on ne tient pas compte de ces pics, jusqu'en 1995 environ, la température stratosphérique enregistre une baisse persistante, attribuée par divers scientifiques à l'effet de la chaleur piégée par le dioxyde de carbone dans la troposphère. Toutefois, la baisse marquée de la température dans la stratosphère s'est terminée vers 1995-1996, date à laquelle les températures sont restées pratiquement inchangées. Ainsi, la « pause » de la température stratosphérique a commencé 5 à 7 ans avant la « pause » correspondante dans la basse troposphère. Il convient toutefois de noter, pour 2020, un pic de température marqué, mais de courte durée, rapidement suivi d'une baisse équivalente de la température. À la fin de 2020, la température stratosphérique à 17 km d'altitude était revenue au niveau d'avant 2020.





Température moyenne mensuelle mondiale à différentes altitudes selon l'Université d'Alabama à Huntsville (UAH), États-Unis. Lignes fines : valeur mensuelle ; lignes épaisses : moyenne glissante sur 37 mois.

11. Gaz à effet de serre dans l'atmosphère : vapeur d'eau et dioxyde de carbone

Vapeur d'eau

La vapeur d'eau est le plus important gaz à effet de serre de la troposphère. La concentration la plus élevée se trouve dans une fourchette de latitude de 50°N à 60°S. Les deux régions polaires de la troposphère sont comparativement sèches. La vapeur d'eau est un gaz à effet de serre beaucoup plus important que le dioxyde de carbone, à la fois en raison de son spectre d'absorption et de sa concentration atmosphérique plus élevée.

La figure 14 montre que l'humidité atmosphérique spécifique est stable ou en légère augmentation jusqu'à environ 4-5 km d'altitude. Aux niveaux supérieurs de la troposphère (environ 9 km), l'humidité spécifique a diminué sur toute la durée de l'enregistrement (depuis 1948), mais avec des variations plus courtes qui se superposent à la tendance à la baisse. Une analyse de fréquence de Fourier (non présentée ici) révèle que ces changements sont influencés non seulement par des variations annuelles, mais aussi par un cycle de 34,5 ans.

La diminution légère, mais persistante, de l'humidité spécifique à environ 9 km d'altitude est remarquable, car cette altitude correspond à peu près au niveau où l'effet théorique sur la température de l'augmentation du dioxyde de carbone atmosphérique devrait normalement se manifester.



Figure 14 : Humidité.

Humidité atmosphérique spécifique (g/kg) à trois altitudes différentes dans la troposphère depuis janvier 1948.Lignes fines : valeur mensuelle; lignes épaisses : moyenne glissante sur 37 mois. Source des données : Earth System Research Laboratory (NOAA)

Dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone (CO_2) est un important gaz à effet de serre, bien que moins important que la vapeur d'eau. Sur la durée de l'enregistrement (depuis 1958), une tendance à l'augmentation est clairement visible, à laquelle se superpose un cycle annuel. À la fin de 2020, la quantité de CO₂ atmosphérique était proche de 415 parties par million (figure 15). Le dioxyde de carbone est généralement considéré comme un gaz relativement bien mélangé dans la troposphère. La figure 15 ne montre que les mesures effectuées depuis 1958. Des mesures existent pour des périodes plus anciennes, mais elles sont obtenues par des techniques différentes (voir, par exemple, laworowski et al. 1992).

La variation annuelle du CO_2 troposphérique a augmenté d'environ +1 ppm par an au début des enregistrements, à environ +2,5 ppm par an vers la fin des enregistrements (figure 16). Une analyse de fréquence de Fourier (non présentée ici) révèle que le changement annuel du CO_2 troposphérique est influencé par un cycle d'une durée de 3,6 ans. Il n'y a pas d'effet visible du blocage global dû au COVID-19 depuis janvier 2020 sur la quantité de CO_2 atmosphérique.

Il est instructif de comparer la variation du taux de changement annuel du CO_2 atmosphérique à celle du taux de changement annuel de la température de l'air et de la température de la surface de la mer à l'échelle mondiale (figure 17). Les trois taux de variation varient clairement de concert, mais la température de surface de la mer est en avance de quelques mois sur la température globale et les taux de variation du CO_2 atmosphérique sont en retard de 11 à 12 mois sur les taux de variation de la température de surface de la mer.

La figure 18 montre la correspondance visuelle entre le changement annuel du CO₂ atmosphérique et les épisodes La Niña et El Niño, soulignant l'importance de la dynamique océanographique pour comprendre les changements du CO₂ atmosphérique.



Figure 15 : le jeu de données CO₂ du Mauna Loa

Lignes fines : valeur mensuelle ; lignes épaisses : moyenne glissante sur 37 mois.

Figure 16 : Variation annuelle du CO₂

Différence de deux moyennes sur 12 mois. Lignes fines : valeur mensuelle ; lignes épaisses : moyenne glissante sur 3 ans.



Figure 17 : CO₂ et température

Variation annuelle (sur 12 mois) de la concentration atmosphérique globale de CO₂ (Mauna Loa ; vert), de la température globale de la surface de la mer (HadSST3 ; bleu) et de la température globale de l'air en surface (HadCRUT4 ; rouge). Tous les graphiques montrent les valeurs mensuelles de DIFF12, la différence entre la moyenne des 12 derniers mois et la moyenne des 12 mois précédents pour chaque série de données.



Figure 18 : Croissance du CO₂ et El Niño

Correspondance visuelle entre le taux de croissance annuel du CO₂ atmosphérique (courbe supérieure) et l'indice de Niño océanique (courbe inférieure). Voir également les figures 16 et 17.

12. Températures zonales de l'air

La figure 19 montre que le réchauffement « global » observé depuis 1980 a concerné principalement l'hémisphère Nord et s'est traduit par un changement marqué entre 1994 et 1999. Ce changement de température apparemment rapide a toutefois été influencé par l'éruption du Mont Pinatubo en 1992-93 et l'épisode El Niño de 1997. Le diagramme révèle en outre comment les effets de température des forts El Niños de 1997 et 2015-16, ainsi que de l'El Niño modéré de 2019, se sont apparemment propagés aux latitudes plus élevées des deux hémisphères après un certain délai. Cet effet El Niño sur les températures a toutefois été principalement enregistré dans l'hémisphère Nord, et seulement dans une moindre mesure dans l'hémisphère Sud.



Figure 19 : Températures zonales de l'air

Température moyenne mensuelle globale de la basse troposphère depuis 1979 pour les tropiques et les extra-tropiques nord et sud, selon l'Université d'Alabama à Huntsville, USA. Lignes fines : valeur mensuelle ; lignes épaisses : moyenne glissante sur 3 ans

13. Températures de l'air polaire

Dans l'Arctique, le réchauffement s'est principalement produit entre 1994 et 1996 (figure 20). En 2016, cependant, les températures ont atteint des sommets pendant plusieurs mois, vraisemblablement en raison de la chaleur océanique cédée à l'atmosphère pendant le phénomène El Niño de 2015-16 (voir également la figure 19), qui s'est ensuite déplacée vers des latitudes plus élevées. On observe une légère baisse des températures dans l'Arctique depuis 2016.

Dans la région de l'Antarctique, les températures sont restées presque stables depuis le début des mesures par satellite en 1979. En 2016-17, le petit pic de température visible dans l'enregistrement mensuel mensuelles peut être interprété comme un effet atténué du récent épisode El Niño.



Figure 20 : Températures polaires

Température moyenne mensuelle globale de la basse troposphère depuis 1979 pour les régions du pôle Nord et du pôle Sud, selon l'Université d'Alabama à Huntsville, États-Unis. Les lignes épaisses représentent la moyenne glissante sur 37 mois.

14. Anomalies de la température de surface de la mer 2018-2020

La figure 21 montre la situation presque neutre de la température de surface de la mer à la fin du mois de décembre 2018, et une situation presque neutre à la fin de 2019, suite à l'El Niño modéré caractérisant la majeure partie de cette année. Enfin, à la fin de 2020, le début d'un nouvel épisode La Niña est clairement visible dans l'océan Pacifique équatorial. Voir également la figure 22, où sont affichés tous les épisodes El Niño et La Niña depuis 1950.

L'épisode El Niño de 2015-16 a été parmi les plus forts enregistrés depuis le début des mesures en 1950. Si l'on considère l'ensemble des relevés, toutefois, les variations récentes entre les épisodes El Niño et La Niña ne semblent en aucun cas anormales.



Figure 21 : anomalies de température de surface de la mer

Anomalies de la température de surface de la mer en décembre 2018, 2019 et 2020, (°C). Période de référence : 1977-1991. Le gris foncé représente les zones terrestres. Source de la carte : Centre météorologique de l'État de Plymouth. Veuillez noter le changement d'échelle de couleurs en 2019.

Figure 22 : L'indice El Niño

Les épisodes chauds et froids de l'indice de Niño océanique (ONI), défini comme la moyenne glissante sur 3 mois des anomalies ERSST.v5 SST dans la région Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W). Les anomalies sont centrées sur des périodes de base de 30 ans, mises à jour tous les 5 ans.

15. Températures moyennes mondiales des océans jusqu'à 1900 m de profondeur

Le programme Argo (Roemmich et Gilson 2009) a maintenant 15 ans de couverture mondiale, passant d'un réseau relativement clairsemé de 1000 bouées profileuses (balises Argo) en 2004 à plus de 3900 en janvier 2021, couvrant la plupart des grands océans. La figure 23, basée sur les observations des balises Argo, montre qu'en moyenne, la température des océans mondiaux jusqu'à 1900 m de profondeur augmente depuis environ 2010. On voit également que depuis 2013, cette augmentation est principalement due aux changements qui se produisent près de l'équateur, entre 30°N et 30°S. En revanche, pour les océans circum-arctiques, au nord de 55°N, les températures océaniques en profondeur sont en baisse depuis 2011. Près de l'Antarctique, au sud de 55°S, les températures sont essentiellement stables. À la plupart des latitudes, un rythme annuel est clairement perceptible.



Figure 23 : Températures océaniques jusqu'à 1900 m

Températures océaniques de janvier 2004 à août 2020 à une profondeur de 0 à 1900 m dans des bandes de latitudes sélectionnées, à partir des données Argo. La ligne fine montre les valeurs mensuelles, et la ligne pointillée épaisse montre la moyenne glissante sur 13 mois. Source : Atlas mondial marin Argo.

16. Températures océaniques mondiales à différentes profondeurs

La figure 24 montre les températures océaniques moyennes mondiales à différentes profondeurs. Un rythme annuel s'observe jusqu'à environ 100 m de profondeur. Dans les premiers 100 mètres, les températures ont augmenté depuis 2011 environ. À 200-400 m de profondeur, les températures ont peu évolué au cours de la période d'observation.

En revanche, à des profondeurs inférieures à 400 m, on constate à nouveau une augmentation des températures au cours de la période d'observation. Il est intéressant de noter que cette augmentation a commencé à 1900 m de 2009. profondeur autour de et s'est progressivement étendue vers le haut. À 600 m de

profondeur, l'augmentation actuelle de la température a commencé vers 2012, c'est-à-dire environ trois ans après son apparition à 1900 m de profondeur. La chronologie de ces changements montre que les températures moyennes dans les 1900 mètres supérieurs des océans ne sont pas seulement influencées par les conditions qui prévalent à la surface ou à proximité de l'océan, mais aussi par des processus qui se déroulent à des profondeurs plus importantes. Ainsi, une partie du réchauffement actuel de l'océan semble être due à des caractéristiques de circulation opérant à des profondeurs supérieures à 1900 m et non directement liées à des processus opérant à la surface ou à proximité de celle-ci.



Figure 24 : Températures océaniques à différentes profondeurs

Températures océaniques de janvier 2004 à août 2020 à différentes profondeurs entre 65°N et 65°S, à partir des données Argo. La ligne fine montre les valeurs mensuelles, et la ligne en pointillé montre la moyenne glissante sur 13 mois. Source : Atlas mondial marin Argo. Cette évolution est également visible sur la figure 25, qui montre le changement net de la température globale de l'océan à différentes profondeurs, calculé comme la différence nette entre les moyennes sur 12 mois de janvier à décembre 2004 et de septembre 2019 à août 2020, respectivement. On constate que les changements

nets les plus importants se sont produits dans les 200 m supérieurs de la colonne d'eau. Cependant, les valeurs moyennes, telles qu'elles sont utilisées ici, bien qu'elles soient précieuses, cachent également de nombreuses et intéressantes variations régionales, comme le montre la figure 26.



Figure 25 : Changements de température entre 0 et 1900 m

Variation de la température nette de l'océan mondial depuis 2004, depuis la surface jusqu'à 1900 m de profondeur, d'après les données Argo. Source : Global Marine Argo Atlas.

17. Changements régionaux de la température océanique, profondeur 0-1900 m

La figure 26 montre la variation à différentes latitudes, des changements nets de température océanique entre janvier-décembre 2004 et septembre 2019-août 2020, pour différentes profondeurs, calculés comme dans le diagramme précédent. Les trois courbes montrent le changement net respectivement dans les océans arctiques (55-65°N), les océans équatoriaux (30N-30°S) et les océans antarctiques (55-65°S).

Le réchauffement net de la surface du globe illustré à la figure 25 affecte les océans équatoriaux et antarctiques, mais pas les océans arctiques (figure 26). En fait, le refroidissement net est prononcé jusqu'à 1400 m de profondeur pour les océans du nord. Cependant, la majeure partie des terres émergées du globe se trouve dans l'hémisphère nord, de sorte que la surface (et le volume) des océans arctiques est beaucoup plus petite que celle des océans antarctiques, qui est à son tour plus petite que celle des océans équatoriaux. En fait, la moitié de la surface de la planète (terres et océans) est située entre les latitudes 30°N et 30°S.

Néanmoins, le contraste entre les changements nets de température observés en 2004-2020 pour les différentes fourchettes de latitudes est instructif. Pour les deux océans polaires, les données Argo semblent démontrer l'existence d'une bascule bipolaire, telle que décrite par Chylek et al 2010. Il est tout aussi intéressant de constater que les changements des températures océaniques proches de la surface dans les deux océans polaires contrastent avec les changements dans l'étendue des banquises dans les deux régions polaires (voir section 25).



Figure 26 : Changements de température entre 0 et 1900 m

Changement de la température nette de l'océan mondial depuis 2004, de la surface à 1900 m de profondeur, d'après les données Argo. Source : Atlas mondial marin Argo.

18. Changement net de la température de l'océan 2004-2020 dans des secteurs sélectionnés

Cette section examine les changements de température le long de deux longitudes - 20°W et 150°W, correspondant approximativement aux océans Atlantique et Pacifique respectivement - et d'un profil de latitude, correspondant au courant de l'Atlantique Nord. Les emplacements de ces trois profils sont indiqués sur la figure 27.

Profil de l'Atlantique

La figure 28a montre les changements nets de température entre 2004 et 2019 le long de la longitude 20°W. Pour préparer le diagramme, les températures océaniques moyennes sur 12 mois pour 2019 ont été comparées aux températures moyennes annuelles de 2004, représentant les 12 premiers mois des enregistrements Argo. Cependant, ces enregistrements Argo sont maintenant mis à jour jusqu'en août 2020, et pour permettre un aperçu des changements les plus récents, le changement net sur 12 mois de septembre 2019 à août 2020 est présenté dans la figure 28b.



Figure 27 : Localisation des trois profils



Les couleurs chaudes indiquent un réchauffement net et les couleurs bleues un refroidissement. En raison de la forme sphérique de la Terre, les latitudes Nord et Sud ne représentent que de petits volumes océaniques par rapport aux latitudes proches de l'équateur. Avec cette réserve à l'esprit, la figure 28 révèle néanmoins plusieurs caractéristiques intéressantes.



Figure 28 : Changement de température le long du profil Atlantique, 0-1900 m

(a) 2004-2019 et (b) septembre 2019 - août 2020. Voir la Figure 27 pour l'emplacement géographique du transect. Source des données : Global Marine Argo Atlas.

L'élément le plus marquant du profil de l'Atlantique pour 2004-2019 la période est un net refroidissement marqué à la surface au nord de l'équateur, notamment au nord de 45°N, où les couches plus profondes (jusqu'à 1500 m de profondeur) sont concernées. Au niveau et au sud de l'équateur, le réchauffement net domine en surface, bien que le refroidissement net domine à 50-300 m de profondeur. Le réchauffement net maximal de l'océan Atlantique pour la période 2004-2019 a eu lieu entre 5°N et 25°S, affectant les eaux peu profondes jusqu'à environ 50 m. Le réchauffement affecte également les latitudes entre 10°S et 45°S, entre 200 et 1200 m de profondeur.

Les changements de température au cours des 12 derniers mois (figure 28b) présentent un schéma plus complexe, notamment près de la surface. Cependant, le réchauffement de l'Atlantique Sud en profondeur semble s'être affaibli au cours des 12 derniers mois, tandis que le refroidissement de l'Atlantique Nord semble se poursuivre, à l'exception des profondeurs entre 800 et 1100 m.

Depth (meters)

Profil du courant de l'Atlantique Nord

La dynamique des températures dans le courant de l'Atlantique Nord, juste au sud des îles Féroé, est particulièrement intéressante, car cette zone est importante pour le temps et le climat d'une grande partie de l'Europe. Elle est illustrée à la figure 29, les températures supérieures à 9 °C étant représentées par des nuances de rouge.

Cette série chronologique, bien qu'elle soit encore relativement courte, présente une dynamique intéressante. La prévalence des eaux chaudes (supérieures à 9 °C) a apparemment atteint un pic au début de 2006, puis a diminué jusqu'en 2016. Depuis lors, la tendance s'est partiellement inversée. Le passage du pic au creux, gui se déroule sur environ 11 ans, pourrait suggérer l'existence d'un cycle d'environ 22 ans, mais nous devrons attendre davantage de séries d'enregistrements Argo avant de tirer des conclusions.

La figure 30 montre les mêmes données transformées en une température moyenne de l'océan intégrée à la profondeur.

Figure 29 : Changement de température le long du profil du courant de l'Atlantique Nord, 0-800 m

Voir la figure 27 pour la localisation géographique du transect. Source des données : Global Marine Argo Atlas

Figure 30 : Température intégrée à la profondeur pour le profil du courant de l'Atlantique Nord.

Voir Figure 27 pour la localisation géographique du transect. Source des données : Global Marine Argo Atlas.



Profil du Pacifique

La figure 31 montre des données équivalentes le long du profil du Pacifique à 150°W. Une caractéristique intéressante pour 2004-2019 (figure 31a) est un léger refroidissement net affectant presque toutes les profondeurs d'eau jusqu'à 1900 m au sud de 55°S, contrastant avec un réchauffement net global jusqu'à 1000 m de profondeur au nord de 55°S. Le réchauffement net a été particulièrement important entre 40°N et 60°N, jusqu'à 200 m de profondeur. En revanche, le refroidissement net caractérise les profondeurs entre 100 et 500 m entre 5°S et 30°N, et entre 20°S et 30°S.

Au cours des 12 derniers mois (figure 31b), on constate que le refroidissement domine toutes les profondeurs entre 45°S et 30°N. Une partie au moins de cette récente évolution des températures est probablement liée à l'apparition d'un épisode La Niña vers la fin de 2020 (figure 28).

Aucun des diagrammes de longitude de l'Atlantique ou du Pacifique ne montre dans quelle mesure les changements nets affichés sont causés par la dynamique océanique opérant à l'est et à l'ouest des deux profils considérés ; ils n'affichent les changements nets que le long des longitudes choisies. Pour cette raison, les diagrammes ne doivent pas être sur-interprétés. Les deux profils de longitude suggèrent cependant un contraste intéressant, l'océan Pacifique se réchauffant principalement - surtout au nord de l'Équateur, et se refroidissant au sud - alors que le contraire est observé dans le profil Atlantique : refroidissement au nord et réchauffement au sud.



Pacific Ocean net temperature change September 2019 to August 2020 along 150 W

(b) 2019-20



Figure 31 : Changement de température le long du profil Pacifique, 0-1900 m

(a) 2004-2019 et (b) septembre 2019- août 2020. Voir la figure 27 pour la localisation géographique du transect. Source des données : Global Marine Argo Atlas.

19. Indice de l'oscillation australe

L'indice de l'oscillation australe (SOI) est calculé à partir des fluctuations mensuelles ou saisonnières de la différence de pression atmosphérique entre Tahiti et Darwin, en Australie.

Des valeurs négatives soutenues de l'indice SOI (figure 32) indiquent souvent des épisodes El Niño. Ces valeurs négatives sont généralement accompagnées d'un réchauffement persistant de l'océan Pacifique tropical central et oriental, d'une diminution de la force des alizés du Pacifique et

1860

1880

1900

d'une réduction des précipitations sur l'est et le nord de l'Australie.

Les valeurs positives du SOI sont généralement associées à des vents alizés du Pacifique plus forts et à des températures de surface de la mer plus élevées au nord de l'Australie, ce qui indique des épisodes La Niña. Les eaux du centre et de l'est de l'océan Pacifique tropical deviennent plus froides pendant cette période. L'Est et le Nord de l'Australie reçoivent généralement des précipitations accrues pendant ces périodes.

1960

1980

2000

2020

Figure 32 : Anomalie annuelle du SOI depuis 1866

La ligne fine représente les valeurs annuelles, tandis que la ligne épaisse est la moyenne glissante sur 5 ans. Source : Climatic Research Unit, Université d'East Anglia.

20. Oscillation décennale du Pacifique

L'oscillation décennale du Pacifique (PDO; figure 33) est un mode de variabilité climatique du Pacifique de longue durée, semblable à El Niño, dont les données remontent à janvier 1854. Les causes de la PDO ne sont pas connues à l'heure actuelle, mais même en l'absence d'une compréhension théorique, informations les

climatiques de la PDO améliorent les prévisions climatiques saisonnières et annuelles pour l'Amérique du Nord en raison de sa forte tendance à la persistance sur plusieurs saisons et plusieurs années. La PDO semble également être à peu près en phase avec les changements de température globale.

Figure 33 : Valeurs annuelles de l'oscillation décennale Pacifique (PDO) selon le Laboratoire des sciences physiques, NOOA.

La ligne fine montre les valeurs annuelles de la PDO, et la ligne épaisse est la moyenne glissante sur 7 ans. Notez que la valeur annuelle de la PDO n'a pas encore été mise à jour après 2017.

Source : Valeurs PDO provenant du laboratoire des sciences physiques de la NOAA : ERSST V5 https://psl.noaa.gov/pdo/





1940

1920

Ainsi, du point de vue de l'impact sociétal, la reconnaissance de la PDO est importante, car elle montre que les conditions climatiques « normales » peuvent varier sur des périodes comparables à la durée d'une vie humaine.

La PDO illustre bien la façon dont les températures mondiales sont liées aux températures de surface de la mer dans l'océan Pacifique, le plus grand océan de la planète. Lorsque les températures à la surface de la mer sont relativement basses (phase

21. Oscillation multidécennale de l'Atlantique

L'oscillation multidécennale de l'Atlantique (OMA figure 34) est un mode de variabilité qui affecte les températures de surface de la mer de l'Atlantique Nord. L'OMA est essentiellement un indice des températures de surface de la mer dans l'Atlantique Nord.

L'indice de l'OMA semble être corrélé aux températures de l'air et aux précipitations dans une grande partie de l'hémisphère Nord. Cette corrélation semble être élevée pour le nord-est du Brésil, les précipitations du Sahel africain et le climat estival de l'Amérique du Nord et de l'Europe. L'indice de l'OMA semble également être associé à changements dans la fréquence des des sécheresses en Amérique du Nord et se reflète dans la fréquence des ouragans violents dans l'Atlantique.

négative de la PDO), comme entre 1945 et 1977, la température de l'air à l'échelle mondiale diminue. Lorsque les températures à la surface de la mer sont élevées (phase positive de la PDO), comme entre 1977 et 1998, la température de l'air à la surface du globe augmente (figure 8, page 10).

Une analyse de fréquence de Fourier (non présentée ici) montre que les données relatives à la PDO (figure 33) connaissent un cycle de 5,7 ans, et peut-être aussi un cycle plus long d'environ 53 ans.

Par exemple, l'indice de l'OMA peut être lié à l'occurrence passée de grandes sécheresses dans le Midwest et le Sud-Ouest des États-Unis. Lorsque l'OMA est élevée, ces sécheresses ont tendance à être plus fréquentes ou plus longues, et vice-versa pour les valeurs faibles de l'indice OMA. Deux des plus graves sécheresses du 20^e siècle aux États-Unis se sont produites pendant les valeurs maximales de l'OMA entre 1925 et 1965 : le Dust Bowl des années 1930 et les sécheresses des années 1950. D'autre part, ça semble l'inverse pour la Floride et le Nord-Ouest du Pacifique où une forte OMA est associée à des précipitations relativement élevées.

Une analyse de Fourier (non présentée ici) montre que les données relatives à l'OMA connaissent un cycle long d'environ 67 ans, et à un degré moindre, un cycle de 3,5 ans.



Figure 34 : L'oscillation multidécennale de l'Atlantique

Valeurs annuelles de l'indice de l'oscillation multidécennale de l'Atlantique (AMO), valeurs depuis 1856, sans tendance ni lissage. La ligne bleue fine indique les valeurs annuelles, et la ligne épaisse est la simple moyenne glissante sur 11 ans. Source des données : Earth System Research Laboratory, NOAA, États-Unis.

22. Niveau de la mer : considérations générales

La variation globale (ou eustatique) du niveau de la mer est mesurée par rapport à un niveau de référence appelé géoïde, qui est un niveau mathématique de la surface de la planète Terre (Carter et al. 2014). Le niveau mondial des mers est fonction du volume des bassins océaniques et du volume d'eau qu'ils contiennent. Les changements du niveau global de la mer sont causés - mais pas uniquement - par quatre mécanismes principaux :

- Les changements de la pression atmosphérique et des vents locaux et régionaux, et les changements de marée provoqués par la Lune.
- Les changements de volume des bassins océaniques dus aux forces tectoniques (géologiques).
- Les changements de densité de l'eau océanique causés par les variations des courants, de la température de l'eau et de la salinité.
- Les changements de volume d'eau causés par les modifications du bilan de masse des glaciers terrestres.

À cela s'ajoutent d'autres mécanismes influençant le niveau de la mer, tels que le stockage des eaux souterraines, le stockage dans les lacs et les rivières, l'évaporation, etc.

23. Le niveau de la mer à partir de l'altimétrie satellitaire

L'altimétrie satellitaire est un type de mesure relativement nouveau (et précieux), qui fournit un aperçu unique de la topographie détaillée de la surface des océans, et de tout changement, avec une couverture quasi globale. Cependant, elle n'est probablement pas un outil précis pour estimer les changements absolus du niveau global des mers, en raison des hypothèses faites lors de l'interprétation des données satellitaires originales. L'une des hypothèses formulées lors du traitement des données altimétriques par satellite pour obtenir des estimations du niveau de la mer (Figure 35) est l'ajustement isostatique glaciaire



Figure 35 : Variation du niveau global de la mer depuis décembre 1992

Les deux graphes inférieurs montrent la variation annuelle du niveau de la mer, calculée pour des fenêtres temporelles de 1 et 10 ans, respectivement. Ces valeurs sont tracées à la fin de l'intervalle considéré. Source : Colorado Center for Astrodynamics Research de l'Université du Colorado à Boulder. Les points bleus représentent les observations individuelles (sans l'effet GIA calculé), et la ligne violette représente la moyenne glissante sur 121 mois (environ 10 ans). Le GIA est lié à un transfert de masse à grande échelle et à long terme des océans vers la terre, sous la forme d'une croissance et d'un déclin rythmique des grandes nappes glaciaires du Quaternaire en Amérique du Nord et en Europe du Nord. Cet énorme transfert de masse provoque des changements cycliques de la charge de surface, ce qui entraîne un écoulement viscoélastique du manteau et des effets élastiques dans la croûte technique supérieure. Aucune ou réseau d'observation donner suffisamment ne peut d'informations sur tous les aspects et

conséquences du GIA, aussi les hypothèses utilisées pour l'interprétation des données altimétriques satellitaires sont difficiles à vérifier. La valeur du GIA introduit, dépend des modèles de déglaciation et de croûte-manteau qui sont utilisés. Pour cette raison (et d'autres facteurs), les interprétations de la variation du niveau global de la mer moderne basées sur l'altimétrie par satellite varient quelque peu. Dans la figure 35, l'estimation de l'élévation du niveau global de la mer est d'environ 3,3 mm/an, après neutralisation de l'effet GIA estimé.

24. Le niveau de la mer à partir des marégraphes

Les marégraphes enregistrent le mouvement net de la surface de l'océan local par rapport à la terre. Les mesures du changement relatif local du niveau de la mer sont des informations vitales pour la planification côtière, contrairement à l'altimétrie par satellite.

Dans un contexte précis, le mouvement net mesuré du niveau local de la mer côtière est composé de deux composantes locales :

 le changement vertical de la surface de l'océan, et

• le changement vertical de la surface terrestre.

Par exemple, un marégraphe peut enregistrer une augmentation apparente du niveau de la mer de 3 mm par an. Si les mesures géodésiques montrent que la terre s'enfonce de 2 mm par an, l'élévation réelle du niveau de la mer n'est que de 1 mm par an (3 moins 2 mm). Dans un contexte de changement global du niveau de la mer, la valeur de 1 mm par an est la plus pertinente, mais dans un contexte de planification côtière locale, la valeur de 3 mm par an obtenue à partir du marégraphe classique est celle que les autorités locales devraient utiliser.



Figure 36 : Données mensuelles du marégraphe Holgate-9 provenant de PSMSL Data Explorer

Les Holgate-9 sont un ensemble de marégraphes situés dans des sites géologiquement stables. Les deux courbes inférieures montrent la variation annuelle du niveau de la mer, calculée pour des fenêtres temporelles de 1 et 10 ans, respectivement. Ces valeurs sont tracées à la fin de l'intervalle considéré. Source : Colorado Center for Astrodynamics Research de l'Université du Colorado à Boulder. Les points bleus sont les observations individuelles et la ligne violette représente la moyenne glissante sur 121 mois (environ 10 ans).

Pour construire des séries chronologiques de mesures du niveau de la mer à chaque marégraphe, les moyennes mensuelles et annuelles des données des marégraphes fournies par les autorités nationales doivent être rapportées à un référentiel commun. Cette correction est effectuée par le Service permanent du niveau moyen des mers (PSMSL). La référence locale révisée (RLR) de chaque station est définie comme étant d'environ 7000 mm sous le niveau moyen de la mer. Ce choix arbitraire a été fait il y a de nombreuses années pour éviter les nombres négatifs dans les valeurs moyennes mensuelles et annuelles de la RLR.

Peu d'endroits sur Terre sont complètement stables, et la plupart des marégraphes sont situés sur des sites exposés au soulèvement ou à l'affaissement tectonique (changement vertical de la surface terrestre). Cette instabilité verticale généralisée а plusieurs causes et affecte l'interprétation des données des différents marégraphes. De nombreux efforts sont donc déplovés pour corriger les mouvements tectoniques locaux.

Les données des marégraphes situés dans des sites tectoniquement stables sont donc particulièrement intéressantes pour évaluer les changements réels du niveau de la mer à court et à long terme. Un exemple est le long enregistrement de Korsør, au Danemark (figure 37), qui indique une élévation stable du niveau de la mer d'environ 0,83 mm par an, sans indication d'une accélération récente.

Les données des marégraphes du monde entier suggèrent une élévation moyenne du niveau de la mer de 1 à 2 mm par an, alors que les données satellitaires (figure 35) indiguent une élévation d'environ 3,3 mm par an, voire plus. La différence entre les deux ensembles de données (un rapport d'environ 1 à 2), bien que remarquable, n'a pas reçu d'explication universellement acceptée. Il est cependant connu que les observations par satellite rencontrent des difficultés dans les zones côtières. Vignudelli et al. (2019) fournissent un aperçu actualisé des limites actuelles de l'altimétrie satellitaire classique dans les régions côtières. Goklany (2021) fournit plusieurs réflexions supplémentaires sur les évolutions en cours du niveau de la mer.





Extrait de PSMSL Data Explorer. Les points bleus sont les observations mensuelles individuelles, et la ligne violette représente la moyenne glissante sur 121 mois (environ 10 ans). Les deux graphes inférieurs montrent la variation annuelle du niveau de la mer, calculée pour des fenêtres temporelles de 1 et 10 ans, respectivement. Ces valeurs sont tracées à la fin de l'intervalle,

25. Étendue mondiale des banquises arctique et antarctique

Les deux graphiques de l'étendue moyenne sur 12 mois de la glace de mer pour la période 1979-2020 présentés à la figure 38 révèlent une tendance contrastée entre les deux pôles. La banquise de l'hémisphère Nord a diminué, mais on a observé une augmentation simultanée de l'étendue de la banquise dans l'hémisphère Sud, qui a duré jusqu'en 2016. L'étendue de la banquise antarctique a diminué extrêmement rapidement au cours du printemps 2016 dans l'hémisphère Sud, beaucoup plus rapidement qu'au cours de tous les printemps précédents depuis l'ère satellitaire (1979). Un fort recul de la banquise s'est produit dans tous les secteurs de l'Antarctique, mais il a été le plus important dans les mers de Weddell et de Ross.



Figure 38 : Étendue de la glace de mer mondiale et hémisphérique depuis 1979.

Moyennes glissantes sur 12 mois. La valeur d'octobre 1979 représente la moyenne mensuelle de novembre 1978-octobre 1979, la valeur de novembre 1979 représente la moyenne de décembre 1978-novembre 1979, etc. Les lignes pointillées représentent une moyenne de 61 mois (environ 5 ans). Le dernier mois inclus dans les calculs sur 12 mois est indiqué à droite dans le diagramme. Source des données : National Snow and Ice Data Center (NSIDC).

Dans ces secteurs, de forts vents de surface venant du nord (chauds) ont repoussé la glace de mer vers le continent antarctique. Le contexte des conditions particulières de vent de 2016 a été discuté par différents auteurs (par exemple, Turner et al. 2017 et Phys.org 2019) et semble être un phénomène lié à la variabilité naturelle du climat. L'enregistrement satellitaire de la banquise est encore court, et ne prend pas entièrement en compte les variations naturelles jouant sur plus d'une décennie ou deux.

Ce qui peut être identifié à partir de cet enregistrement « encore court » est néanmoins instructif. Les deux graphiques des moyennes sur 12 mois de la figure 38 sont visuellement caractérisés des variations récurrentes. par superposées aux tendances générales. Pour l'Arctique, cette variation plus courte est fortement influencée par un cycle de 5,3 ans, tandis que pour l'Antarctique, une variation périodique d'environ 4,5 ans est perceptible. Ces deux variations ont atteint leur minimum simultanément en 2016, ce qui explique au moins en partie le minimum simultané de l'étendue mondiale de la glace de mer.

Dans les années à venir, ces variations pourraient à nouveau induire des augmentations de l'étendue de la glace de mer aux deux pôles, avec pour conséquence une augmentation de la moyenne mondiale sur 12 mois. En fait, ce phénomène a peut-être déjà commencé dans l'Antarctique (figure 38). Et dans l'Arctique, l'épaisseur moyenne de la glace montre également des signes d'augmentation (figure 39). Toutefois, dans les années à venir, les minima et maxima de ces variations ne seront pas synchronisés en raison de leurs périodicités différentes, et les minima (ou maxima) globaux pourraient donc être moins prononcés qu'en 2016.

Les diagrammes de la figure 39 illustrent l'étendue et l'épaisseur globales de la banquise arctique de fin 2019 à fin 2020, telles que publiées par l'Institut météorologique danois. Le changement le plus visible sur cette période est une augmentation globale de l'épaisseur de la glace dans la partie centrale de l'océan Arctique. En outre, une banquise relativement plus épaisse s'est établie au nord du Canada et du Groenland, par rapport à la situation qui prévalait à la fin de 2019.



Figure 39 : glace de mer arctique 2019 par rapport à 2020

Étendue et épaisseur de la banquise arctique au 31 décembre 2019 (à gauche) et 2020 (à droite) et cycles saisonniers du volume total calculé de la glace de mer arctique, selon l'Institut météorologique danois (DMI). Le volume moyen de la glace de mer et l'écart type pour la période 2004-2013 sont indiqués en gris dans les diagrammes d'insertion.

26. Étendue de la couverture neigeuse dans l'hémisphère nord

Les variations de l'étendue de la couverture neigeuse mondiale sont principalement dues aux changements qui se produisent dans l'hémisphère nord (figure 40), où se trouvent toutes les grandes zones terrestres. L'étendue de la couverture neigeuse de l'hémisphère sud est essentiellement déterminée par la calotte glaciaire de l'Antarctique, et par suite est relativement stable.

L'étendue de couverture neigeuse de la l'hémisphère Nord est sujette à d'importantes variations locales et régionales d'une année sur l'autre. Toutefois, la tendance générale (depuis à la stabilité 1972) est des conditions d'enneigement dans l'hémisphère nord, comme l'illustre la figure 41.

Au cours de l'été de l'hémisphère nord, la couverture neigeuse se réduit généralement à environ 2 400 000 km2 (principalement contrôlée par la taille de la calotte glaciaire du Groenland), et au cours de l'hiver de l'hémisphère nord, la zone couverte de neige augmente à environ 50 000 000 km2, représentant pas moins de 33 % de la surface terrestre totale de la planète.

Si l'on considère les changements saisonniers (figure 42), l'étendue de la couverture neigeuse de l'hémisphère nord a légèrement augmenté en automne, est pratiquement stable au milieu de l'hiver, et a légèrement diminué au printemps. En 2020, l'étendue de la couverture neigeuse de l'hémisphère nord était légèrement inférieure à la moyenne de 1972-2020.



Figure 40 : Neige et glace de mer dans l'hémisphère nord

Couverture neigeuse (blanche) et glace de mer (jaune) au 31 décembre 2019 (à gauche) et 2020 (à droite). Source de la carte : Centre national des glaces (NIC).



Figure 41 : Couverture neigeuse hebdomadaire de l'hémisphère nord depuis 1972.

Source : Rutgers University Global Snow Laboratory. La ligne bleue fine représente les données hebdomadaires, et la ligne bleue épaisse la moyenne glissante sur 53 semaines (environ 1 an). La ligne rouge horizontale est la moyenne de 1972-2020.





Source des données : Rutgers University Global Snow Laboratory.

27. Énergie cyclonique accumulée des tempêtes tropicales et des cyclones

L'énergie cyclonique accumulée (ACE) est une mesure utilisée par la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) des États-Unis pour exprimer l'activité de cyclones tropicaux individuels et celle de saisons cycloniques entières. L'ACE est calculée comme le carré de la vitesse du vent toutes les 6 heures qui est ensuite mise à l'échelle par un facteur de 10 000 pour être utilisable. Son unité est de 104 Kt (nœuds marins). L'ACE d'une saison est la somme de l'ACE de chaque tempête et prend en compte le nombre, la force et la durée de toutes les tempêtes tropicales de la saison.

Le potentiel de dégâts d'un cyclone est proportionnel au carré ou au cube de la vitesse maximale du vent. L'ACE est donc non seulement une mesure de l'activité des cyclones tropicaux, mais aussi une mesure du potentiel de dégâts d'un cyclone individuel ou d'une saison. Les enregistrements existants (figure 43) ne suggèrent pas une activité cyclonique anormale ces dernières années.

Les données ACE mondiales depuis 1970 présentent un schéma variable dans le temps (figure 43), mais sans tendance claire, tout comme les diagrammes pour les hémisphères Nord et Sud. Une analyse de Fourier (non présentée ici) révèle une périodicité significative d'environ 3,6 ans dans les données ACE, et suggère en outre l'existence d'une périodicité de 11,5 ans, mais la série de données est encore trop courte pour pouvoir en tirer des conclusions.



Figure 43 : ACE mondial annuel.

Source : Ryan Maue.

La période 1989-1998 a été caractérisée par des valeurs élevées, et d'autres pics ont été observés en 2004, 2015 et 2018, tandis que les périodes 1973-1988, 1999-2003 et 2006-2014 ont été caractérisées par des valeurs faibles. Les pics de 1997/98 et 2016 ont coïncidé avec de forts événements El Niño dans l'océan Pacifique (figure 22). Les données ACE et la dynamigue des cyclones en cours sont détaillées dans Maue (2011). Les valeurs ACE de l'hémisphère nord (courbe centrale de la figure 43) dominent le signal global (courbe inférieure de la figure 43) et présentent donc des pics et des creux similaires à ceux affichés par les données globales, sans tendance claire pour toute la période d'observation. La principale saison cyclonique de l'hémisphère nord s'étend de juin à novembre. Les valeurs de l'ACE de l'hémisphère Sud (courbe inférieure de la figure 39) sont généralement plus faibles que celles de

l'hémisphère Nord, et la principale saison cyclonique s'étend de décembre à avril.

série de données ACE du Laboratoire la océanographique et météorologique de l'Atlantique remonte à 1850. Une analyse de Fourier pour le bassin de l'Atlantique (figure 44) révèle que la série de données ACE est fortement influencée par une variation périodique d'une durée d'environ 60 ans. Actuellement, depuis 2002, la série de données ACE de l'Atlantique présente une tendance générale à la baisse. mais avec de grandes variations interannuelles. La saison des ouragans dans l'Atlantique Nord présente souvent une activité supérieure à la moyenne lorsque des conditions La Niña sont présentes dans le Pacifique à la fin de l'été (août-octobre), comme ce fut le cas en 2017 (Johnstone et Curry, 2017).

Goklany (2021) présente de nombreuses observations et réflexions supplémentaires sur l'activité récente des tempêtes et des cyclones.





Les lignes minces indiquent les valeurs annuelles de l'ACE, et la ligne épaisse indique la moyenne glissante sur 7 ans. Source des données : Laboratoire océanographique et météorologique de l'Atlantique (AOML), Division de la recherche sur les ouragans. Notez que ces données ne sont pas encore mises à jour au-delà de 2018.

28. Autres tempêtes et vents observés

La figure 45 montre le nombre de cyclones ayant atterri sur le territoire continental des États-Unis. On constate des variations considérables d'une année à l'autre, mais il n'est pas possible de déceler une tendance claire. Une analyse de Fourier (non présentée ici) révèle que cette série de données annuelles est caractérisée par deux périodes statistiquement significatives, d'environ 3,2 et 4,9 ans, respectivement.

L'examen des observations effectuées par les stations météorologiques côtières, situées à des endroits particulièrement exposés au vent, permet également de mieux comprendre les changements des conditions dominantes de vent. Un exemple dans le nord-ouest de l'Europe, où se situe le phare de Lista en Norvège. Le phare se trouve sur un cap situé à l'extrême sud-ouest de la partie continentale du pays, et donc bien adapté pour enregistrer les conditions de vent dans la mer du Nord adjacente et le secteur européen de l'Atlantique Nord. Le phare de Lista dispose d'une série mensuelle de données sur les vents remontant à janvier 1931, comme le montre la figure 46. À cet endroit, les forces maximales du vent ont été enregistrées peu après la Seconde Guerre mondiale et ont depuis quelque peu diminué, reflétant dans une certaine mesure l'évolution générale affichée par le nombre d'atterrissages d'ouragans sur le continent américain (figure 45), c'est-à-dire sur la rive opposée de l'Atlantique Nord.





Figure 45 : Atterrissages d'ouragans sur le territoire continental des États-Unis 1851-2018

L'impact le plus élevé de l'échelle "Saffir-Simpson Hurricane Scale" des ouragans aux États-Unis est basé sur l'estimation des vents de surface maximums sur la côte. Source des données : Division de la recherche sur les ouragans, NOAA. Notez que cette série de données n'est pas encore mise à jour au-delà de 2018.

Figure 46 : Vitesse mensuelle maximale et moyenne du vent depuis janvier 1931, mesurée au phare de Lista, au sud de la Norvège.

Le phare de Lista se trouve sur un cap exposé situé à l'extrême sudouest de la Norvège continentale, dans une position permettant d'enregistrer les conditions de vent dans la mer du Nord adjacente et le secteur européen de l'Atlantique Nord.

Source des données : SeKlima. Pas encore mis à jour au-delà de 2018.

29. Références

- Carter R.M. et al. (2014). *Commentary and Analysis on the Whitehead & Associates 2014 NSW Sea-Level Report*. Policy Brief, NIPCC, 24 September 2014. <u>http://climatechangereconsidered.org/wp-content/uploads/2014/09/NIPCC-Report-on-NSW-Coastal-SL-9z-corrected.pdf</u>.
- Chylek, P. et al. (2010). Twentieth century bipolar seesaw of the Arctic and Antarctic surface air temperatures. *Geophysical Research Letters*, 37, L08703, doi:10.1029/2010GL042793.
- Goklany, I.M. (2021). *Impacts of Climate Change Perception and Reality*. The Global Warming Policy Foundation, report 46, 44pp. <u>https://www.thegwpf.org/content/uploads/2021/02/Goklany-EmpiricalTrends.pdf</u>.
- Holgate, S.J. (2007). On the decadal rates of sea level change during the twentieth century. *Geophysical Research Letters*; 34: L01602, doi:10.1029/2006GL028492.
- Jaworowski, Z. et al. (1992). Do glaciers tell a true atmospheric CO₂ story? The Science of the Total Environment; 114: 227–284. <u>https://www.researchgate.net/publication/223504148 Do glaciers</u> tell a true atmospheric CO2 story.
- Johnstone, J. and Curry, J. (2017). *Causes and Predictability of the Exceptionally Active 2017 Atlantic Hurricane Season*. Climate Forecast Applications Network. <u>https://curryja.files.wordpress.com/2017/11/hurricane_review_2017-final.pdf</u>.
- Lindzen, R.S. and Christy, J.R. (2020). *The Global Mean Temperature Record. How it works and why it is misleading*. CO₂ Coalition. <u>http://co2coalition.org/publications/the-global-mean-temperature-anomaly-record/.</u>
- Maue, R.L. (2011). Recent historically low global tropical cyclone activity. *Geophysical Research Letters*; 38: L14803, doi:10.1029/2011GL047711.
- Roemmich, D. and 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: 81–100.
- Turner J. et al. (2017). Unprecedented springtime retreat of Antarctic sea ice in 2016. *Geophysical Research Letters*; 44(13): 6868–6875. <u>https://doi.org/10.1002/2017GL073656</u>.
- Vignudelli et al. (2019). Satellite altimetry measurements of sea level in the coastal zone. <u>Surveys in</u> <u>Geophysics</u>, *Vol.* 40, 1319–1349. <u>https://link.springer.com/article/10.1007/s10712-019-09569-1.</u>

30. Liens et sources de données

All sources accessed January–March 2021.

- AMO, <u>Earth System Research Laboratory</u>, NOAA, USA: <u>https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/</u> <u>timeseries/AMO/.</u>
- <u>Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, Hurricane Research Division</u>: <u>http://www.aoml.noaa.gov/hrd/tcfaq/E11.html</u>.
- Colorado Center for Astrodynamics Research: <u>http://sealevel.colorado.edu/</u>.
- Danish Meteorological Institute (DMI): <u>http://ocean.dmi.dk/arctic/icethickness/thk.uk.php</u>.
- Earth System Research Laboratory (ESRL): <u>https://www.esrl.noaa.gov/psd/map/clim/olr.shtml</u>.
- GISS temperature data: <u>https://data.giss.nasa.gov/gistemp/</u>.
- Global Marine Argo Atlas: <u>http://ws (</u>GISS): <u>https://www.giss.nasa.gov/.</u>
- HadCRUT temperature data: <u>http://hadobs.metoffice.com/</u>.
- Hurricane Research Division, NOAA: <u>http://www.aoml.noaa.gov/hrd/tcfaq/E23.html</u>.
- National Ice Center (NIC). http://www.natice.noaa.gov/pub/ims/ims_gif/DATA/cursnow.gif.
- <u>National Snow and Ice Data Center (NSIDC)</u>: <u>http://nsidc.org/data/seaice_index/index.html</u>.
- NCDC temperature data: <u>https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/faq/</u>.
- Ocean temperatures from Argo floats: <u>http://www.argo.ucsd.edu/.</u>
- Oceanic Niño Index (ONI): <u>http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/</u> <u>ensoyears.shtml.ww.argo.ucsd.edu/Marine_Atlas.html.</u>
- <u>Goddard Institute for Space Studie</u>
- Outgoing long-wave radiation (OLR): <u>https://www.esrl.noaa.gov/psd/map/clim/olr.shtml</u>.
- PDO, NOAA Physical Sciences Laboratory: https://psl.noaa.gov/pdo/.
- Permanent Service for Mean Sea Level: <u>http://www.psmsl.org/.</u>
- Phys.org 2019: <u>https://phys.org/news/2019-01-antarctica-sea-ice-climate.html.</u>
- Plymouth State Weather Center: <u>http://vortex.plymouth.edu/sfc/sst/</u>.
- <u>PSMSL Data Explorer</u>: <u>http://www.psmsl.org/data/obtaining/map.html</u>.
- Rutgers University Global Snow Laboratory: http://climate.rutgers.edu/snowcover/index.php.
- RSS temperature data: <u>http://www.remss.com/measurements/upper-air-temperature.</u>
- Sea level from satellites: <u>https://sealevel.colorado.edu/data/2020rel1-global-mean-sea-level-seasonal-signals-retained.</u>
- Sea level from tide gauges: <u>http://www.psmsl.org/data/obtaining/map.html.</u>
- Sea-ice extent Danish Meteorological Institute (DMI): <u>http://ocean.dmi.dk/arctic/icethickness/thk.</u> <u>uk.php</u>.
- SeKlima: https://seklima.met.no/observations/.
- Southern Oscillation Index (SOI): <u>http://crudata.uea.ac.uk/cru/data/soi/</u>.
- Maue ACE data: climatlas.com/tropical/.
- UAH temperature data: <u>http://www.nsstc.uah.edu/data/msu/v6.0/tlt/uahncdc_lt_6.0.txt.</u>

Process

Le GWPF publie des articles dans plusieurs formats avec pour chacun, un processus de révision différent.

- Les rapports phares du GWPF de format long, sont tous révisés par notre comité consultatif académique.
- Les Briefings et Notes du GWPF sont des documents plus courts et sont révisés en interne et/ou en externe selon les besoins.

La fonction du processus de révision est en partie de s'assurer que tout matériel publié par le GWPF est d'un niveau académique approprié, et servira l'objectif pédagogique du GWPF. En tant qu'organisation caritative, nous admettons que le contenu pédagogique doit offrir à tout lecteur la possibilité de comprendre et d'explorer différentes perspectives sur un sujet.

Cela signifie que, pour la plupart des publications, nous invitons également à une révision externe qui, nous l'espérons, apportera un point de vue différent de celui de l'auteur de la publication. Nous proposons de publier des commentaires de fond en même temps que l'article principal, à condition qu'ils améliorent l'expérience pédagogique du lecteur. De cette manière, nous espérons encourager un débat ouvert et actif sur les domaines importants dans lesquels nous travaillons.

Ce processus de révision amélioré pour les articles du GWPF a pour but de pousser le contenu et l'analyse au-delà de la révision habituelle d'un article universitaire :

- Plus de relecteurs potentiels peuvent être impliqués
- Le nombre de commentaires de fond dépasse généralement l'examen par les pairs d'une revue, et
- L'identité de l'auteur est connue des relecteurs potentiels.

En tant qu'organisation dont les publications font parfois l'objet de critiques affirmées ou irréfléchies, ce processus de révision vise à améliorer l'expérience pédagogique de tous les lecteurs, en permettant que des points soient soulevés et examinés dans leur contexte et en respectant les normes requises pour un débat éclairé et informatif. Nous attendons donc de toutes les parties concernées qu'elles traitent les critiques avec le plus grand sérieux.

La responsabilité finale de la publication incombe au Président des Administrateurs et au Directeur de le GWPF. Mais dans tous les cas, les opinions exprimées sont celles de l'auteur. Le GWPF n'a jamais eu de position corporatiste autre que celles dictées par ses objectifs pédagogiques.

À propos du Global Warming Policy Foundation

Le « Global Warming Policy Foundation » (GWPF) est un groupe de réflexion multipartite et non partisan et un organisme de bienfaisance éducatif qui, tout en restant ouvert sur la science contestée du réchauffement climatique, est profondément préoccupé par les coûts et autres implications négatives des politiques préconisées pour le combattre.

Son objectif principal est **d'**analyser les politiques de lutte contre le réchauffement climatique et leurs implications économiques et sociales. Il est aussi de fournir des analyses et des conseils économiques robustes et fiables. Le GWPF cherche avant tout à informer les médias, les hommes politiques et le public, sur le sujet du réchauffement climatique en général et sur la désinformation dont il fait trop souvent l'objet à l'heure actuelle.

La clé du succès du GWPF réside dans la confiance et la crédibilité acquises aux yeux d'un nombre croissant de décideurs politiques, de journalistes et du public. Le GWPF est financée en grande partie par des dons volontaires d'un certain nombre de particuliers et d'organisations caritatives. Afin de marquer clairement son indépendance totale, le GWPF n'accepte pas de dons de la part des entreprises énergétiques ou de toute personne ayant un intérêt significatif dans une entreprise énergétique.

Les opinions exprimées dans les publications du « Global Warming Policy Foundation » sont celles des auteurs et non celles du GWPF, de ses administrateurs, de ses membres du Conseil consultatif académique ou de ses directeurs.

À propos de l'Association des Climato-Réalistes

L' **Association des Climato-Réalistes** » est une association française qui a pour objet de promouvoir un débat ouvert et libre sur l'évolution du climat et les questions sociétales et environnementales qui s'y rapportent, en favorisant l'expression sous toutes ses formes d'avis rigoureux et argumentés. Elle vise à sensibiliser le citoyen aux enjeux du climat et des politiques énergétiques menées au nom de la lutte contre le réchauffement climatique. L'association est apolitique et totalement libre dans l'expression de ses idées. Elle s'attache à diffuser une information fiable recueillie auprès de sources sérieuses.

THE GLOBAL WARMING POLICY FOUNDATION

Director

Benny Peiser

Honorary President Lord Lawson

BOARD OF TRUSTEES

Terence Mordaunt (Chairman) Steve Baker MP Dr Jerome Booth Professor Peter Edwards Chris Gibson-Smith Kathy Gyngell Professor Michael Kelly Lord Moore Graham Stringer MP Professor Fritz Vahrenholt

ACADEMIC ADVISORY COUNCIL

Professor Christopher Essex (Chairman) Sir Ian Byatt Dr John Constable Professor Vincent Courtillot Professor Peter Dobson Christian Gerondeau Professor Larry Gould Professor Larry Gould Professor William Happer Professor Ole Humlum Professor Ole Humlum Professor Gautam Kalghatgi Professor Terence Kealey Bill Kininmonth Brian Leyland Professor Richard Lindzen Professor Ross McKitrick Professor Robert Mendelsohn Professor Garth Paltridge Professor Ian Plimer Professor Gwythian Prins Professor Paul Reiter Professor Peter Ridd Dr Matt Ridley Sir Alan Rudge Professor Nir Shaviv Professor Henrik Svensmark Dr David Whitehouse

RECENT GWPF REPORTS

15	De Lange, Carter	Sea-level Change: Living with Uncertainty
16	Montford	Unintended Consequences of Climate Change Policy
17	Lewin	Hubert Lamb and the Transformation of Climate Science
18	Goklany	Carbon Dioxide: The Good News
19	Adams	The Truth About China
20	Laframboise	Peer Review: Why Scepticism is Essential
21	Constable	Energy Intensive Users: Climate Policy Casualties
22	Lilley	£300 Billion: The Cost of the Climate Change Act
23	Humlum	The State of the Climate in 2016
24	Curry et al.	Assumptions, Policy Implications and the Scientific Method
25	Hughes	The Bottomless Pit: The Economics of CCS
26	Tsonis	The Little Boy: El Niño and Natural Climate Change
27	Darwall	The Anti-development Bank
28	Booker	Global Warming: A Case Study in Groupthink
29	Crockford	The State of the Polar Bear Report 2017
30	Humlum	State of the Climate 2017
31	Darwall	The Climate Change Act at Ten
32	Crockford	The State of the Polar Bear Report 2018
33	Svensmark	Force Majeure: The Sun's Role in Climate Change
34	Humlum	State of the Climate 2018
35	Peiser (ed)	The Impact of Wind Energy on Wildlife and the Environment
36	Montford	Green Killing Machines
37	Livermore	Burnt Offering: The Biomess of Biomass
38	Kelly	Decarbonising Housing: The Net Zero Fantasy
39	Crockford	The State of the Polar Bear Report 2019
40	Darwall	The Climate Noose: Business, Net Zero and the IPCC's Anticapitalism
41	Goklany	The Lancet Countdown on Climate Change: The Need for Context
42	Humlum	The State of the Climate 2019
43	Alexander	Weather Extremes: Are They Caused by Global Warming?
44	Constable	Hydrogen: The Once and Future Fuel?
45	Kessides	The Decline and Fall of Eskom: A South African Tragedy
46	Goklany	Impacts of Climate Change: Perception and Reality
47	Constable	A Little Nudge with a Big Stick
48	Crockford	The State of the Polar Bear Report 2020
49	Alexander	Weather Extremes in 2020
50	Humlum	The State of the Climate 2020

Pour plus d'informations sur le Global Warming Policy Foundation, veuillez visiter notre site Web à www.thegwpf.org . Le GWPF est un organisme de bienfaisance enregistré sous le numéro 1131448.

