WIKIPÉDIA
L'encyclopédie libre

Réchauffement climatique

Le **réchauffement climatique**, ou **réchauffement planétaire**[N 1], est le phénomène d'augmentation des températures moyennes océaniques et atmosphériques, du fait d'émissions de gaz à effet de serre excessives. Ces émissions dépassent en effet la capacité d'absorption des océans et de la biosphère et augmentent l'effet de serre, lequel piège la chaleur à la surface terrestre. Le terme « réchauffement climatique » désigne plus communément le réchauffement mondial observé depuis le début du XXe siècle, tandis que l'expression « changement climatique » désigne plutôt les épisodes de réchauffement ou refroidissement d'origine naturelle qui se sont produits avant l'ère industrielle.

En 1988, l'ONU forme le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour synthétiser les études scientifiques sur le climat. Dans son quatrième rapport datant de 2007, auquel ont participé plus de 2 500 scientifiques de 130 pays, le GIEC affirme que le réchauffement climatique depuis 1950 est « *très probablement* » dû à l'augmentation des gaz à effet de serre d'origine anthropique (liés aux activités humaines). Les conclusions du GIEC ont été approuvées par plus de quarante sociétés scientifiques et académies des sciences, y compris l'ensemble des académies nationales des sciences des grands pays industrialisés. Le degré de certitude est passé à « *extrêmement probable* » dans le cinquième rapport de 2014.

Les dernières projections du GIEC sont que la température de surface du globe pourrait croître de 1,1 à 6,4 °C supplémentaires au cours du XXIe siècle. Les différences entre projections viennent des sensibilités différentes des modèles pour les concentrations de gaz à effet de serre et des différents scénarios d'émissions futures. La plupart des études ont choisi 2100 comme horizon, mais le réchauffement devrait se poursuivre au-delà car, même si toutes les émissions s'arrêtaient soudainement, les océans ayant déjà stocké beaucoup de chaleur, des puits de carbone sont à restaurer, et la durée de vie du dioxyde de carbone et des autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère est longue.

Des incertitudes subsistent sur l'ampleur et la géographie du réchauffement futur, du fait de la précision des modèles, de l'imprévisibilité du volcanisme, mais aussi des comportements étatiques et individuels (présents et futurs) variables. Les enjeux socioéconomiques, politiques, sanitaires, environnementaux, voire géopolitiques ou moraux, étant majeurs, ils suscitent des débats nombreux, à l'échelle internationale, ainsi que des controverses. Néanmoins, depuis 2000, un consensus émerge sur le fait que les effets du réchauffement se font déjà sentir de manière significative, qu'ils devraient s'accroître à moyen et long terme et qu'ils seraient irréversibles sauf actions concertées, locales aussi bien que planétaires.

Sommaire

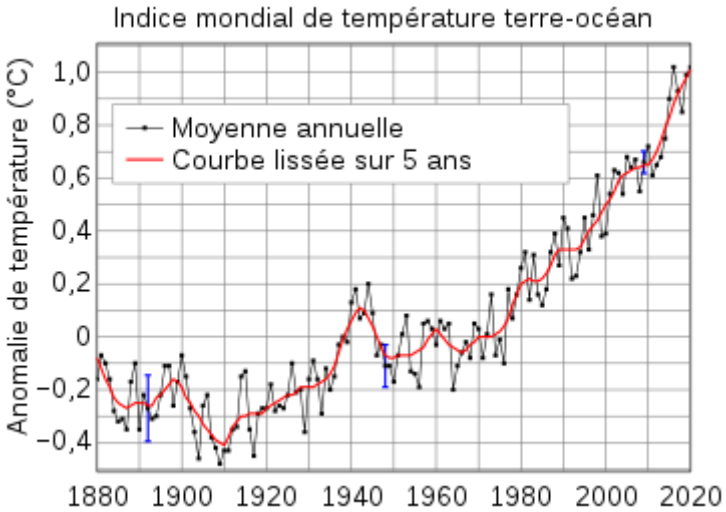
Élévation récente des températures atmosphériques moyennes

Observations liées au réchauffement climatique actuel

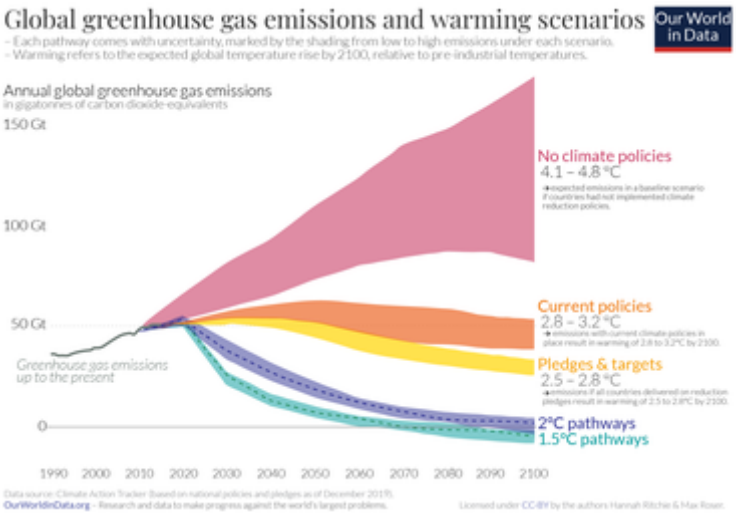
- Évolution des phénomènes atmosphériques
  - Précipitations
  - Inondations
  - Cyclones tropicaux
- Fonte des glaces
  - Fonte de la banquise
    - En Arctique
    - En Antarctique
  - Calottes polaires
  - Recul des glaciers de montagne
  - Dégel du pergélisol
- Évolution des océans
  - Réchauffement des océans et élévation du niveau de la mer
  - Acidification des océans
- Effets géophysiques et sismiques
- Effets sur la faune, la flore, la fonge et la biodiversité
  - Changements d'aires de répartition
  - Changements physiologiques des organismes
  - Extinctions d'espèces, disparition d'habitats
  - Effets écoépidémiologiques
  - Enjeux prospectifs et de gestion du patrimoine naturel
- Effets sur les pratiques agricoles

Perspectives : évolution passée des températures et conséquences

- Cycles climatiques
- Amplitudes des variations climatiques
- Temps historiques



Graphique des anomalies des températures globales moyennes de surface par rapport à la moyenne 1951-1980.



Scénarios potentiels des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Si tous les pays tiennent leurs engagements fixés dans l'accord de Paris sur le climat, le réchauffement moyen d'ici 2100 ira bien au-delà de l'objectif de l'accord de maintenir le réchauffement « bien en dessous de 2°C ».

Causes

- Hypothèse d'un effet de serre additionnel
- Cause la plus probable
  - Méthode scientifique : la modélisation
    - Hypothèses testées
    - Résultats
  - Consensus scientifique
- Autres causes mineures du réchauffement climatique

Projections

- Modèles climatiques
- Poursuite du réchauffement climatique

Conséquences environnementales prévues

- Montée des eaux
- Précipitations et foudre
- Dégradation de la qualité de l'air
- Circulation thermohaline
  - Arrêt de la circulation thermohaline
- Glaces et couverture neigeuse
- Verdissement
- Déclin de la biomasse océanique
- Conséquences brusques ou irréversibles, et prospectives
- Phénomènes à très long terme
- Rétroactions
- Conséquences du réchauffement climatique sur l'homme et la biosphère

Conséquences humaines du réchauffement climatique

- Impact sur les régions côtières
- Pêcheries
- Agriculture
- Forêt, sylviculture, agrosylviculture
  - Régions tropicales
  - Amérique du Nord
  - France
- Accès à l'océan Arctique
- Économie
- Emploi

Santé
Impact sur les femmes
Impact sur les droits humains
Violences accrues
Déstabilisation géopolitique mondiale
Risques accrus de guerres et autres conflits armés
Des conflits inter-étatiques
Interactions avec la crise de 2008-2009

Réponses face à la menace climatique
Protocole de Kyoto
Union européenne
Engagements conjoints des États-Unis et de la Chine en 2014
Accord de Paris sur le climat en 2015
Accord mondial pour l'élimination des hydrofluorocarbures en 2016

Déclarations reconnaissant l'urgence climatique
États-Unis
Lutte contre le réchauffement climatique aux États-Unis
Lutte contre le réchauffement climatique en Chine
Stratégies de lutte contre le réchauffement climatique
Nouveaux pays industrialisés contre États-Unis
Mesures individuelles de lutte contre le réchauffement climatique
Modification du mode de vie
Politiques de développement durable
Ministères
Mouvements religieux

Entreprises et réchauffement climatique
Responsabilité des entreprises
Réponses des entreprises

Perception par le grand public

Couverture médiatique du réchauffement climatique

Controverses sur le réchauffement climatique

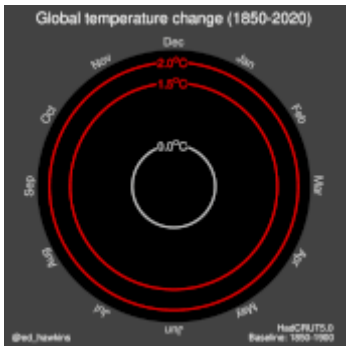
Le réchauffement climatique comme sujet de fiction

Voir aussi
- Bibliographie
- Filmographie
- Articles connexes
  - Notions générales
  - Événements liés au dérèglement climatique
- Liens externes
  - Institutions ou organisations internationales
  - Institutions ou organisations françaises
  - Groupes et associations
- Glossaire des acronymes anglophones de ce domaine

Notes et références
- Notes
- Références

Élévation récente des températures atmosphériques moyennes

Les mesures terrestres de température réalisées au cours du xxe siècle montrent une élévation de la température sur la majorité de la surface terrestre. L'élévation de cette température est constatée en mesurant en divers points du globe l'écart entre la température actuelle et une température prise comme référence (le plus souvent la température moyenne sur une période donnée au point considéré), puis en calculant la moyenne pondérée de ces écarts[2]. On observe alors que la moyenne de ces écarts a tendance à augmenter au cours des dernières décennies. Dans la suite de l'article, cette observation sera indiquée par la périphrase « augmentation de la température moyenne ».

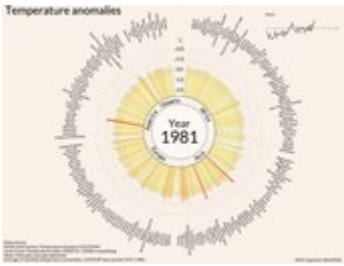


Une "spirale climatique" montrant les changements de température globale de 1850 à 2020.

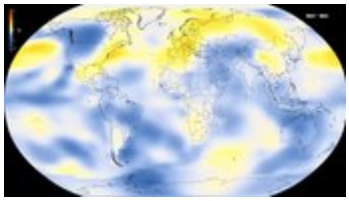
Ce réchauffement planétaire semble de plus corrélé avec une forte augmentation dans l'atmosphère de la concentration de plusieurs gaz à effet de serre, dont le dioxyde de carbone, le méthane et le protoxyde d'azote[3].

Les dix années les plus chaudes entre 1880 et 2017
Mesures des stations météorologiques au sol et à la surface des océans
(Écarts par rapport à la moyenne 1951–1980)

	Années	stations sol + océans[4] Écarts/moyenne	stations au sol seules[5] Écarts/moyenne
1	2016	+0,99 °C	+1,25 °C
2	2017	+0,90 °C	+1,13 °C
3	2015	+0,87 °C	+0,98 °C
4	2014	+0,73 °C	+0,88 °C
5	2010	+0,70 °C	+0,91 °C
6	2005	+0,67 °C	+0,87 °C
7	2007	+0,64 °C	+0,85 °C
8	2013	+0,64 °C	+0,81 °C
9	2009	+0,63 °C	+0,79 °C
10	1998	+0,62 °C	+0,83 °C



Lire le média
Écarts de température déclinés par pays 1900 - 2016 (en comparaison avec la température moyenne 1951-1980). Animation créée depuis les données GISTEMP.


Lire le média
Écarts de température entre 1888 et 2017 par rapport à la température moyenne de la période 1951-1980. En bleu, les températures plus froides, en rouge, plus chaudes que la moyenne de la période référence

Selon l'évaluation de 2013 du GIEC, l'élévation de la température moyenne à la surface du globe entre 1901 et 2012 est estimée à 0,9 °C[6] (avec une probabilité de 90 % pour que le réchauffement soit compris entre 0,69 °C et 1,08 °C). Par ailleurs, la première décennie du XXIe siècle a été la décennie la plus chaude depuis la mise en place des systèmes modernes de relevés de température[7] et chacune des trois dernières décennies (de 1980 à 2010) a été successivement plus chaude à la surface de la Terre que toutes les décennies précédentes depuis 1850[8].

Le réchauffement s'est globalement poursuivi sans discontinuer de 1980 à 2010, sur trente ans, intervalle de temps généralement considéré par les météorologues comme suffisant à titre de tendance sur le court terme[9].

Selon le *Goddard Institute for Space Studies* (GISS) de la NASA, 2015 a été l'année la plus chaude depuis le début des statistiques (1880) jusqu'en 2016, d'après les analyses convergentes des scientifiques de la NASA et de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), avec une certitude statistique à 94 % ; elle a dépassé de 0,13 °C le précédent record établi en 2014 ; 15 des 16 années les plus chaudes enregistrées sont postérieures à 2000, l'exception étant 1998. Depuis 1880, la température moyenne à la surface de la Terre s'est réchauffée de 1,0 °C. Le phénomène El Niño a contribué à ce réchauffement sur la majeure partie de l'année 2015[10].

L'OMM a estimé que 2017 détenait moins de records que 2016, mais serait probablement parmi les trois années les plus chaudes jamais enregistrées jusque-là (surtout dans le nord de la zone circumpolaire arctique et en Russie), et serait sans doute celle du record de chaleur pour une année sans *effet El Niño*[11]. Pour la première fois – et dans trois études différentes – des climatologues rapportent que la survenue de plusieurs des événements météorologiques récents auraient été simplement impossibles sans l'influence des émissions anthropiques[12,13,14,15].

Le quatrième rapport du GIEC estime comme « *très probable* » le fait que les températures moyennes dans

l'hémisphère nord aient été plus élevées pendant la seconde moitié du XXe siècle que durant n'importe quelle autre période de cinquante ans au cours des cinq derniers siècles, et « *probable* » le fait qu'elles aient été les plus élevées depuis 1 300 ans au moins[a 1].

Selon un rapport publié le 15 janvier 2020 par la NASA et l'Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique (NOAA), l'année 2019 a été la deuxième plus chaude depuis le début des analyses météorologiques en 1880, après l'année 2016 marquée par un phénomène *El Niño* très intense[16]. La température mondiale annuelle en 2019 a surpassé de 1,1 °C la moyenne enregistrée à l'époque préindustrielle, et la trajectoire actuelle mène vers une augmentation de la température de 3 à 5 degrés Celsius d'ici 2100[17].

Observations liées au réchauffement climatique actuel

De nombreuses observations dans le monde ont conduit à la conclusion de l'existence d'un réchauffement climatique planétaire provoqué par les activités humaines, dû aux rejets de gaz à effet de serre.

Le Global Humanitarian Forum, groupe de réflexion de Kofi Annan, estime dans la première étude sur l'impact sur l'humain du réchauffement climatique en 2009, à 300 000 morts par an le nombre de victimes liées au réchauffement climatique qui affecte déjà 300 millions de personnes dans le monde. Le chiffre pourrait monter à 500 000 morts par an en 2030, avec un coût de 600 milliards de dollars par an. Ces chiffres ont été revus par les dix plus grands experts sur le réchauffement climatique, lesquels admettent une marge d'incertitude, le nombre de morts pouvant être plus faible ou plus élevé[18].

En Europe, la dernière évaluation (2012, par l'AEE)[19,20] a conclu à l'imminence de nouveaux impacts négatifs, dont économiques ; comme prévu par la plupart des modèles, les températures moyennes ont augmenté en Europe, et les précipitations ont diminué au sud et augmenté au Nord. Les glaces arctiques et groenlandaises ont continué à régresser, de même que de nombreux glaciers européens (les glaciers alpins ont presque perdu deux tiers de leur masse de 1850 à 2010), alors que le permafrost s'est réchauffé et que le manteau neigeux tend à diminuer[19]. Les crises climatiques (pics et vagues de chaleur, inondations, sécheresses) sont de plus en plus coûteuses en Europe, et inégalement réparties (notamment car les activités humaines sont croissantes dans les zones à risque ; zones qui devraient s'agrandir avec le dérèglement climatique)[19]. Sans dispositifs d'adaptation, les coûts générés par des événements extrêmes attendus (plus intenses et plus fréquents) devraient régulièrement augmenter et aggraver certaines inégalités. Selon Jacqueline McGlade, directrice de l'AEE[21], tous les acteurs de l'économie, dont les ménages, doivent s'adapter et réduire leurs émissions.

En Europe, la décennie 2002-2011 a été la plus chaude depuis que l'on dispose de données météorologiques (températures moyennes du sol dépassant de 1,3 °C la moyenne « préindustrielle » et qui pourraient, après 2050, dépasser de 2,5 à 4 °C la moyenne des années 1961-1990).

Des dizaines de milliers de morts sont attribuées aux vagues de chaleur (plus fréquentes, plus longues)[19]. Le nombre de morts de froid en Europe devrait en revanche diminuer[19]. Les inondations devraient augmenter au nord et les sécheresses au sud. L'Arctique se réchauffe plus vite que les autres régions européennes, entraînant un doublement de la fonte de la calotte groenlandaise de 1990 à 2010 (250 milliards de tonnes de glace perdues/an de 2005 à 2009). La mer a monté en Europe d'environ 1,7 mm/an au cours du XXe siècle, avec une accélération (3 mm/an) au cours des dernières décennies, avec des variations isostatiques locales[19]. Des impacts sont attendus sur la flore (floraison plus précoce et/ou tardive, maladies des arbres), mais aussi sur la faune (zoonoses, changement d'aire de répartition). Les maladies (tiques, certains moustiques et phlébotomes) remontent plus au nord et en altitude. La saison pollinique est en 2012 plus longue d'environ dix jours qu'en 1960[19]. Le plancton se modifie et — hors milieux marins — la vitesse de migration/adaptation de beaucoup d'espèces est insuffisante par rapport à la rapidité des dérèglements bio-géoclimatiques, ce qui aggrave les risques de disparition. Les rendements agricoles devraient diminuer au sud et, peut-être, augmenter au nord[19]. Une stratégie d'adaptation européenne est en préparation pour mars 2013[22]. Un site internet Climate-ADAPT

offre de l'information et des conseils sur l'adaptation au changement climatique.

Selon Greenpeace, le réchauffement se traduit par un dérèglement climatique général déjà perceptible. Les événements météorologiques extrêmes sont de plus en plus fréquents, de plus en plus intenses : canicules, sécheresses, inondations dues à des crues exceptionnelles, tempêtes, etc[23].

En France, un observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC), créé en 2001, compile les observations[24].

Évolution des phénomènes atmosphériques

Précipitations

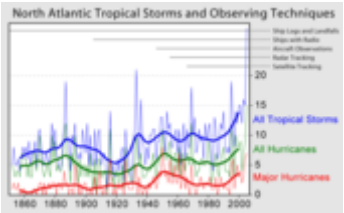
Selon le quatrième rapport du GIEC, la répartition des précipitations s'est modifiée au cours du xxe siècle. En particulier, les précipitations auraient fortement augmenté dans l'est de l'Amérique du Nord et du Sud, dans le nord de l'Europe et dans le nord et le centre de l'Asie, tandis qu'elles diminuaient au Sahel, en Méditerranée, en Afrique australe et dans une partie de l'Asie du Sud[a 1]. D'autres experts estiment toutefois les données actuelles trop rares et incomplètes pour qu'une tendance à la hausse ou à la baisse des précipitations puisse se dégager sur des zones de cette ampleur[25]. On observe également depuis 1988 une diminution notable de la couverture neigeuse printanière aux latitudes moyennes de l'hémisphère nord. Cette diminution est préoccupante car cette couverture neigeuse contribue à l'humidité des sols et aux ressources en eau[26].

Inondations

L'évolution de la fréquence et de l'amplitude des inondations est liée à celle des précipitations, mais aussi directement à l'augmentation de la teneur de l'air en CO_2. Les plantes à feuilles caduques réagissent à cette augmentation en réduisant le nombre de leurs stomates, ce qui en retour diminue leur transpiration donc leur absorption d'eau du sol (qui équilibre la transpiration), avec pour effet d'augmenter le ruissellement. Dans le bassin du Mississippi par exemple, où la température et les précipitations n'ont pas beaucoup varié, l'amplitude des inondations a augmenté en relation directe avec la transpiration végétale, qui a baissé de 29 % entre 1829 et 2015[27].

Cyclones tropicaux

Le consensus scientifique dans le rapport de 2007 du GIEC est que l'intensité des cyclones tropicaux devrait probablement augmenter (avec une probabilité supérieure à 66 %).



Évolution des tempêtes tropicales (en bleu), des ouragans (en vert) et des ouragans majeurs (catégorie 3) (en rouge), dans l'Atlantique Nord.

Une étude publiée en 2005, remise en question depuis par une seconde étude, indiquait une augmentation globale de l'intensité des cyclones entre 1970 et 2004, le nombre total de cyclones étant en diminution pendant la même période[28,29,30]. Le nombre de cyclone d'intensité 4 et 5 a presque doublé en nombre et en proportion entre 1970 et 2004[31]. Selon cette étude, il est possible que cette augmentation d'intensité soit liée au réchauffement climatique, mais la période d'observation était trop courte et le rôle des cyclones dans les flux atmosphériques et océaniques n'était pas suffisamment connu pour que cette relation puisse être établie avec certitude. La seconde étude publiée un an plus tard ne montrait pas d'augmentation significative de l'intensité des cyclones depuis 1986[32,33]. Ryan Maue, de l'université de Floride, dans un article intitulé *Northern Hemisphere tropical cyclone activity*, observait pour sa part une baisse marquée de l'activité cyclonique depuis 2006 dans

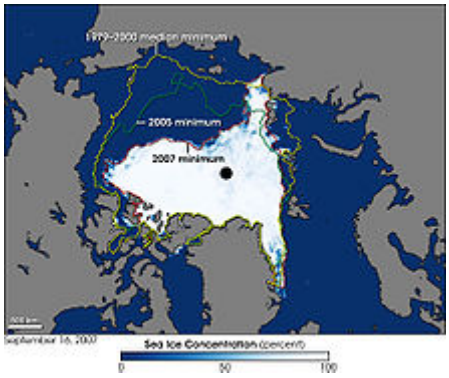
cyclone activity, observait pour sa part une baisse marquée de l'activité cyclonique depuis 2000 dans l'hémisphère nord par rapport aux trente dernières années[34]. Il ajoutait que la baisse était probablement plus marquée, les mesures datant de trente ans ne détectant pas les activités les plus faibles, ce que permettent les mesures d'aujourd'hui. Pour Maue, c'était possiblement un plus bas depuis cinquante ans que l'on observe en termes d'activité cyclonique.

Par ailleurs, les simulations informatiques ne permettent pas dans l'état actuel des connaissances de prévoir d'évolution significative du nombre de cyclones lié à un réchauffement climatique[d 1]. Toutefois, une simulation américaine de 2014[35] montre que le nombre et l'intensité des cyclones devraient croître à l'avenir dans les zones tropicales sur tous les océans du globe sauf dans le sud-ouest du Pacifique.

Fonte des glaces

Fonte de la banquise

Plusieurs études indiquent que les banquises se réduisent. La surface des glaces de mer en fin d'été a connu une décroissance très rapide, passant de 8,5 millions de km^2 pendant la période 1950-1975 à 5,5 millions de km^2 en 2010[36]. Le satellite spécialisé CryoSat-2 fut mis en orbite en avril 2010[37] après l'échec du premier satellite CryoSat en 2005. Il doit fournir des informations plus précises sur les quantités de glace polaire[38]. [Passage problématique]



2005 et 2007 ont connu des records de minimum de l'étendue de la banquise arctique. Dix ans plus tard (2017), le réchauffement de la mer de Bering et du Golfe de l'Alaska s'est aggravé, sans signe de récupération des glaces de mer[15].

En Arctique

Les observations satellitaires montrent que les banquises perdent le plus de superficie dans l'océan Arctique[39]. Par ailleurs, un amincissement de ces banquises, en particulier autour du pôle nord, a été observé[40,15].

L'âge moyen des glaces, sur la période 1988-2005, est passé de plus de six ans à moins de trois ans[41]. La réduction de l'étendue moyenne de la banquise arctique depuis 1978 est de l'ordre de 2,7 % par décennie (plus ou moins 0,6 %), son étendue minimale en fin d'été diminuant de 7,4 % par décennie (plus ou moins 2,4 %)[26].

Le réchauffement de l'Arctique est de l'ordre de 2,5 °C[42] (au lieu de 0,7 °C en moyenne sur la planète), et l'épaisseur moyenne des glaces a perdu 40 % de sa valeur entre les périodes 1958-1976 et 1993-1997[43].

Un ours polaire bondissant entre deux blocs de glace de la banquise fondante, sur l'île de Spitzberg, dans l'archipel norvégien de Svalbard.

2007 marque un minimum de la banquise en été[réf. nécessaire],[44]. Cette année-là, les observations satellitaires montrent une accélération de la fonte de la banquise arctique, avec une perte de 20 % de la surface de la banquise d'été en un an[45].

Les observations menées pendant l'expédition Tara, une initiative privée sous l'égide du programme européen Damoclès (de l'anglais *Developping Arctic Modelling and Observing Capabillities for Long-term Environmental Studies)*[46] de septembre 2006 à décembre 2007, indiquent que les modifications entamées dans l'océan Arctique sont profondes et irréversibles[47].

Une étude datant de 2010 montre une anti-corrélation et un basculement bipolaire entre les températures des pôles durant le XXe siècle : quand un pôle se réchauffe, l'autre se refroidit, et les phases de réchauffement/refroidissement se succèdent par cycles de quelques dizaines d'années[48]. Le lien entre les deux pôles serait l'océan Atlantique. Selon les auteurs, « l'accélération récente du réchauffement de l'Arctique résulte d'un renforcement positif de la tendance au réchauffement (due à l'accroissement des gaz à effet de serre et autres forçages possibles) par la phase de réchauffement due à la variabilité climatique multidécennale (due aux fluctuations de la circulation de l'océan Atlantique) ».

La disparition de la banquise en été diminue l'albédo de l'Arctique, renforçant le réchauffement de l'Océan Arctique pendant cette saison. Une partie de la chaleur accumulée est transmise à l'atmosphère pendant l'hiver, modifiant la circulation des vents polaires. Ces changements entraîneraient des incursions d'air arctique aux latitudes moyennes expliquant les épisodes hivernaux rudes ayant touché les États-Unis ou l'Europe pendant les hivers 2010 à 2012. Cependant, les statistiques sur ces phénomènes récents sont encore trop peu nombreuses pour tirer une conclusion définitive[49,50].

Dans le *Guardian*, du 17 septembre 2012, Peter Wadhams, directeur du département de physique de l'océan polaire à l'université de Cambridge, en Angleterre, affirmait que la banquise arctique pourrait avoir totalement disparu en été d'ici 2016[51]. Les observations de 2016-2017 confirment que l'Arctique est la zone qui se réchauffe le plus dans le monde, pour des raisons maintenant manifestement anthropiques[15].

En 2017, la température terrestre dans l'Arctique a surpassé de 1,6 °C la moyenne de la période 1981-2010, sans atteindre toutefois le niveau de 2016. L'étendue maximale de la glace dans l'Océan Arctique, au début du mois de mars, a été la plus faible depuis le début des observations satellitaires en 1980. Son étendue minimale, en septembre, était inférieure de 25 % à la moyenne de la période de référence[52].

En 2019, les données scientifiques disponibles montrent que tous les records de fonte ont été battus au Groenland[53], avec 530 milliards de tonnes de glace perdues en mer[54] (le record précédent était d'environ 460 milliards de tonne, en 2012). La perte de glace en 2019 atteint presque le double de la moyenne annuelle pour le Groenland de 2003 à 2019 et les spécialistes font remarquer que « près de la moitié de la fonte de 2019 a eu lieu en un seul mois, en juillet, lors d'une vague de chaleur sans précédent »[55] (masse d'air chaud venue d'Europe du Nord)[56]. Début septembre 2020, selon la revue *Science*, 2020 semble avoir été moins chaud dans cette région du monde[54].

En Antarctique

En Antarctique, les photos satellitaires civiles disponibles (depuis 1979) ne montraient pas, en 2006, de diminution totale de surface[réf. nécessaire], contrairement à la banquise Arctique[57]. Cependant (notamment grâce à des véhicules et robots sous-marins[58]), on observe de vastes zones d'amincissement et un certain nombre de phénomènes exceptionnels. Ainsi, 3 500 km^2 de la banquise Larsen B, (l'équivalent en surface des deux tiers d'un département français), se sont fragmentés en mars 2002, les premières crevasses étant apparues en 1987, et 5 800 km^2 de la banquise Larsen C se sont détachés du continent en juillet 2017[59]. Cette banquise contribue à maintenir en place les glaces continentales, et sa dislocation peut induire une augmentation du flux de ces glaces vers la mer. En 2016, deux études montrent que l'Antarctique perd en réalité de la glace depuis plus longtemps qu'on ne le pensait, grâce notamment à des images satellitaires récemment déclassifiées (faites par des satellite-espions nord-américains)[60].

Cette banquise était considérée comme stable depuis 10 000 ans[61].

Au mois d'avril 2009, la plaque Wilkins, dont la superficie était naguère de 16 000 km^2, s'est également détachée[62]. D'une manière générale, la superficie de la banquise entourant le continent antarctique augmente

de manière régulière depuis trente ans[63,64].

Les scientifiques se sont interrogés sur les raisons de l'apparente extension de ces glaces antarctiques. Parmi les explications proposées, selon une étude néerlandaise, la fonte des glaces qui recouvrent le continent pourrait être à l'origine de cette extension[65]. En effet, l'eau de fonte provoquerait un refroidissement de la mer en surface, ce qui favoriserait la formation de glace de mer.

En 2013, le GIEC estimait prudemment que la fonte de l'Antarctique (70 % des réserves d'eau douce disponible planétaire) serait modérée (contrairement à celle de l'arctique) et ne contribuerait que pour quelques centimètres à l'élévation du niveau de la mer en 2100[66].

En 2014, une étude de la NASA et de l'Université de Californie à Irvine publiée en mai 2014 dans les revues Science et *Geophysical Research Letters* conclut qu'une partie de l'Inlandsis Ouest-Antarctique, fondant rapidement, semble être dans un état de déclin irréversible, rien ne pouvant stopper les glaciers ; quarante ans d'observation du comportement des six plus grands glaciers de cette région de la mer d'Amundsen dans l'Antarctique occidental (Pine Island, Thwaites, Haynes, Smith, Pope et Kohler) indiquent que ces glaciers « ont passé le point de non-retour » ; ils contribuent déjà de façon significative à l'élévation du niveau de la mer, relâchant annuellement presque autant de glace dans l'océan que l'inlandsis du Groenland entier ; ils contiennent assez de glace pour élever le niveau général des océans de 4 pieds (1,2 mètre) et fondent plus vite qu'attendu par la plupart des scientifiques ; pour l'auteur principal (Eric Rignot), ces découvertes impliquent une révision à la hausse des prévisions actuelles d'élévation du niveau de la mer[67].

La paléoclimatologie cherche à mieux comprendre ce qui s'est passé lors des déglaciations précédentes, notamment après le dernier maximum glaciaire (survenu il y a −26 000 à −19 000 ans[68]). On sait que le pôle nord a irrégulièrement perdu ou gagné d'importantes quantités de glace, mais jusque vers 2010 peu d'information était disponible pour le pôle sud. Ce que l'on connaissait de la réaction de la calotte antarctique face au dernier réchauffement postglaciaire était essentiellement basé sur des chrono-séquences issues d'analyses isotopiques. Ces analyses provenaient d'une part de quelques carottes de glace et d'autre part de carottages de sédiments marins[69], temporellement assez peu précises et géographiquement limitées à quelques zones terrestres, ou bien marines et peu profondes[70,71].

Depuis peu l'étude de dépôts marins de couches de débris massivement transportés par les icebergs (dits « *BIRD* » pour *iceberg-rafted debris*) a permis de reconstituer la dynamique de fonte de l'Antarctique dans les millénaires précédents et de la comparer avec des données similaires déjà disponibles et utilisées pour l'Atlantique Nord[72]. En 2014, huit événements étaient documentés de flux accru d'export d'icebergs à partir de diverses parties de la calotte antarctique entre 20 000 ans avant nos jours et 9 000 ans. Ceci corrige les scénarios précédents selon lesquels le principal retrait glaciaire aurait été lancé par une fonte des glaces[70,73,74,75] continue jusqu'à la fin de l'Holocène.

Le flux de grands icebergs largués par la banquise antarctique a été maximal il y a environ 14 600 ans, c'est la première preuve directe d'une contribution de l'Antarctique à une brutale montée du niveau océanique. Selon Weber & al (2014), les modèles de simulations climatiques intégrant ce type de forçage font envisager des rétroactions positives, et suggèrent que de petites perturbations de la calotte glaciaire pourraient contribuer à un mécanisme possible d'élévation rapide du niveau de la mer[76].

De 2015 à 2016, plusieurs nouvelles études confirment qu'une région considérée comme stable depuis au moins 10 000 ans fond[77], qu'une stabilité apparente des étendues gelées a caché des pertes d'épaisseur de glace[78] ; travaux qui éclairent le sujet d'une manière nouvelle et invitent à conclure qu'en intégrant mieux l'atmosphère et les courants océaniques dans les modèles, la stabilité de la calotte antarctique serait moindre qu'on ne le pensait[79].

Dans Nature d'octobre 2015 Nick Golledge, modélisateur spécialiste des inlandsis[80] et ses collègues suggèrent qu'un réchauffement de plus de 1,5 à 2 °C en 2100 pourrait, via la fonte de glace antarctique, faire monter la

mer 39 cm de plus avant 2100, et 3 mètres en 2300... avec des effets qui se mesureront en siècles ou millénaires[81].

Une autre étude (dans Nature, en décembre 2015) suggérait un apport équivalent à +30 cm en 2100 pour le niveau marin moyen, en raison de la fonte de la banquise, mais les auteurs reconnaissaient n'avoir pas pris en compte les phénomènes complexes de fusion de surface et d'effondrement des falaises de glace qui - estiment-ils - pourraient aggraver la perte de glace.

Enfin mars 2016, Pollard & DeConto[82] cherchent à prendre en compte ces phénomènes. Ils concluent qu'à cause d'eux, si le seuil des 2 °C est dépassé, alors la situation sera bien plus grave que précédemment estimée par le GIEC[66] avec une fonte inéluctable de la calotte Antarctique, qui élèvera la mer de plus d'un mètre d'ici 2100 et de plus de 15 mètres en 2500[82] ; ce qui « recartographiera » littéralement les pays et les terres émergées[79].

Leur nouveau modèle climatique intègre la perte de glace induite par le réchauffement des courants océaniques (qui peuvent ronger la glace par-dessous pendant que l'atmosphère l'affine par-dessus)[82]. Il tient mieux compte du fait que les lacs et étangs d'eau de fonte de surface tendent à s'infiltrer dans la couche de glace (en la réchauffant) et en y creusant des canaux, en élargissant des failles, ce qui peut entretenir une réaction en chaîne aboutissant au délitement de morceaux du plateau de glace et à des effondrements accélérés de falaises de glace. Ce modèle se montre rétrospectivement capable de mieux expliquer qu'on ne l'a fait jusqu'ici plusieurs périodes géologiques clés qui ont longtemps intrigué les scientifiques. Ainsi, avant le début de la dernière glaciation il y a environ 130 000 - 115 000 ans, la mer était plus haute de 6 à 9 mètres qu'aujourd'hui avec pourtant un taux de CO_2 environ 30 % plus bas. Et il y a 3 millions d'années, avec un taux de CO_2 comparable au nôtre, l'océan a été 10 à 30 mètres plus haut[79]. Ce modèle a été testé et calé sur la base des données décrivant le passé afin de le rendre plus prédictif de l'élévation future du niveau marin[79]. Nick Golledge estime que l'évaluation nouvelle (de 2016) est crédible même si la méthode de calcul est selon lui encore un peu spéculative étant donné la complexité des phénomènes en jeu.

Une étude publiée le 22 janvier 2019 dans les PNAS[83] conclut que la fonte des glaces en Antarctique s'accélère rapidement : le rythme de cette fonte a été sextuplé en 40 ans (252 milliards de tonnes par an entre 2009 et 2017 contre 40 milliards de tonnes par an entre 1979 et 1990), et qu'elle est responsable d'une montée de 1,4 centimètre du niveau des océans de la planète entre 1979 et 2017[84].

Calottes polaires

Le bilan de masse des calottes polaires de l'Antarctique et du Groenland est négatif depuis l'an 2000 environ, même si certaines régions de l'Antarctique s'épaississent par suite de précipitations neigeuses accrues. La perte de masse s'effectue dans les zones côtières en raison de l'écoulement rapide de certains glaciers vers l'océan[36].

Le Groenland a vu ses glaciers se réduire de 230 à 80 milliards de tonnes par an de 2003 à 2005, ce qui contribuerait à 10 % des 3 mm actuels d'élévation annuelle du niveau des mers[85]. Le glacier groenlandais Jakobshavn Isbræ est l'un de ceux qui avancent le plus vite vers la mer (15 kilomètres par an) et est, en 2019, l'un des plus gros contributeurs à l'élévation du niveau de la mer par fonte de glace. En Antarctique, le glacier Thwaites est particulièrement étudié, car, s'il subissait une évolution comparable à celle du Jakobshavn, le niveau de la mer pourrait s'élever de trois mètres en un siècle[86]. Entre 2006 et 2015, le GIEC estime que la fonte des calottes polaires et des glaciers a contribué pour plus de la moitié à l'élévation du niveau de la mer, le reste étant dû à la dilatation thermique des océans[87].

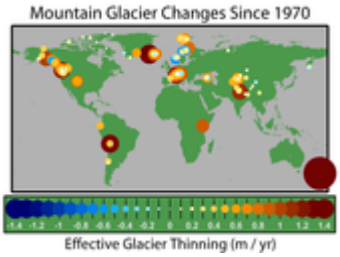
En juillet 2015, une équipe internationale de 17 climatologues, venant des États-Unis, de France, d'Allemagne et de Chine et dirigée par James Hansen, a publié une étude qui conclut au caractère hautement dangereux (« *highly dangerous* ») du changement climatique même limité à 2 °C[réf. nécessaire]. Cette étude reste encore sous la forme d'un *discussion paper*, un article soumis à la discussion des spécialistes, dans *Atmospheric, Chemistry and Physics*, une revue en accès libre de l'Union européenne des géosciences. Cette équipe

souligne que le coût économique et social de la perte de fonctionnalités des cités côtières est incalculable en pratique.

Or, le rapport du groupe 1 du GIEC, publié en septembre 2013, ne le mentionne pas, en fixant à 0,8 mètre au maximum l'élévation du niveau marin d'ici la fin du siècle[pas clair]. Cependant, ce chiffre ne tient pas compte d'une possible déstabilisation des calottes, les experts ayant considéré que ce sujet n'était pas assez mûr. L'étude scientifique s'appuie sur des observations du climat d'il y a 130 000 ans, lors de l'interglaciaire qui a précédé le nôtre, baptisé Éémien, période d'environ 15 000 ans qui affiche des températures moyennes d'environ 2 °C de plus que celles d'avant la révolution industrielle. Certes, la cause de ce réchauffement se situait dans une configuration orbitale dont les effets étaient amplifiés par les rétroactions climatiques de la planète, et non dans un effet de serre renforcé par les émissions dues à l'énergie fossile comme aujourd'hui[réf. nécessaire]. Mais la fin de cet interglaciaire semble paradoxale, alors que la cause initiale du réchauffement n'opérait plus, la mécanique céleste réchauffant plus l'hémisphère Nord durant l'été boréal : c'est à ce moment que le niveau marin s'élève d'environ six mètres au-dessus du niveau actuel d'après l'analyse de coraux australiens ; la seule explication possible est une perte de glace importante et rapide des deux calottes polaires, probablement liée à une modification brutale des circulations océaniques.

Les chercheurs ont donc exploré des scénarios d'effondrement des calottes : lorsqu'ils supposent la fonte accélérée du Groenland, l'Atlantique nord et l'Europe sont plus froids qu'aujourd'hui vers 2100. Si les deux calottes sont déstabilisées simultanément, une Terre de contrastes extrêmes apparaît, avec des latitudes élevées et moyennes plus froides qu'aujourd'hui, tandis que les régions tropicales seraient plus chaudes, configuration dramatique, en particulier pour l'agriculture. Les chercheurs reconnaissent ne pas avoir de preuves, mais insistent sur la nécessité d'étudier un tel scénario[88].

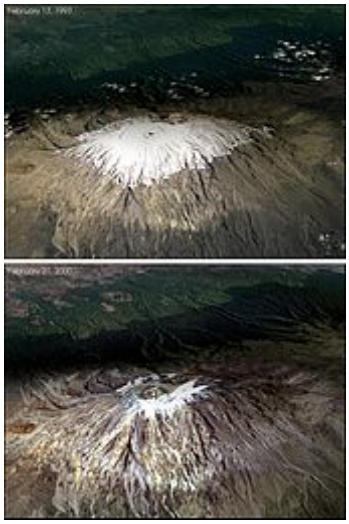
Recul des glaciers de montagne



Une carte du changement dans l'épaisseur de glaciers de montagne depuis 1970. Diminution en orange et rouge, épaississement en bleu.

À quelques exceptions près[N 2], la plupart des glaciers montagnards étudiés sont en phase de recul. Le recul des glaciers continentaux est observé de façon quasi généralisée depuis les années 1970 à 1980, avec une nette augmentation depuis les années 1990[36].

De nombreux travaux[N 3] documentent ce recul et cherchent à l'expliquer. Un tel recul semble tout à fait cohérent avec un réchauffement du climat, cependant cette hypothèse n'est pas certaine, certains glaciers ayant commencé à reculer au milieu du XIXe siècle[b 1], après la fin du petit âge glaciaire. L'avancée ou le recul des glaciers sont récurrents et liés à de nombreux facteurs, parmi lesquels les précipitations ou le phénomène El Niño jouent un rôle important. Par exemple le recul actuel de la mer de Glace à Chamonix découvre des vestiges humains du Moyen Âge[90], preuve que le glacier a déjà reculé davantage que de nos jours à une période historiquement proche.


Changement de l'accumulation des neiges au sommet du Kilimandjaro : première photo prise le 17 février 1993, seconde le 21 février 2000. Le Kilimandjaro a perdu 82 % de son glacier durant le XXe siècle et celui-ci pourrait avoir disparu en 2020, selon un article paru dans la revue *Science* en 2002[89].

Le recul des glaciers de montagne, notamment à l'ouest de l'Amérique du Nord, en Asie, dans les Alpes, en Indonésie, en Afrique (dont le Kilimandjaro), et dans des régions tropicales et subtropicales d'Amérique du Sud, a été utilisé comme preuve qualitative de l'élévation des températures globales depuis la fin du XIXe siècle par le GIEC dans son rapport de 2001[91,92].

Les causes du recul du glacier du Kilimandjaro en Afrique sont débattues et sont un bon exemple de la complexité du réchauffement climatique et de la circonspection nécessaire dans l'analyse des données. Pour certains climatologues, ce recul est dû à une diminution des chutes de neige depuis le XIXe siècle[93]. Pour d'autres, le réchauffement climatique est en cause, du fait que les glaciers tropicaux sont en phase de régression partout sur la planète et que les glaces du Kilimandjaro ont résisté à une longue sécheresse il y a 4 000 ans[94].

En ce qui concerne les glaciers himalayens, une étude de 2006 observe qu'une augmentation du ruissellement saisonnier des glaciers de l'Himalaya a entraîné une augmentation de la production agricole en Inde du nord au cours du XXe siècle[95], mais des données fiables n'existaient en 2007 que pour 50 glaciers indiens, sur plus de 9 500[96].

Selon un rapport de 2009 du ministère Indien de l'environnement, les glaciers de l'Himalaya qui constituent les sources des plus grandes rivières d'Asie — Gange, Indus, Brahmapoutre, Yangtze, Mékong, Salween et fleuve Jaune — sont en recul. Cependant ce rapport restait prudent dans ces conclusions[97]. Dans les Andes, le glacier du Chacaltaya, qui abritait la plus haute station de ski, a totalement disparu en 2009.

En 2016, deux glaciers de la région d'Aru au Tibet se sont brutalement effondrés, le seul cas documenté analogue connu étant l'effondrement du glacier de Kolka, dans le Caucase en 2002[98]. Un événement analogue a eu lieu en Inde en 2021[99].

En 2019, une étude envisage la disparition de 30 à 60% des glaciers himalayens d'ici la fin du siècle[100,101].

D'une façon générale, les glaciers andins tropicaux ont diminué de 30 à 50 % en 30 ans[102]. Du fait de cette diminution, l'alimentation en eau de La Paz, capitale de la Bolivie pourrait devenir problématique[103].

Le glacier islandais Okjökull a totalement disparu en 2019, alors qu'il couvrait une superficie de 16 km^2 à la fin du XIXe[104].

Dégel du pergélisol

On observe un réchauffement et un dégel partiel du pergélisol arctique. Entre un tiers et la moitié du pergélisol de l'Alaska n'est plus qu'à un degré de la température de dégel. En Sibérie, des lacs issus du dégel du pergélisol se forment, provoquant des dégagements importants de méthane de l'ordre de 14 à 35 millions de tonnes par an sur l'ensemble des lacs arctiques. L'analyse au carbone 14 de ce méthane prouve que celui-ci était gelé depuis des milliers d'années[105].

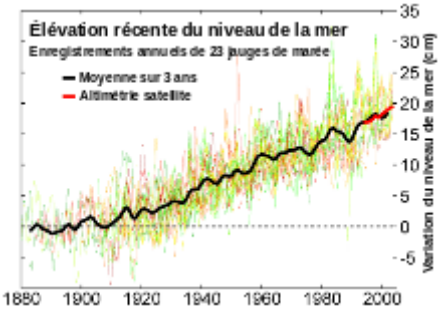
Évolution des océans

Réchauffement des océans et élévation du niveau de la mer

On observe un réchauffement des océans, qui diminue avec la profondeur. L'élévation de température depuis 1960 est estimée à 0,6 °C pour les eaux de surface, et à 0,04 °C pour l'océan dans son ensemble[106].

On estime que les océans ont absorbé à ce jour plus de 90 % de la chaleur ajoutée au système climatique entre 1971 et 2010, contre environ 1 % dans l'atmosphère[107,26,106,108]. Sur la période 1993-2018, ce réchauffement contribue pour 42 % à une montée du niveau de la mer par dilatation thermique des océans, 21 % de cette montée étant due à la fonte des glaciers, 15 % à la fonte de l'inlandsis du Groenland et 8 % à la fonte de l'inlandsis de l'Antarctique[109]. Les données proviennent des marégraphes mis en place depuis le milieu du XIXe siècle, secondés à partir des années 1990 par des satellites altimétriques[110]. Leur analyse

suggère que le niveau de la mer s'est élevé au cours du xxe siècle de quelques dizaines de centimètres, et qu'il continue à s'élever régulièrement. On estime que le niveau de la mer s'est élevé de 1,8 mm/an entre 1961 et 2003[a 2,111] et de 3,4 mm/an depuis 1993[106,36]. Cette élévation du niveau de la mer peut aussi être observée indirectement par ses conséquences sur l'environnement, comme c'est le cas au Nouveau-Brunswick[112].



Élévation du niveau de la mer durant les xixe et xxe siècles.

Dans le cadre du *système ARGO*, 3 000 balises automatiques sont réparties dans tous les océans et permettent de suivre la température et la salinité des océans jusqu'à 2 000 mètres de profondeur. En Atlantique Nord, des chercheurs de l'Ifremer de Brest ont confirmé les tendances au réchauffement dans les couches de surface[113].

La courbe de la quantité de chaleur estimée dans les océans est mise à jour régulièrement par l'organisme américain de météorologie NOAA[114].

L'élévation de température est également détectable dans les fleuves et les lacs. Ainsi, entre 1977 et 2006, la température moyenne annuelle du Rhône a augmenté de 1,5 °C, et les températures moyennes estivales de la Loire de 1,5 °C à 2 °C. Les eaux profondes du lac Léman se sont réchauffées de 1 °C en quarante ans[115].

Acidification des océans

Le taux d'acidité des océans a augmenté de 26 % en raison de la forte hausse des émissions de dioxyde de carbone. Les eaux des océans en absorbent près du tiers des quantités relâchées dans l'atmosphère en s'acidifiant ; cette acidité contribue à la chute de la biodiversité[116].

Effets géophysiques et sismiques

La fonte rapide d'une partie de la cryosphère (glaciers de haute-montagne, mais surtout calotte glaciaire) a des effets géophysiques ; la fonte de tout masse importante de glace s'accompagne de déplacements de la gravité[117] et par suite d'une déformation de la Terre considérée comme viscoélastique[118] (mesurable par les mesures GPS, inclinométriques (aussi utilisée pour mesurer des déformations du sol induites par l'eau de barrages ou d'aquifères[119]) et gravimétriques près des zones affectées[120,117]. L'ampleur de ces effets est plus marquée dans les régions polaires et sub-polaires[121].

Dans la suite du rebond post-glaciaire, qu'elle pourrait exacerber, cette fonte induit une nouvelle répartition des masses d'eau (volumes de glaces peu mobiles transformés en masse d'eau liquide et très mobile contribuant à une rapide redistribution spatio-temporelle de masse) que l'on commence à pouvoir mieux mesurer[122] et qui pourrait modifier la forme du géoïde[123,124]. Les Océans s'alourdissent alors que des mers intérieurs se vident par évaporation (Mer Caspienne par exemple qui a perdu 1,5 mètre en 20 ans[125].

D'après les données[126] collectées par le satellite européen GOCE *(Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer)*[127], de 2009 à 2012 et par son prédécesseur Grace[128,129,130] (moins précis), la fonte d'une partie des glaces de l'Antarctique occidental a significativement modifié le champ de gravité[131] d'une région où depuis 2009, la perte annuelle de glace a été multipliée par trois (de 2011 et 2014, le volume global de la calotte glaciaire australe a diminué en moyenne de quelque 125 km3 par an, ce que confirme le radioaltimètre du satellite CryoSat.

Par des jeux de rééquilibrages ou « ajustements isostatiques glaciaires » (ou GIA pour « glacial-isostatic adjustment »)[129,132,133], certaines failles et systèmes volcaniques pourraient être réactivés (des corrélations entre fonte massive de calottes et évènements sismiques ont été évoquées puis confirmées en 2009 pour des

entre fonte massive de calottes et événements sismiques ont été évoquées puis confirmées en 2009 pour des

périodes géologiques récentes ; entre 12 000 et 7 000 ans où le volcanisme semble avoir été six fois plus intense, et en Islande plus de trente fois ce qu'il est de nos jours). En plus de l'allègement des pôles, il faut aussi tenir compte du poids supplémentaire de l'océan mondial lié à la montée des océans[134].

Enfin, le dégel déstabilisateur du pergélisol (dit aussi « permafrost »)[135,136,137] de montagne et de l'eau qui cimente certains massifs rocheux d'altitude (Alpes par exemple[138,139,140]) se traduisent par des déplacements de masses et des effondrements de blocs de montagnes[141] (150 écroulements recensés en 2015 dans le massif du Mont-Blanc ; essentiellement « entre 3 100 et 3 500 mètres d'altitude »), sources de matériaux supplémentaires qui seront charriés par les torrents. Les écroulements surviennent en hiver après que la chaleur de l'été ait pénétré l'intérieur des montagnes et quand le froid revient selon Ludovic Ravanel[142].

Effets sur la faune, la flore, la fonge et la biodiversité

Changements d'aires de répartition

En mer, de nombreuses espèces de poissons remontent vers les pôles[143,144]. Sur Terre, on observe aussi une modification de l'aire de répartition de différentes espèces animales et végétales[143]. Cette modification est complexe et hétérogène.

Dans certains cas, les espèces et écosystèmes reculent face à la désertification ou à la salinisation. Certaines limites d'aire de répartition montent ainsi plus haut en altitude, en particulier quand l'aire de l'espèce se déplace vers le nord (ou le sud dans l'hémisphère sud), ce qui ne doit pas cacher le fait qu'en réalité, localement au moins, l'optimum pour une espèce a pu fortement descendre en altitude (là où les milieux sont plus humides, par exemple à la suite d'une fonte accrue des glaciers). Par exemple en Californie, pour 64 espèces végétales dont l'aire de répartition a été suivie de 1930 à 2010, la zone d'*optimum climatique* de ces plantes a diminué de 80 mètres d'altitude en moyenne[145]. Un suivi effectué dans treize États européens montre que les plantes de montagne « grimpent » en altitude, mais sont alors confrontées à une concurrence accrue[146]. Certains forestiers pensaient que le réchauffement doperait la croissance des arbres d'Alaska, mais en réalité elle diminue, sans doute à cause du stress des sècheresses estivales[147]. En 2012, une étude comparant l'étagement de la végétation le long du volcan Chimborazo en Équateur et celui recensé deux cents ans plus tôt par une expédition de Alexander von Humboldt et Aimé Bonpland a constaté que la végétation avait monté en altitude de 250 à 500 mètres[148].

Les effets locaux du réchauffement climatique peuvent paradoxalement se traduire par des refroidissements, comme les courants froids résultant de la fonte accélérée de la calotte glaciaire. Ainsi, au début de février 2011, 1 600 tortues vertes (espèce en danger) engourdies par une eau inhabituellement froide se sont échouées sur et autour de South Padre Island (Texas)[149]. Elles sont alors plus vulnérables aux collisions avec les bateaux, à leurs prédateurs et aux échouages[149]. Le phénomène, qui se produit régulièrement, atteint dans les années 2010 des proportions jamais vues depuis 1980, première année de décompte (plus de 4 600 tortues échouées en Floride en janvier 2010, 3 500 en 2018 au Texas[150]), et peut menacer jusqu'au tiers de la population locale de l'espèce[151].

Ceci vaut aussi pour la faune terrestre. Par exemple, l'aire de répartition de la chenille processionnaire du pin est en phase d'expansion, pour atteindre Orléans en 1992 et Fontainebleau en 2005. La colonisation de l'espèce pourrait atteindre Paris en 2025. Selon l'INRA, cette expansion est emblématique de la propagation des bioagresseurs des espèces forestières grâce au réchauffement climatique[152].

Le Muséum national d'histoire naturelle a mis en place depuis plusieurs années des systèmes de suivi des espèces. Le suivi temporel des oiseaux communs (STOC)[153] montre par exemple qu'en vingt ans, les

communautés d'oiseaux en France se sont globalement déplacées de 100 km vers le nord[154]. On a constaté, en 2019, qu'environ 40 000 cigognes passaient l'hiver en Espagne, alors que toutes les cigognes migraient en

Afrique il y a 40 ans. Celles qui migrent, généralement les plus jeunes, ont retardé leur date de migration de 20 jours en 20 ans. Par ailleurs, des espèces d'oiseaux nord-africaines nichent désormais en Espagne, comme le martinet cafre, la buse féroce ou la tourterelle mailléee[155].

Changements physiologiques des organismes

Chez de nombreuses espèces, l'insularisation écologique augmente lors des glaciations (phénomène des refuges glaciaires), mais aussi en cas de réchauffement sur les littoraux, à cause de la montée des océans[156], des modifications des précipitations ou de la saisonnalité[157]. Par ailleurs, le réchauffement de l'aire de répartition d'une espèce animale peut conduire à une diminution de la taille de l'organisme[158] (on parle alors de « nanisme adaptatif »)[159].

Selon le paléontologue Philip Gingerich et ses collègues, si la tendance au réchauffement devait se poursuivre sur le long terme, une diminution de taille, voire un véritable nanisme de certains animaux sauvages (mammifères tels que primates, chevaux et cervidés notamment) pourraient réapparaitre en adaptation aux climats chauds. Un tel phénomène a déjà eu lieu lors du maximum thermique du passage Paléocène-Eocène (ou PETM, pour Paleocene-Eocene Thermal Maximum) survenu il y a environ 56 millions d'années et ayant duré environ 160 000 ans avec une hausse des températures mondiales atteignant −12,8 °C à −10 °C à son apogée. De même, lors d'un autre réchauffement global de moindre ampleur (+−15 °C au maximum) et moins long (80 000 à 100 000 ans), l'ETM2 (*Eocene Thermal Maximum 2*), survenu environ 2 millions d'années après le PETM (soit il y a 53 millions d'années). Lors de ces deux réchauffements globaux, la taille des ancêtres de nos chevaux (*Hyracotherium* avait alors la taille d'un chien) avait respectivement diminué de 30 et 19 % lors du PETM puis de l'ETM2[160].

Ce phénomène concerne aussi la faune du sol[161] et ceux vivant dans l'eau[162] où l'augmentation de la température entraine une chute du taux d'oxygène, une augmentation du CO_2 et une acidification (qui modifie la biodisponibilité du fer pour le phytoplancton marin[163], et augmente partout celle de nombreux métaux toxiques). La sécheresse ou l'augmentation du métabolisme des ectothermes semble défavoriser les grands individus par rapport aux petits, et une majorité des organismes évolués semble s'adapter avec une croissance moindre, par un effet de rétrécissement en cascade (des producteurs primaires aux consommateurs) à la suite de la baisse des ressources alimentaires de la chaîne alimentaire.

Par ailleurs, le réchauffement climatique affecte la survie des espèces d'une grande variété de façon. Les ours polaires, par exemple, sont menacés en raison de la plus grande présence de trous dans la banquise, permettant aux phoques de respirer hors d'atteinte de ce prédateur[164]. Le polyphénisme de couleur affectant un grand nombre d'espèces arctiques, tel que le renard polaire qui devient blanc en hiver, est très souvent dépendant de la durée du jour, induisant ainsi des hiatus de plus en plus fréquent (un pelage blanc alors qu'il n'y a pas encore de neige)[165].

Extinctions d'espèces, disparition d'habitats

Selon les scénarios et méthodologies retenues, les études publiées entre les années 1990 et 2015 concluaient à des résultats variés : certaines concluant à des changements minimes et d'autres à la disparition de jusqu'à 54 % des espèces en raison du changement climatique[166].

En 2015, une méta-analyse a porté sur 131 études, ayant toutes porté sur le risque de disparition de plus d'une espèce en raison des modifications du climat. Cette méta-analyse a conclu à la probabilité que « jusqu'à un sixième des espèces sur la Terre pourraient disparaître si le changement climatique reste sur sa trajectoire actuelle » (des années 2010-2015). Mais localement, dans les territoires en situation plus critique, les taux d'extinction pourront être plus élevés[166].

d'extinction pourront être plus élevés[166].

Les facteurs d'extinction sont par exemple une lenteur naturelle de dispersion, ou l'existence d'obstacles aux migrations vers des zones plus clémentes. Ces obstacles sont par exemple les chaînes de montagnes, la déforestation, l'agriculture intensive ou le développement urbain. Dans d'autres cas, l'habitat disparaîtra entièrement, ou l'aire vitale deviendra trop petite pour assurer la survie de l'espèce[166]. Pour formuler ce scénario prospectif en évitant les biais liés à des extrapolations faites à partir d'études portant sur peu d'espèces ou un territoire peu étendu, les auteurs ont choisi de surpondérer la valeur des travaux concernant un grand nombre d'espèces. Les auteurs considèrent qu'en 2015, environ 2,8 % des espèces sur la Terre sont déjà en danger d'extinction pour des raisons climatiques. Le réchauffement (probable) de 2 °C en 2100 devrait conduire 5,2 autres pourcents des espèces à la disparition probable[166]. Et si le réchauffement moyen devait atteindre 4,3 °C au-dessus des niveaux préindustriels (scénario jugé crédible par certaines études) une espèce sur six pourrait disparaître.

En raison de la complexité des phénomènes écosystémiques, ces chiffres doivent cependant être pris avec circonspection. Sax reconnait que « Nous ne sommes que juste au début de l'évaluation de ces risques »[166].

Effets écoépidémiologiques

Enjeux prospectifs et de gestion du patrimoine naturel

Outre les risques d'extinction d'espèces, les éléments décrits ci-dessus peuvent avoir une grande importance pour les stratégies d'adaptation au changement climatique de protection et restauration de la biodiversité et des trames vertes et bleues nécessaires à leurs déplacements (dont des corridors climatiques le cas échéant). Ainsi, les parcs nationaux surtout positionnés en montagne pourraient ne pas assez tenir compte d'un discret mais important phénomène de descente des « optimums » de certains végétaux[167] qui vont souvent s'étendre sur des zones urbanisées et agricoles. Des pays comme l'Australie ont créé des corridors climatiques pour faciliter les migrations « climatiques » de faune. Les études prospectives pourraient aussi aider les scientifiques et les décideurs à mieux choisir les aires protégées et à faire évoluer leurs périmètres selon les contraintes climatiques (« Une zone mise en réserve naturelle pour préserver les espèces dans un écosystème contemporain peut devenir écologiquement inadaptée quelques décennies. »). Ceci vaut pour le milieu marin : la NOAA et d'autres appellent à la création de sanctuaires marins et de réseaux d'autres habitats protégés pour créer des corridors climatiques de migration pour aider la vie marine à s'adapter au changement climatique[166].

Effets sur les pratiques agricoles

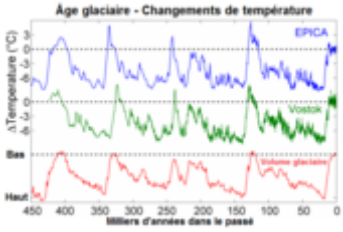
Le climat, et en particulier les températures, ont un effet sur la date des récoltes agricoles. Une anticipation des dates clefs du développement végétal (bourgeonnement, floraison, récolte) a été observée pour l'ensemble des cultures, sous les climats tempérés et méditerranéens. Ainsi, pour le blé, la sortie des épis a lieu 8 à 10 jours plus tôt qu'il y a vingt ans[168]. Dans de nombreux cas, les dates de vendanges sont régulièrement avancées, comme en Bourgogne[169,170,171]. De plus ces phénomènes peuvent être décrits sur plusieurs décennies car ces dates de vendanges ont été consignées dans le passé et archivées. De tels documents sont utilisés pour déterminer les températures à des périodes où les thermomètres n'existaient pas ou manquaient de précision. Un réchauffement climatique depuis le XXe siècle est clairement établi par l'étude de ces archives (ainsi, la date de début des vendanges à Châteauneuf-du-Pape a avancé de trois semaines en cinquante ans[168]).

Perspectives : évolution passée des températures et conséquences

Cycles climatiques

Cycles climatiques

Les variations du climat sont corrélées avec celles de l'insolation, des paramètres de Milanković, de l'albédo, des cycles solaires et des concentrations dans l'atmosphère des gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone et des aérosols [réf. nécessaire].



Depuis 400 000 ans, la Terre a connu quatre cycles de glaciation.

Le climat global de la Terre connaît des modifications plus ou moins cycliques de réchauffements alternant avec des refroidissements qui diffèrent par leur durée (de quelques milliers à plusieurs millions d'années) et par leur amplitude. Depuis 60 millions d'années, la Terre connaît un refroidissement général, avec l'apparition de la calotte glaciaire antarctique il y a 35 millions d'années et de la calotte glaciaire de l'hémisphère nord il y a 4 millions d'années[36].

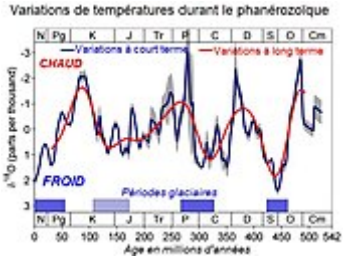
Depuis 800 000 ans, le climat terrestre connaît plusieurs cycles de glaciation et de réchauffement, d'environ 100 000 ans chacun. Chaque cycle commence par un réchauffement brutal suivi d'une période chaude de 10 000 à 20 000 ans environ, appelée période interglaciaire. Cette période est suivie par un refroidissement progressif et l'installation d'une ère glaciaire. À la fin de la glaciation, un réchauffement brutal amorce un nouveau cycle. Nous vivons actuellement depuis plus de 10 000 ans dans une période interglaciaire (*voir figure*), et l'actuelle évolution climatique se place par rapport au réchauffement naturel postérieur à la dernière glaciation.

Grâce à l'étude des carottages de glace et plus précisément de l'analyse de la composition isotopique de l'oxygène piégé dans la glace, les températures atmosphériques des cycles glaciaires de l'ère quaternaire ont pu être reconstituées[172]. La carotte glaciaire la plus profonde a été forée dans le cadre du projet Epica, en Antarctique, à plus de 3 500 mètres de profondeur, ceci permettant d'étudier l'histoire du climat en Antarctique depuis 800 000 ans[173]. Les carottes de glace contiennent des bulles d'air et des indications sur la teneur en gaz de l'atmosphère d'autrefois. Ces carottages ont ainsi permis de montrer que la teneur en CO_2 dans l'atmosphère a augmenté de 30 % durant le dernier siècle alors qu'elle était à peu près stable auparavant.

Une reconstruction climatique de 2020 parue dans *Nature Geoscience* montre qu'il y a environ 14 600 ans, les régions maritimes européennes et asiatiques de la calotte glaciaire ont fondu rapidement, faisant nettement monter le niveau marin. « Un effondrement aussi rapide de glace massive suggère la vulnérabilité des calottes glaciaires restantes de la Terre[174]. »

Amplitudes des variations climatiques

Au cours du quaternaire, l'amplitude thermique a été de l'ordre de 10 °C, mais avec des hausses de température n'ayant jamais dépassé de plus de 4 °C la température moyenne annuelle de la fin du xxe siècle. En revanche pour les cycles plus anciens, comme durant le Permien, la température moyenne globale a atteint 22 °C soit 8 °C de plus que la moyenne actuelle, comme on peut le voir sur le graphique ci-contre. Durant ces périodes chaudes qui ont duré plusieurs dizaines de millions d'années, la Terre était dépourvue de calottes polaires.



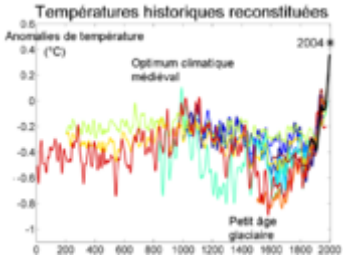
Variations du climat global depuis 540 millions d'années.

Le maximum thermique entre le paléocène et l'éocène, il y a 56 millions d'années, est particulièrement intéressant car il semble dû à un dégagement de gaz à effet de serre étalé sur vingt mille ans[175]. Le réchauffement total a été de 5 °C, au rythme modéré de 0,025 °C par siècle, très inférieur au rythme observé actuellement. Son impact est important sur les espèces marines, dont certaines ont disparu à la suite de l'acidification des océans, les

espèces animales ou végétales terrestres réussissant pour la plupart à s'adapter ou à migrer.

Temps historiques

À l'intérieur des grandes fluctuations climatiques terrestres se trouvent des variations plus brèves et plus limitées en intensité.



Explication détaillée du graphique (en). Les reconstitutions sont faites à partir de la dendrochronologie, des mesures dans les glaciers entre autres.

Ainsi, au cours du dernier millénaire, est apparue en Europe occidentale une période chaude entre le xe siècle[176] et le xiiie siècle, appelée « optimum climatique médiéval » : c'est l'époque où les navigateurs vikings découvrent et baptisent le Groenland (littéralement « Pays vert ») et fondent des colonies à l'extrême sud de l'île.

De même, l'époque des Temps modernes (1550-1850) connut une période de refroidissement que les historiens appellent le « petit âge glaciaire » caractérisé par des hivers très rigoureux, dont le terrible Grand hiver de 1709. Cette année-là, les céréales manquèrent dans la plus grande partie de la France, et seuls la Normandie, le Perche et les côtes de Bretagne purent produire assez de grain pour assurer les semences.

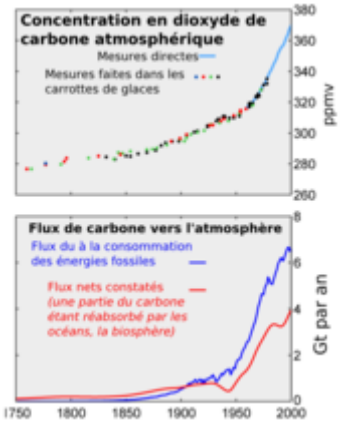
En juin 1709, dans la région parisienne, le prix du pain atteignit trente-cinq sous pour neuf livres au lieu de sept sous ordinairement[177].

De nombreux arbres gelèrent jusqu'à l'aubier et la vigne disparut de plusieurs régions de la France, les températures les plus basses étant atteintes entre le 10 et le 21 janvier[N 4].

Selon les reconstitutions[178] de températures réalisées par les climatologues, la dernière décennie du xxe siècle et le début du xxie siècle constituent la période la plus chaude des deux derniers millénaires (voir graphique). Notre époque serait même un peu plus chaude (de quelques dixièmes de degrés) que ne le fut l'optimum climatique médiéval.

Causes

Hypothèse d'un effet de serre additionnel

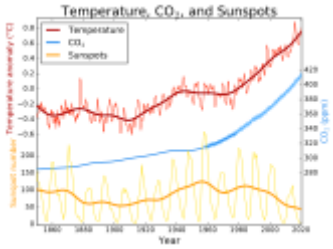


L'effet de serre est un phénomène naturel : une partie du rayonnement infrarouge émis par la Terre vers l'atmosphère terrestre reste *piégée* par les gaz dits « à effet de serre », augmentant ainsi la température de la basse atmosphère (troposphère). Ces gaz sont essentiellement de la vapeur d'eau (H_2O) et du dioxyde de carbone (CO_2). Environ un tiers des émissions de ce dernier résulte des activités humaines[179]. Sans cet effet, la température de surface de la Terre serait en moyenne inférieure de 33 °C c'est-à-dire −19 °C[N 5, 180, 181, 182].

L'augmentation observée des quantités de gaz à effet de serre, comme le dioxyde de carbone, contribue à renforcer l'effet de serre. On estime que, depuis 1750, 2 000 gigatonnes de dioxyde de carbone ont été émises dans l'atmosphère du fait des activités humaines, et que sur ce total, 800 gigatonnes y sont restées accumulées[183]. Les concentrations actuelles de CO_2 dans l'atmosphère surpassent de loin les taux des 650 000 dernières années. Elles sont passées de 278 parties par million (ppm) vers 1750[184] à 379 ppm en 2005. Le niveau de 400 ppm est dépassé ponctuellement et localement depuis 2013[185, 186]. Selon

le bulletin de l'OMM, la moyenne annuelle a été de 397,7 ppm pour 2014[185] et de 405 ppm pour 2017[52]. Le record journalier atteint en 2019, 415 ppm, n'avait pas été atteint depuis trois millions d'années[186].

Les concentrations de méthane sont passées de 715 ppb (partie par milliard) en 1750 à 1 774 ppb en 2013[a 3], puis 1 833 ppb en 2014, soit 254 % de son niveau à l'ère préindustrielle[187].



Variation des températures, activité solaire et concentration du CO_2.

Par ailleurs, la vitesse de croissance du taux de CO_2 dans l'atmosphère augmente également, passant de +1,5 ppm/an de 1970 à 2000, à +2,1 ppm/an entre 2000 et 2007[188]. Il a été prouvé par l'étude isotopique du carbone dans l'air que cette augmentation des quantités de gaz à effet de serre est due pour plus de la moitié à la combustion de matière carbonée fossile[26, e 1], l'autre partie étant due essentiellement aux déboisements massifs[36].

Selon le quatrième rapport du GIEC[a 4], en 2004 49 milliards de tonnes équivalent CO_2 ont été émises par les activités humaines, réparties comme suit :

- la part due au secteur énergétique est de 25,9 % ;
- suivie par l'industrie à 19,4 % ;
- le secteur forestier à 17,4 % ;
- l'agriculture à 13,5 % ;
- les transports à 13,1 % ;
- les habitations à 7,9 % ;
- les déchets et eaux usées à 2,8 %.

La question du dérèglement du climat provoqué par les rejets d'oxyde de carbone dans l'atmosphère est soulevée dès 1896 par Svante August Arrhenius, qui évoque la responsabilité de la combustion de la houille[189]. Arrhenius a démontré que l'augmentation de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère risquait d'accroître très significativement la température de la planète. Il a calculé qu'un doublement de la teneur en CO_2 pourrait provoquer un réchauffement de 4 à 6 °C, des valeurs en cohérence avec les modélisations du XXIe siècle. Cet élément montre l'ancienneté d'une théorie scientifique du réchauffement climatique[190].

> « [Arrhenius] recherchait les causes des refroidissements qui ont marqué les grandes périodes glaciaires ; contre l'avis de plusieurs de ses contemporains selon lesquels la Terre se refroidissait inéluctablement, il soutint que celle-ci se réchauffait lorsque la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone augmentait : aujourd'hui l'augmentation de la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone et ses répercussions sur l'élévation de la température de la Terre préoccupent de nombreux scientifiques, et les travaux du chimiste suédois Svante Arrhenius, le « père » de l'effet de serre, servent encore de référence, 100 ans après leur publication. [...] Déjà au début du XIXe siècle le physicien et mathématicien français Joseph Fourier avait étudié la façon dont l'atmosphère retient la chaleur du Soleil à la surface de la Terre. Cependant Arrhenius fut le premier à calculer les conséquences d'une élévation de la concentration en dioxyde de carbone sur la température de la Terre et sur le climat. Son raisonnement sur l'effet de serre résulta de l'étroite collaboration qui, dans les années 1890, lia les physiciens, les chimistes, les géologues et les météorologues, professeurs au nouvel Institut de Stockholm : la Hôgskola, créée en 1878. [...] En 1895, Arrhenius relie magistralement le travail de Flôgbom et les changements climatiques dans un article intitulé : « La température à la surface de la Terre, fonction de la concentration atmosphérique en acide carbonique ». Il émet l'hypothèse que l'atmosphère fonctionne, vis-à-vis de l'énergie solaire, comme une sorte de couverture qui laisserait passer davantage d'énergie vers la Terre qu'elle n'en laisserait s'échapper ; c'est la définition de l'effet de serre[191]. »

Les universitaires François Jarrige et Thomas Le Roux indiquent que « les circulations scientifiques internationales des années 1900 expliquent sans doute que l'idée d'un réchauffement climatique produit par les rejets de l'industrie soit discutée avant la Grande Guerre. Ainsi, le Français Louis de Launay, ingénieur des Mines et membres de l'Académie des sciences (France), conclut un article sur les réserves charbonnières dans le monde par une mise en garde :

> « Pour produire quelque 8 000 milliards de combustibles minéraux, combien n'a-t-il pas fallu de végétaux accumulés et très accidentellement préservés de la combustion dans la durée des temps géologiques ; le jour où cet acide carbonique aura été restitué aux couches inférieures de l'air par nos cheminées d'usines, quels changements (dont nous avons déjà les prodromes sur les grandes villes industrielles) ne manqueront pas d'être réalisés peu à peu dans nos climats[189] ? »

En 1938, l'ingénieur britannique Guy Callendar, puis en 1956 le physicien canado-américain Gilbert Plass ont établi, puis théorisé, la relation entre l'accroissement des rejets industriels de CO_2 et les premières observations de réchauffement climatique planétaire[192,193].

En 1957, les Américains ont mis en place des mesures de la concentration en CO_2 de l'atmosphère à Hawaï. Cela a permis au climatologue américain Charles Keeling de produire en 1961 une première courbe confirmant une progression régulière de la concentration de CO_2[194,195]. Au début des années 1960, l'arrivée de gros calculateurs permit la mise en place des premiers modèles climatiques et une première simulation a été publiée par Syukuro Manabe.

Dans les années 1970, Bert Bolin établit qu'un quart des émissions anthropiques de gaz carbonique était due à la déforestation tropicale[196]. Le « réchauffement global » est décrit dès août 1975 par le géochimiste américain Wallace Smith Broecker (université Columbia), qui utilise pour la première fois cette expression, avec une prévision assez juste de la progression des concentrations de CO_2 dont il prévoyait un taux de 400 ppm autour de 2010[185]. C'est en 1979, lors de la première conférence mondiale sur le climat, à Genève, qu'a été avancée publiquement pour la première fois sur la scène internationale l'éventualité d'un impact de l'activité humaine sur le climat[197]. Jule Gregory Charney estima cet impact à un réchauffement de 3 °C (à plus ou moins 1,5 °C) en cas de doublement de concentration du gaz carbonique[196].

Le 13 mars 1980 paraît dans la revue *Nature* un article publié par les chercheurs Robert J. Delmas, Jean-Marc Ascencio et Michel Legrand, qui fournit les premières mesures fiables de gaz à effet de serre piégés dans la glace. Selon Jean-Robert Petit, directeur de recherche émérite au CNRS, il s'agit d'« un big bang pour la communauté scientifique. L'article démontre pour la première fois que le CO_2 dans l'atmosphère glaciaire était largement inférieur à la période chaude préindustrielle – environ 300 parties par million en volume (ppmv) contre 190 ppmv[198]. »

En 1987, l'étude d'une carotte de glace de plus de 2 000 mètres de profondeur par Claude Lorius, Jean Jouzel *et al.* fait la une de *Nature* et l'objet de trois articles décrivant l'enregistrement continu du climat sur 150 000 ans, ce qui constitue « le premier profil temporel de CO_2 sur un cycle climatique complet au cours du Quaternaire »[198]. Ils démontrent que la concentration en CO_2 varie de concert avec la température de l'atmosphère, et que celui-ci contribue à la variation de la température entre périodes glaciaire et interglaciaire[198,199].

En 1988, Veerabhadran Ramanathan montre que le forçage radiatif est également dû au méthane et au protoxyde d'azote[196].

En 2014, le cinquième rapport du GIEC estime que cette estimation n'est pas modifiée par les travaux ultérieurs qui s'appuient sur des modèles du climat plus précis et l'étude des changements climatiques

auteurs qui s'appuient sur des modèles du climat plus précis et l'étude des changements climatiques anciens[196].

L'augmentation de l'effet de serre induit par l'ensemble des gaz à effet de serre est estimée à 2,3 W/m^2, se traduisant par une augmentation de température. Les variations d'énergie rayonnée par le Soleil durant ses cycles d'activité sont dix fois plus faibles. L'hypothèse d'une éventuelle influence sur la formation des nuages d'un rayonnement cosmique galactique modulé par le vent solaire, proposée dans les années 2010[36], est invalidé[200,201] en 2016 à la suite d'études menées au CERN sur la formation des aérosols de l'atmosphère (expérience *Cloud* (en)).

Cause la plus probable

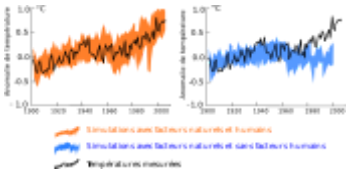
Le superordinateur Earth Simulator a contribué à étudier l'origine du réchauffement climatique.

Selon les conclusions du rapport de 2001 des scientifiques du GIEC, la cause la plus probable de ce réchauffement dans la seconde moitié du XXe siècle est le « forçage anthropique », c'est-à-dire l'augmentation dans l'atmosphère des gaz à effet de serre résultant de l'activité humaine[202].

Le degré de certitude a augmenté dans les rapports 2007 puis 2013 du GIEC, qui qualifient de « *très probable* », puis d'« *extrêmement probable* » le fait que le réchauffement climatique soit dû à l'activité humaine[c 1,203].

Selon les prévisions actuelles, le réchauffement planétaire se poursuivra au cours du XXIe siècle mais son amplitude est débattue : selon les hypothèses retenues et les modèles employés, les prévisions à l'horizon 2100 vont de 1,5 à 7 °C (Climeri-France, 2019)[204].

Méthode scientifique : la modélisation



Comparaison des variations de température, observées et simulées, avec et sans facteurs anthropiques[205,206] (par rapport à la moyenne de la période 1901-1950).

Leurs conclusions sont tirées des résultats d'expériences avec des modèles numériques[207,e 2]. Ce sont des programmes informatiques qui permettent d'estimer l'importance relative des divers facteurs naturels et humains au moyen de simulations menées sur des superordinateurs, pour identifier le ou les facteurs à l'origine de la brutale hausse de température.

Ces modèles tiennent compte de deux types de mécanismes[36] :

- ceux qui sont suffisamment bien compris pour pouvoir être traduits en équation. Il s'agit essentiellement de la circulation de l'atmosphère, des phénomènes de forçage radiatif et de l'hydrodynamique de la circulation océanique. La précision des prévisions basées sur ces mécanismes est limitée par la limitation spatiale et temporelle due à la puissance des ordinateurs et à l'efficacité des algorithmes de calcul utilisés ;
- ceux dont la modélisation est empirique. Tel est en particulier l'effet des nuages[208]. La taille des mailles des modèles actuels ne permet de traiter ceux-ci que sous un aspect statistique. Il en est de même pour l'albédo de la végétation, qui est déduite de mesures d'observation.

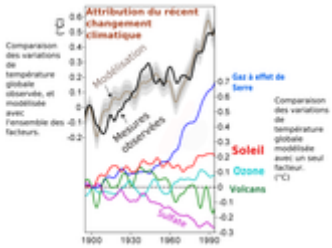
Hypothèses testées

Plusieurs hypothèses ont été testées :

1. les fluctuations cycliques de l'activité solaire ;

2. la rétention de la chaleur par l'atmosphère, amplifiée par les gaz à effet de serre ;

3. la modification de la réflectivité de la surface terrestre — l'albédo — par la déforestation, l'avancée des déserts, l'agriculture, le recul des glaces, neiges et glaciers, mais aussi par les cirrus artificiels créés par les traînées des avions et des navires, et l'étalement urbain ;
4. les émissions volcaniques.



Évolution de la température moyenne terrestre modélisée en fonction des différents forçages radiatifs possibles au cours du XXe siècle, comparée aux évolutions de température observées.

Certaines de ces causes sont d'origine humaine, comme la déforestation et la production de dioxyde de carbone par combustion de matière fossile. D'autres sont naturelles, comme l'activité solaire ou les émissions volcaniques.

Résultats

Les simulations climatiques montrent que le réchauffement observé de 1910 à 1945 peut être majoritairement expliqué par les variations du rayonnement solaire (voir changement climatique)[réf. nécessaire][209]. En revanche, pour obtenir le réchauffement observé de 1976 à 2006 (voir graphique), on constate qu'il faut prendre en compte les émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine. Les modélisations effectuées depuis 2001 estiment que le forçage radiatif anthropique est dix fois supérieur au forçage radiatif dû à des variations de l'activité solaire, bien que le forçage dû aux aérosols soit négatif.

Le point essentiel est que le forçage radiatif net est positif[26]. En particulier, l'augmentation de la température moyenne mondiale depuis 2001 est en accord avec les prévisions faites par le GIEC depuis 1990 sur le réchauffement induit par les gaz à effets de serre. Enfin, un réchauffement uniquement dû à l'activité solaire n'expliquerait pas pourquoi la troposphère verrait sa température augmenter et pas celle de la stratosphère[26].

Consensus scientifique

- Dans son rapport de 2001, le GIEC conclut que les gaz à effet de serre anthropogéniques « jouent un rôle important dans le réchauffement global »[210].
- En 2003, l'Union américaine de géophysique affirme que « les influences naturelles ne permettent pas d'expliquer la hausse rapide des températures à la surface du globe »[211].
- Le 7 juin 2005, les académies des sciences des pays du G8[N 6] et celles des trois plus gros pays en voie de développement consommateurs de pétrole[N 7] ont signé une déclaration commune à Londres, affirmant que le doute entretenu par certains à l'endroit des changements climatiques ne justifie plus l'inaction et qu'au contraire, il faut « enclencher immédiatement » un plan d'action planétaire pour contrecarrer cette menace globale[212].
- En 2007, le quatrième rapport du GIEC, annonce que la probabilité que le réchauffement climatique soit dû aux activités humaines est supérieure à 90 %[c 1]. De nombreux scientifiques estiment que ce rapport du GIEC n'est pas assez clair et qu'il faut mettre en place un programme international pour réduire drastiquement les deux sources principales de gaz à effet de serre (ici surtout le dioxyde de carbone CO_2) : le transport routier et les centrales à charbon[213][réf. non conforme]. En effet les centrales à charbon représentaient, en 2017, 44 % des émissions de CO_2, alors que ces dernières émissions sont produites à 80 % par les pays du G20[214] et que des solutions techniques existent pour capter le CO_2 dans ces centrales[215, 216]. Toutefois, en 2018, ces solutions resteraient plus onéreuses que les énergies renouvelables[217], tout en représentant un surcoût limité par l'adaptation des centrales existantes[218]. Ainsi d'après l'AIE, il serait possible de ramener d'ici 2050 au niveau de 1975 les émissions de CO_2 provenant du secteur énergétique (qui représentent, en 2017,

46 % l'émission de CO_2[219]) en investissant moins de 1 % du PIB mondial cumulé à cette échéance[220]. En Europe, les principaux pays utilisateurs de centrales à charbon en quantité totale étaient, en 2014, l'Allemagne[221], la Pologne et le Royaume-Uni[222, 223] ; ce dernier a depuis lors divisé par quatre sa production d'électricité à partir de charbon[224]. La rentabilité d'un charbon non émetteur de CO_2, en comparaison des énergies renouvelables, nécessiterait une taxe carbone minimale au moins équivalent au coût de captage de CO_2, c'est-à-dire d'environ 40$/tonne CO_2[225, 226]. Cependant dans le cas du procédé de combustion du dioxyde de carbone supercritique[227, 228, 229], le montant de cette taxe carbone pourrait être encore inférieur (le CO_2 capté améliorant l'efficacité de combustion du combustible initial). La production de charbon des pays européens reste inférieure à celle des plus gros consommateurs au niveau mondial, même en rapportant la consommation à la population : Chine, États-Unis[230]. Si, par ailleurs, le forçage radiatif cumulé du méthane est moindre que celui du CO_2, la réduction des émissions de méthane ne doit pas être oubliée[231].
- Fin 2012, des climatologues[232] ont compilé et comparé des simulations issues de vingt modèles et des satellites[233], concluant que les changements de température de la troposphère et de la stratosphère sont bien réels et qu'ils sont clairement liés aux activités humaines[234].
- Le 5e rapport du GIEC (publié en 2014)[231] estime (page 5) « qu'il est *extrêmement probable* que plus de la moitié de l'augmentation observée de la température moyenne à la surface du globe entre 1951 et 2010 est due à l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre d'origine anthropique et à d'autres forçages anthropiques conjugués », et avec un *degré de confiance élevé* qu'en l'absence de mesures additionnelles prises, les scénarios de base conduisent à une augmentation de la température moyenne globale en 2100 située entre 3,7 et 4.8°C comparée aux valeurs pré-industrielles (intervalle basé sur une réponse moyenne du climat ; l'intervalle est de 2,5 à 7,8 °C si l'on inclut les incertitudes relatives à la réponse du climat). Le rôle du méthane (CH_4) (produit par les ruminants, les rizières, les fuites d'exploitation du gaz naturel et le dégel du pergélisol) est réévalué à la hausse dans ce cinquième rapport : le méthane est estimé avoir un potentiel de réchauffement global par unité de masse à 100 ans égal à 28 fois celui du dioxyde de carbone. Sa contribution cumulée, compte tenu de sa concentration, demeure cependant plus faible[231].

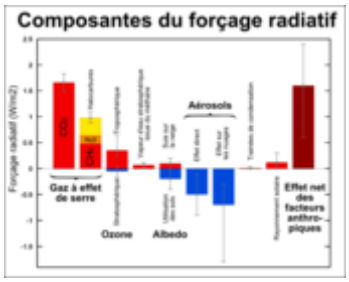
Les conclusions du GIEC ont été approuvées par plus de quarante sociétés scientifiques et académies des sciences, y compris l'ensemble des académies nationales des sciences des grands pays industrialisés[235].

Autres causes mineures du réchauffement climatique

D'autres causes anthropogéniques ont été pointées par la communauté scientifique. Les effets de ces différents facteurs sont souvent moins bien connus comme en témoigne le graphique *Composantes du forçage radiatif*.

- L'utilisation des terres a un effet sur l'albédo. Par exemple, les terres cultivées sont en général plus claires que les forêts[236] et donc réfléchissent plus la lumière.
- Le trou de la couche d'ozone pourrait également avoir un effet important, mais qui reste encore très méconnu. En effet, l'ozone stratosphérique, en absorbant les rayons UV réchauffe la stratosphère ; l'absence d'ozone conduit donc à un refroidissement de la stratosphère qui provoquerait selon certaines analyses une augmentation de la hauteur de la tropopause, et un décalage de toute la circulation atmosphérique (cellule de Hadley, circulation d'humidité, circulation d'énergie) vers les pôles[237]. L'effet de ce changement de circulation est également discuté, mais il semblerait[238, 208] que le déplacement de la couverture nuageuse des *storm tracks* vers les pôles diminuerait l'albédo des latitudes moyennes et participerait donc au réchauffement climatique.

- La mauvaise gestion des forêts peut avoir des conséquences sur la quantité de carbone puisées par celles-ci. Plusieurs études[239] montrent que l'efficacité du captage du carbone par les arbres dépend fortement de leur santé. Par exemple, certains facteurs (pollution atmosphérique, prolifération des parasites, vague de chaleur) peuvent affecter durablement la productivité primaire brute des arbres, c'est-à-dire la quantité de carbone captée. En 2003, en raison de la vague de chaleur et par conséquent de la pollution atmosphérique stagnante et de la prolifération des parasites des arbres, la productivité primaire brute a diminué de 8 % en France et de 15 % dans le nord de l'Italie. Ce déficit du puits de carbone aurait pu être réduit grâce à une meilleure gestion des forêts (mélange des essences d'arbre, espacement des arbres).



Un forçage radiatif positif est un renforcement de l'effet de serre et un réchauffement ; un forçage radiatif négatif entraîne un refroidissement (augmentation de l'albédo). Ceci correspond à des calculs tenant compte des concentrations dans l'atmosphère[a 5].

Projections

Dans le cinquième rapport du GIEC, une projection climatique est définie comme la réponse du climat à un scenario d'émission de concentration de gaz à effet de serre et d'aérosols[240]. Ces projections sont des simulations obtenues à partir de modèles numériques. Elles dépendent fortement du scenario d'émission de gaz et effet de serre, lui-même basé sur des hypothèses sur le développement socio-économique et technologique future. Ce scenario d'émission constitue la source la plus importante d'incertitude des projections de la température de surface atmosphérique globale à l'horizon 2100[a 6,241,242]. Ces projections sont réalisées dans le cadre du projet d'intercomparaison des modèles couplés par les groupes de recherches du monde entier. Le dernier exercice de ce projet (CMIP5) a associé près de 50 modèles climatiques[243].

Modèles climatiques

Les projections par les scientifiques de l'évolution future du climat sont rendues possibles grâce à l'utilisation de modèles mathématiques traités informatiquement sur des superordinateurs[244]. Ces modèles, dits de circulation générale, reposent sur les lois générales de la thermodynamique et simulent les déplacements et les températures des masses atmosphériques et océaniques. Les plus récents prennent aussi en considération d'autres phénomènes, comme le cycle du carbone.

Ces modèles sont considérés comme valides par la communauté scientifique lorsqu'ils sont capables de simuler des variations connues du climat, comme les variations saisonnières, le phénomène El Niño, ou l'oscillation nord-atlantique. Les modèles les plus récents simulent de façon satisfaisante les variations de température au cours du XXe siècle. En particulier, les simulations menées sur le climat du XXe siècle sans intégrer l'influence humaine ne rendent pas compte du réchauffement climatique, tandis que celles incluant cette influence sont en accord avec les observations[26].

Les modèles informatiques simulant le climat sont alors utilisés par les scientifiques pour établir des scénarios d'évolution future du climat, mais aussi pour cerner les causes du réchauffement climatique actuel, en comparant les changements climatiques observés avec les changements induits dans ces modèles par différentes causes, naturelles ou humaines.

Ces modèles sont l'objet d'incertitudes de nature mathématique, informatique, physique, etc. Les trois principales sources d'incertitude mentionnées par les climatologues sont :

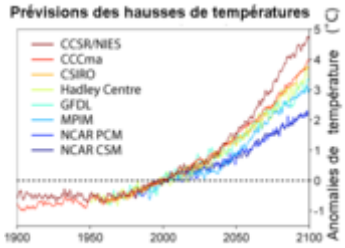
1. la modélisation des nuages[208] ;

2. la simulation de phénomènes de petite échelle, comme les cellules orageuses, ou l'effet du relief sur la circulation atmosphérique ;
3. la modélisation de l'interface entre les océans et l'atmosphère.

De façon plus générale, ces modèles sont limités d'une part par les capacités de calcul des ordinateurs actuels, et le savoir de leurs concepteurs d'autre part, la climatologie et les phénomènes à modéliser étant d'une grande complexité. L'importance des investissements budgétaires nécessaires sont aussi un aspect non négligeable de la recherche dans le domaine du réchauffement climatique. Malgré ces limitations, le GIEC considère les modèles climatiques comme des outils pertinents pour fournir des scénarios d'évolution utiles du climat.

Des projections sur le climat réalisées en 2019 par l'Institut Pierre-Simon Laplace et le Centre national de recherches météorologiques indiquent que les prévisions contemporaines seraient un peu trop optimistes par rapport à la réalité du réchauffement : selon ces projections, la planète pourrait se réchauffer jusqu'à 6 à 7 °C en 2100 dans le pire des scénarios, et dans le meilleur, si la planète parvient à la neutralité carbone en 2060, de 1,9 °C[245].

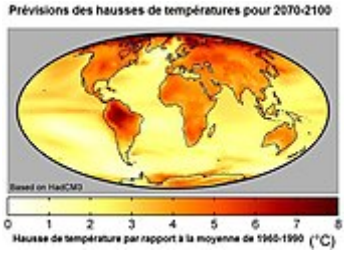
Poursuite du réchauffement climatique



Pour les climatologues regroupés au sein du GIEC, l'augmentation des températures devrait se poursuivre au cours du XXIe siècle, et l'ampleur la plus probable du réchauffement attendu est de 1,8 à 3,4 °C à la fin du XXIe siècle.

L'ampleur du réchauffement repose sur des simulations et comporte deux types d'incertitude :

- des incertitudes liées à l'imprécision des modèles (voir plus haut) ;
- des incertitudes sur le comportement de l'humanité au cours du XXIe siècle.



Afin de prendre en compte ce dernier paramètre dans les projections, les climatologues utilisent différents scénarios d'émission de gaz à effet de serre (GES) et d'aérosols. Les scénarios utilisés dans les 3e et 4e rapports du GIEC sont détaillés dans le rapport *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES)[246]. Ces scénarios ne prennent pas en compte l'éventualité d'une modification intentionnelle des émissions de GES à l'échelle mondiale. Les scénarios utilisés dans la cinquième phase du projet CMIP servant de base au 5e rapport du GIEC sont appelés scénarios RCP pour *representative concentration pathway*[247,248]. Quatre scénarios ont été utilisés :

- RCP 8.5 : scénario de forte émission. Ce scénario décrit l'évolution du climat en l'absence de stratégie efficace de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Il est comparable à l'ancien scénario SRES A1F1.
- RCP 6 : scénario d'émission intermédiaire. Dans ce scénario, le forçage radiatif se stabilise peu après 2100, ce qui correspond à une stratégie d'efficacité faible de réduction des émissions de GES. Il est comparable à l'ancien scénario SRES B2.
- RCP4.5 : scénario d'émission intermédiaire. Comme le scénario RCP6, il correspond à une stratégie d'efficacité moyenne de réduction des émissions de GES. Il est comparable à l'ancien scénario SRES B1.
- RCP2.6 : réduction des émissions de GES. Il correspond à une stratégie d'efficacité

importante de réduction des émissions de GES. Il n'a pas son équivalent parmi les anciens scénarios SRES.

Les incertitudes liées au fonctionnement des modèles sont mesurées en comparant les résultats de plusieurs modèles pour un même scénario, et en comparant les effets de petites modifications des scénarios d'émission dans chaque modèle.

Les variations observées dans les simulations climatiques sont à l'origine d'un éparpillement des projections de l'ordre de 1,3 à 2,4 °C, pour un scénario (démographique, de croissance, de « mix énergétique mondial », etc.) donné. Le type de scénario envisagé a un effet de l'ordre de 2,6 °C sur le réchauffement climatique simulé par ces modèles et explique une bonne partie de la marge d'incertitude existant quant à l'ampleur du réchauffement à venir.

Les projections d'augmentation de température pour l'horizon 2100 données par le GIEC (SPM du rapport de 2007) s'échelonnent de 1,1 à 6,3 °C. Les experts du GIEC affinent leurs projections en donnant des valeurs considérées comme « les meilleures estimations », ce qui permet de réduire la fourchette de 1,8 à 4,0 °C. Et en éliminant le scénario A1F1, considéré comme irréaliste, l'augmentation de température serait comprise entre 1,8 et 3,4 °C.

Les quatre familles de scénario[249, 250, 251] du quatrième rapport et les prévisions des hausses de températures globales moyennes en 2100		
Source : GIEC[252]	Objectifs plus économiques	Objectifs plus environnementaux
Globalisation (Monde homogène)	**A1** Croissance économique rapide (groupes A1T/A1B/A1FI) **1,4 — 6,4 °C**	**B1** Durabilité environnementale globale **1,1 — 2,9 °C**
Régionalisation (Monde hétérogène)	**A2** Développement économique avec une orientation régionale **2,0 — 5,4 °C**	**B2** Durabilité environnementale locale **1,4 — 3,8 °C**

Les scientifiques du GIEC considèrent que ces scénarios sont les meilleures projections actuellement possibles, mais qu'ils sont toujours sujets à des réajustements ou à des remises en cause au fur et à mesure des avancées scientifiques. Ils considèrent qu'il est nécessaire d'obtenir des modèles plus réalistes et une meilleure compréhension des phénomènes climatiques, ainsi que des incertitudes associées.

Cependant, de nombreux climatologues pensent que les améliorations à court terme apportées aux modèles climatiques ne modifieront pas fondamentalement leurs résultats, à savoir que le réchauffement planétaire va continuer et que son ampleur sera plus ou moins importante en fonction de la quantité de gaz à effet de serre émis par les activités humaines au cours du XXIe siècle, et ce en raison de l'inertie des systèmes climatiques à l'échelle planétaire.

Certains articles scientifiques montraient que l'année 1998 a été la plus chaude de toute l'histoire de la météorologie[N 8], que le réchauffement s'accélère — 0,8 °C en un siècle, dont 0,6 °C sur les trente dernières années — mais aussi d'après l'analyse de sédiments marins, que la chaleur actuelle se situe dans le haut de l'échelle des températures depuis le début de l'holocène, c'est-à-dire depuis 12 000 ans[253]. En février 2014, une comparaison des données de températures moyennes de la planète, telles que mesurées par quatre équipes, désigne l'année 2010 comme la plus chaude, suivie de l'année 2005 ; le 3e rang est disputé entre 1998 et 2007 ; 2013 apparait au 4e rang pour une équipe, au 5e rang pour une autre[254].

Une étude publiée en février 2013 dans Global Environmental Change[255] démontre que la plupart des prévisions du GIEC se sont avérées trop optimistes (à l'exception de celles concernant la hausse des températures) : ainsi, la hausse du niveau des océans sur la période 1993-2011 a été de 3,2 ± 0,5 mm/an, soit 60 % plus rapide que l'estimation du GIEC de 2 mm/an ; la fonte de la banquise arctique a été beaucoup plus

rapide que les pires prévisions du GIEC ; la progression des émissions des pays émergents a été largement sous-estimée (3 à 4 % par an en Chine dans les hypothèses du GIEC, 10 à 11 % en réalité) si bien que les émissions mondiales de CO_2 sont alignées sur le plus pessimiste des scénarios du GIEC ; l'amplification du réchauffement causée par la fonte du pergélisol n'a pas été prise en compte dans les modèles du GIEC, etc ; l'étude attribue ce syndrome ESLD (Erring on the Side of Least Drama - Pêcher par excès de dédramatisation) à une réaction excessive aux accusations d'alarmisme lancées par les climato-sceptiques, ainsi qu'à la culture de prudence scientifique[256].

L'étude du Global carbon project (en)[257], publiée le 21 septembre 2014, avant le sommet de l'ONU sur le climat, annonce que les émissions de CO_2 devraient atteindre 37 Gt (gigatonne = milliard de tonnes) en 2014 et 43,2 Gt en 2019 ; en 2013, elles avaient progressé de 2,3 % pour atteindre 36,1 Gt. En 2013, un Chinois émet désormais davantage qu'un Européen, avec 7,2 tonnes de CO_2 par tête contre 6,8 tonnes par tête dans l'Union européenne, mais un Américain émet 16,4 tonnes de CO_2 ; la progression de ces émissions est très rapide en Chine (+4,2 % en 2013) et en Inde (5,1 %) alors qu'en Europe elles reculent (-1,8 %). Le Global carbon project souligne que la trajectoire actuelle des émissions de gaz carbonique concorde avec le pire des scénarios évoqués par le GIEC, qui table sur une hausse de la température mondiale de 3,2 à 5,4 °C d'ici 2100[258].

Une étude parue le 31 juillet 2017 dans la revue *Nature Climate Change* évalue à 5 % la probabilité de limiter le réchauffement climatique à 2 °C d'ici 2100, l'objectif fixé par l'accord de Paris sur le climat de 2015 ; les chances d'atteindre l'objectif de 1,5 °C, également contenu dans le texte de l'accord, ne sont que de 1 % ; leurs prévisions, qui intègrent des efforts pour limiter l'utilisation des énergies fossiles, estiment l'augmentation de la température d'ici 2100 entre 2 et 4,9 °C, avec une valeur médiane de 3,2 °C[259].

Les experts du programme des Nations Unies pour l'environnement avertissent les États en novembre 2019 qu'ils devraient multiplier leur niveau d'ambition collective par plus de cinq au cours de la décennie 2020-2030 pour attendre l'objectif de réduction des émissions de GES de l'accord de Paris[260].

Conséquences environnementales prévues

Les modèles utilisés pour prédire le réchauffement planétaire futur peuvent aussi être utilisés pour simuler les conséquences de ce réchauffement sur les autres paramètres physiques de la Terre, comme les calottes de glace, les précipitations ou le niveau des mers. Dans ce domaine, un certain nombre de conséquences du réchauffement climatique sont l'objet d'un consensus parmi les climatologues.

Montée des eaux

Une des conséquences du réchauffement planétaire sur lesquelles s'accordent les scientifiques est une montée du niveau des océans. Deux phénomènes engendrent cette élévation :

- l'augmentation du volume de l'eau due à son réchauffement (dilatation thermique) ;
- l'apport d'eau supplémentaire provenant de la fonte des glaciers continentaux et des calottes polaires. Ce dernier phénomène s'étale sur une longue durée, la fonte des glaciers se mesurant à l'échelle de plusieurs décennies, et celle des calottes polaires sur plusieurs siècles ou millénaires[b 2].

De même que pour les températures, les incertitudes concernant le niveau de la mer sont liées aux modèles, d'une part, et aux émissions futures de gaz à effet de serre, d'autre part.

L'élévation entre 1993 et 2003 est estimée à 3,1 mm par an (plus ou moins 0,7 mm)[26,106]. L'élévation prévue du niveau de la mer en 2100 est de 18 à 59 cm, selon le quatrième rapport du GIEC[a 7]. Il s'agit probablement

d'une estimation minimaliste, car les prévisions du GIEC sont basées uniquement sur le réchauffement futur de l'océan et la fonte prévue des glaciers de montagne, en excluant les phénomènes liés à une instabilité possible des calottes polaires, récemment mis en évidence[106].

Une montée des eaux de quelques centimètres n'a pas d'impact très visible sur les côtes rocheuses, mais peut avoir des effets très importants sur la dynamique sédimentaire des côtes plates : dans ces régions, qui sont en équilibre dynamique, la montée des eaux renforce les capacités érosives de la mer, et déplace donc globalement l'équilibre vers une reprise de l'érosion qui fait reculer les côtes.

La montée du niveau moyen de la mer a ainsi des effets beaucoup plus importants que la simple translation de la ligne de côte jusqu'aux courbes de niveau correspondantes.

Précipitations et foudre

Selon le rapport 2007 du GIEC, une augmentation des précipitations aux latitudes élevées est *très probable* tandis que dans les régions subtropicales, on s'attend à une diminution, poursuivant une tendance déjà constatée[e 3], même si d'autres experts tempèrent cela, estimant les données trop rares et incomplètes pour pouvoir dégager une tendance actuelle à la hausse ou à la baisse[25]. Selon des études publiées en 2007-2008, à l'horizon 2025, un tiers de la population mondiale pourrait se trouver en état de stress hydrique[261] ; le réchauffement aurait tantôt un effet positif, tantôt un effet négatif, la balance entre les deux dépendant du mode de comptage adopté[262].

Selon une étude publiée en novembre 2014 dans la revue Science, le réchauffement climatique devrait accroître de 50 % le nombre d'impacts de foudre au cours du XXIe siècle ; le risque de foudre pourrait s'accroître de 12 % par degré Celsius additionnel aux États-Unis[263].

Dégradation de la qualité de l'air

Ce sujet est en France notamment traité par l'INERIS dans le cadre du projet SALUTAIR, et dans la perspective de la COP 21 à Paris en 2015[264] et dans le cadre du projet SALUTAIR (*Évaluation des stratégies de lutte contre la pollution de l'air à longue distance dans le contexte du changement climatique*)[265], et depuis 2009 au moins[266,267]. Il s'agit notamment de mieux comprendre et modéliser les effets sur la pollution dite « longue distance », par exemple étudiée par le programme de recherche PRIMEQUAL[268]

Circulation thermohaline

La circulation thermohaline désigne les mouvements d'eau froide et salée vers les fonds océaniques qui prennent place aux hautes latitudes de l'hémisphère nord. Ce phénomène serait, avec d'autres, responsable du renouvellement des eaux profondes océaniques et de la relative douceur du climat européen.

En cas de réchauffement climatique, le moteur qui anime les courants marins serait menacé. En effet, les courants acquièrent leur énergie cinétique lors de la plongée des eaux froides et salées, et donc denses, dans les profondeurs de l'océan Arctique. Or, l'augmentation de la température devrait accroître l'évaporation dans les régions tropicales et les précipitations dans les régions de plus haute latitude. L'océan Atlantique, en se réchauffant, recevrait alors plus de pluies, et en parallèle la calotte glaciaire pourrait partiellement fondre (voir Événement de Heinrich)[269]. Dans de telles circonstances, une des conséquences directes serait un apport massif d'eau douce aux abords des pôles, entraînant une diminution de la salinité marine et donc de la densité des eaux de surface. Cela peut empêcher leur plongée dans les abysses océaniques. Ainsi, les courants tels que le Gulf Stream pourraient ralentir ou s'arrêter, et ne plus assurer les échanges thermiques actuels entre

l'équateur et les zones tempérées. Pour le XXIe siècle, le GIEC considérait dans son rapport 2007 comme *très probable* un ralentissement de la circulation thermohaline dans l'Atlantique, mais comme *très improbable* un changement brusque de cette circulation[a 8].

Arrêt de la circulation thermohaline

Selon une théorie, un éventuel arrêt de la circulation thermohaline, dû au réchauffement climatique, pourrait engendrer une chute importante de température voire une ère glaciaire en Europe et dans les régions à hautes latitudes. En effet, l'Europe se situe à la même latitude que le Québec, et l'étude de Detlef Quadfasel publié dans Nature (revue) en décembre 2005 démontre qu'une partie de la différence de climat semble résider dans le fait que l'Europe profite de l'apport thermique du Gulf Stream[270]. L'équateur, à l'inverse, accumulerait alors de la chaleur, ce qui stimulerait la formation continuelle d'ouragans amenant des précipitations de grande ampleur.

Cette hypothèse d'un refroidissement de l'Europe qui suivrait le réchauffement global n'est cependant pas validée. En effet, il n'est nullement établi que le Gulf Stream soit la seule cause des hivers doux en Europe. Ainsi, Richard Seager a publié en 2002 une étude scientifique sur l'influence du Gulf Stream sur le climat[271]. Selon lui l'effet du Gulf Stream est un mythe et n'a qu'un effet mineur sur le climat en Europe. La différence entre les températures hivernales entre l'Amérique du Nord et l'Europe est due au sens des vents dominants (vent continental glacial du nord sur la côte Est de l'Amérique du Nord et vent océanique de l'ouest en Europe) et à la configuration des Montagnes Rocheuses.

Glaces et couverture neigeuse

Les scientifiques du GIEC prévoient, pour le XXIe siècle, une diminution de la couverture neigeuse et un retrait des banquises. Les glaciers et calottes glaciaires de l'hémisphère nord devraient aussi continuer à reculer, les glaciers situés à moins de 3 400 m d'altitude pouvant être amenés à disparaître[d 2].

En revanche, l'évolution de la calotte glaciaire antarctique au cours du XXIe siècle est plus difficile à prévoir.

En 2006, une équipe de chercheurs américains a mis en évidence un lien entre l'activité humaine et l'effondrement de plates-formes de glace dans l'Antarctique[272]. Les réchauffements locaux seraient dus à un changement de direction des vents dominants, cette modification étant elle-même due à l'augmentation de la concentration de l'air en gaz à effet de serre et la dégradation de la couche d'ozone en Antarctique à cause des CFC d'origine humaine[273].

Toutefois, selon une lettre envoyée au journal *Nature*, ces réchauffements ne s'observent que localement. En effet, l'Antarctique connaît globalement un climat de plus en plus froid et sa couverture glacée est en expansion, les élévations de la température dans ces secteurs très froids se révélant favorables à une augmentation des précipitations neigeuses donc à terme, à une augmentation des volumes de glace[274].

Cependant, la quantité de glace de l'Antarctique déversée dans les mers a augmenté de 75 % durant les dix années précédant 2008[274]. Ce phénomène risque de s'amplifier en raison de la disparition de la banquise qui cesse alors d'opposer un obstacle au déversement des glaciers dans l'océan[61].

Verdissement

Après analyse de relevés satellitaires sur une vingtaine d'années, la NASA note en février 2019 une progression des surfaces vertes de 5 % entre 2000 et 2017. Ce résultat contre-intuitif s'explique par le recul des glaces, cédant la place à des prairies, mais aussi à des politiques de reboisement en Chine ou en Afrique, qui

glaces, cédant la place à des prairies, mais aussi à des politiques de reboisement en Chine ou en Afrique, qui ne parviennent toutefois pas à restaurer rapidement l'état initial[Lequel ?] des forêts[275]. Enfin, le verdissement

trouve aussi une condition favorable avec la hausse des concentrations de dioxyde de carbone (selon une autre étude de la NASA publiée en 2016[275]). Si cette dernière rétroaction favorise ainsi la baisse du CO_2 dans l'atmosphère, le seul verdissement ne suffit pas à faire baisser sa hausse[275].

Déclin de la biomasse océanique

La masse de phytoplancton décline de 1 % par an depuis quarante ans. Les zones mortes océaniques, déficitaires en oxygène dissous produit par ces organismes unicellulaires, s'étendent au rythme de 8 % par an : le Programme des Nations unies pour l'environnement en dénombrait 150 en 2003 et plus de 500 en 2015. Les coraux sont également en danger et, avec eux, un milliard d'êtres humains sont menacés de famine : selon une étude conduite par Pascale Chabanet, chercheuse à l'Institut de recherche pour le développement (IRD) de La Réunion, sur une soixantaine de sites coralliens de l'océan Indien, la moitié a déjà disparu ; « avec l'extinction des forêts coralliennes, c'est le réservoir de biodiversité vivrière le plus riche de la planète qui est en train de s'éteindre[276]. »

Conséquences brusques ou irréversibles, et prospectives

Selon le GIEC, « le réchauffement anthropique de la planète pourrait entraîner certains effets qui sont brusques ou irréversibles, selon le rythme et l'ampleur des changements climatiques[a 8]. »

- On prévoit une augmentation du niveau de la mer de quelques dizaines de centimètres d'ici 2100, mais au cours des siècles et des millénaires suivant, la fonte partielle des calottes polaires pourrait relever de plusieurs mètres le niveau marin, en inondant les zones côtières basses, certaines îles basses et les deltas[a 8].
- Environ 20 à 30 % des espèces évaluées à ce jour[Quand ?] sont susceptibles d'être exposées à un risque accru d'extinction si l'augmentation du réchauffement mondial moyen dépasse 1,5 à 2,5 °C (par rapport à 1980-1999). Avec une augmentation de la température mondiale moyenne supérieure d'environ 3,5 °C, les projections des modèles indiquent des extinctions (de 40 à 70 % des espèces évaluées) dans le monde entier[a 8]. En mai 2008, les États-Unis ont inscrit l'ours blanc d'Alaska sur la liste des espèces menacées[277] ;
- Le réchauffement pourrait induire un effet rebond irréversible à échelle humaine de temps s'il amorce des incendies de forêts[réf. nécessaire] et un dégazage important de méthane des pergélisols et fonds marins[278]. La quantité de méthane actuellement dégagée par le pergélisol en train de fondre est de l'ordre de 14 à 35 millions de tonnes par an. On estime que cette quantité s'élèvera de 100 à 200 millions de tonnes par an d'ici 2100, menant à elle seule à une élévation de température de l'ordre de 0,3 °C. Au cours des prochains siècles, 50 milliards de tonnes de méthane pourraient être dégagés par les lacs thermokarstiques sibériens[105].
- L'eau plus chaude et plus acide, et des pluies hivernales plus intenses, ainsi que des chocs thermiques et mouvements de nappe accrus pourraient avoir avant la fin du siècle des effets indirects sur le sol et sous-sols : des effondrements de cavités souterraines (carrières, d'anciens abris souterrains, de sapes de guerre ou de marnières, etc.) sont attendus. (3 000 communes sont soumises à ce risque en France, hors risque d' « affaissement minier » selon l'INERIS[279]. Un Plan cavités (sur les risques liés ou non au changement climatique) serait à l'étude en France selon l'INERIS.
- Certains, dont le climatologue James Hansen, estiment que « la Terre pourrait avoir déjà dépassé le seuil dangereux de CO_2, et la sensibilité de la planète au dioxyde de carbone est bien plus importante que celle retenue dans les modèles »[280].

Des visions prospectives optimistes et moins optimistes cohabitent en 2009 : certains insistent sur le fait que les solutions techniques existent, et qu'il ne reste qu'à les appliquer (les maisons pourraient être isolées, et produire plus d'électricité qu'elles n'en consomment, les transports maîtrisés, les villes pourraient être plus autonomes et dépolluer l'air[281]).

D'autres — tout en invitant à appliquer au plus vite ces solutions voire une décroissance soutenable et conviviale — réalertent, constatent que de 1990 à 2009, la tendance a été la réalisation des fourchettes hautes d'émission de gaz à effet de serre, conduisant aux scénarios-catastrophe du GIEC[282], et estiment qu'il est temps de cesser de parler de « changement » pour décrire une catastrophe[283].

Une étude parue dans la revue *Science* du 3 juillet 2015 prévoit, au-delà de 2 °C de réchauffement, des impacts massifs et généralement irréversibles sur les écosystèmes océaniques et les services qu'ils rendent ; les efforts d'adaptation deviendraient alors inopérants[284].

Phénomènes à très long terme

La majorité des climatologues pensent que les phénomènes induits par l'émission des gaz à effet de serre vont se poursuivre et s'amplifier à très long terme. Le troisième rapport du GIEC insiste en particulier sur les points suivants :

- certains gaz à effet de serre ont une espérance de vie longue, et influent donc sur l'effet de serre longtemps après leur émission (durée de vie dans l'atmosphère d'environ 100 ans pour le CO_2[285]) ;
- de par l'inertie du système climatique, le réchauffement planétaire se poursuivra après la stabilisation de la concentration des gaz à effet de serre. Ce réchauffement devrait cependant être plus lent ;
- l'inertie, plus grande encore, de la masse océanique fait que l'élévation du niveau des mers se poursuivra même après la stabilisation de la température moyenne du globe. La fonte de calottes glaciaires, comme celle du Groenland, sont des phénomènes se déroulant sur des centaines voire des milliers d'années[b 2].

Les récentes observations dans la zone arctique menées sous l'égide du programme européen Damoclès (Developping Arctic Modelling and Observing Capabilities for Long-term Environmental Studies) ont créé une véritable surprise dans le monde scientifique. En effet, celles-ci montrent une différence importante par rapport aux prévisions issues des différents modèles et sur lesquelles sont basées les conclusions du GIEC : ceci se traduit par une nette accélération des effets dus à l'augmentation des gaz à effet de serre en Arctique (fonte totale de la banquise en été d'ici 2020)[286,287].

Rétroactions

Les scientifiques nomment rétroactions les actions en retour du système climatique sur lui-même. Ces rétroactions sont positives lorsque le réchauffement climatique induit des phénomènes contribuant eux-mêmes à accentuer ce réchauffement, et négatives lorsque les phénomènes induits contribuent à réduire le réchauffement. De telles rétroactions ont déjà été observées lors de précédents réchauffements climatiques, à la fin d'une ère glaciaire ; le climat peut ainsi, en quelques années, se réchauffer de plusieurs degrés.

Les principales rétroactions, qui sont positives, sont les suivantes :

- le dégagement de méthane : le méthane (CH_4, qui n'est autre que le gaz naturel, à quelques

« impuretés » près), est un gaz à effet de serre 23 fois plus réchauffant que le CO_2. Il se forme lorsque la décomposition de la matière organique s'effectue avec un manque d'oxygène, et

sous l'action de bactéries, un processus nommé méthanisation. Les sols humides (marais) sont très propices à cette création de méthane, qui est alors libéré dans l'atmosphère (cela peut donner lieu à des inflammations spontanées et l'on peut observer des feux follets). Si le sol est gelé, le méthane reste piégé dans la glace sous la forme d'hydrates de méthane. Le sol de Sibérie est ainsi un immense réservoir de méthane (sans doute trop diffus pour être exploité industriellement) : selon Larry Smith du département de géographie de l'UCLA, la quantité de méthane présent dans le sol sibérien serait de 70 milliards de tonnes, soit un quart du méthane stocké à la surface de la planète[288]. Si le sol se réchauffe, la glace fond et libère le méthane déjà présent initialement, ce qui a pour conséquence un effet de serre plus marqué, et par suite un emballement du réchauffement climatique, qui fait fondre la glace encore plus vite. On parle aussi de bombe à carbone ;

- le ralentissement et la modification des courants océaniques : l'océan capte aujourd'hui le tiers du CO_2 émis par les activités humaines. Mais si les courants océaniques ralentissent, les couches d'eau superficielles peuvent se saturer en CO_2 et ne pourraient plus en capter comme aujourd'hui. La quantité de CO_2 que peut absorber un litre d'eau diminue à mesure que l'eau se réchauffe. Ainsi, de grandes quantités de CO_2 peuvent être relarguées si les courants océaniques sont modifiés. En outre, l'accumulation de CO_2 dans les océans conduit à l'acidification de ces derniers, ce qui affecte l'écosystème marin et peut induire à long terme un relargage de CO_2. Les moteurs de la circulation océanique sont de deux types : l'eau en se rapprochant des pôles se refroidit et devient donc plus dense. De plus, l'eau de mer qui gèle rejette son sel dans l'eau liquide (la glace est constituée d'eau douce), devenant au voisinage des calottes glaciaires encore plus dense. Cette eau plonge donc et alimente la pompe : l'eau plus chaude de la surface est aspirée. L'eau du fond (froide) remonte dans les zones des tropiques et / ou équatoriales et se réchauffe, ceci en un cycle de plus de 1 000 ans. Si les calottes de glace fondent, la pompe se bloque : en effet, l'eau qui plonge provient de la calotte et non plus de l'eau refroidie en provenance des tropiques. Un effet similaire est observé si les précipitations augmentent aux hautes latitudes (ce qui est prévu par les modèles) : l'eau qui plongera sera l'eau douce de pluie. À terme, une forte perturbation du Gulf Stream est envisageable ;

- la variation d'albédo : actuellement, la neige et la glace des zones polaires réfléchissent les rayons solaires. En cas de fonte de cette neige ou de cette glace, les rayons solaires sont davantage absorbés, entraînant un réchauffement supplémentaire de ces régions et une fonte accentuées, amplifiant le phénomène.

Les rétroactions négatives sont plus incertaines :

- le développement de la végétation : dans certaines régions, le réchauffement climatique pourrait être favorable au développement de la végétation, qui est un puits de carbone, ce qui contribuerait à limiter l'augmentation des gaz à effets de serre ; or un article d'une équipe d'écologues forestiers néerlandais, paru lundi 15 décembre 2014 dans *Nature Geo-science*, annonce qu'ils n'observent aucune croissance accélérée des arbres tropicaux depuis cent cinquante ans, ce qui suggère que cette rétroaction négative n'existerait pas[289] ;
- le rôle de la vapeur d'eau : le réchauffement climatique pourrait augmenter la formation de nuages contribuant à réfléchir davantage les rayons solaires. Cependant, la vapeur d'eau est elle-même un gaz à effet de serre et le bilan final d'une augmentation de vapeur d'eau dans l'atmosphère est assez difficile à prévoir[208].

Une étude publiée en février 2018 évalue les effets complexes du changement climatique sur les nuages, qui couvrent en moyenne 70 % de la planète : elle observe que les nuages d'altitude s'élèvent et que les systèmes nuageux se déplacent généralement vers les pôles ; ces deux tendances devraient accélérer le réchauffement de la planète ; les observations à courte échelle de temps suggèrent que les nuages tropicaux bloqueront moins de

la planète ; les observations à courte échelle de temps suggèrent que les nuages d'opaque bloquerait moins de

lumière solaire, accroissant ainsi le réchauffement, et que les nuages en dégel pourraient constituer un plus faible frein au réchauffement qu'on ne l'avait imaginé ; les effets amplificateurs de l'effet de serre l'emportent largement sur les effets le limitant[208].

Conséquences du réchauffement climatique sur l'homme et la biosphère

Au-delà des conséquences directes, physiques et climatiques, du réchauffement planétaire, celui-ci influera sur les écosystèmes, en particulier en modifiant la biodiversité.

Les scientifiques commencent à proposer des projections jugées relativement fiables du devenir de la biodiversité sur la base de 5 facteurs déterminants : la dégradation et la destruction des habitats, le changement climatique, la disponibilité des éléments nutritifs, la surexploitation des ressources biologiques et les espèces invasives.

En 2010, la convention sur la diversité biologique (CDB) a proposé des scénarios de réponses de la biodiversité face au changement global. Ces outils prospectifs issus de modèles statistiques, d'expérimentations et des tendances observées visent à aider le dialogue. À partir des travaux publiés dans des journaux scientifiques évalués par les pairs, la CDB (via DIVERSITAS, le PNUE-WCMC) a produit ces « *scénarios de biodiversité* » avec la participation d'environ quarante experts, dont huit français[290,291].

En France, la fondation biodiversité (FRB), dans le cadre du programme phare « modélisation et scénarios de biodiversité » a traduit en français ce cahier technique[292].

Dans le monde, selon le GIEC, la capacité de nombreux écosystèmes à s'adapter naturellement sera *probablement* dépassée par la combinaison[293] sans précédent des :

- bouleversements climatiques : inondations, incendies de forêts, sècheresses, insectes, acidification des océans ;
- changements mondiaux : changements d'affectation des sols (déforestation, barrages…), pollution, surexploitation des ressources.

Le déséquilibre naturel qui s'ensuivra pourrait entraîner la disparition de plusieurs espèces animales et végétales.

C'est une préoccupation dont les États, comme la France[294], commencent à tenir compte.

Pour l'ensemble des populations humaines, ces effets « physiques » et « écologiques » auront de fortes répercussions.

La très grande complexité des systèmes écologiques, économiques et sociaux affectés par le réchauffement climatique ne permet pas de faire des prévisions chiffrées comme pour la modélisation physique de la Terre.

Au niveau biologique et écologique, un consensus scientifique a été atteint sur les points suivants :

- Le bilan global du réchauffement climatique en termes de biodiversité sera négatif selon un certain nombre d'études[295,296,297] et selon le consensus du quatrième rapport du GIEC qui envisage la disparition de 40 à 70 % des espèces évaluées[a 8] ; certaines espèces verront peut-être (et éventuellement provisoirement) leur population et leur aire de répartition augmenter (par exemple pour la marmotte à ventre jaune[298]).
- certains systèmes naturels seront plus affectés que d'autres par le réchauffement planétaire. Les systèmes les plus sensibles seraient : les glaciers, les récifs coralliens, les mangroves,

les forêts boréales et tropicales, les écosystèmes polaires et alpins, les prairies humides. Le blanchissement des récifs coralliens a été observé pour la première fois dès 1979 dans les Antilles[299]. Ce phénomène s'est développé régulièrement dans l'espace et le temps à des échelles toujours plus grandes, par exemple à l'échelle de l'océan Indien en 1998[300]. En 2017, 2015, 2016 et 2017 sont recensées comme les années les plus chaudes mesurées, avec, depuis 2000, une hausse moyenne de la température des océans de 0,17 °C par décennie. Leur partie supérieure (jusqu'à 700 mètres de profondeur) a accumulé une quantité de chaleur inégalée entraînant un blanchissement massif des coraux de juin 2014 à mai 2017, provoquant, dans les océans Atlantique, Indien et Pacifique, des mortalités sans précédent, allant jusqu'à 95 % pour certaines formations coralliennes[52].
- les dommages causés aux systèmes naturels, que ce soit par leur ampleur géographique ou leur intensité, seront proportionnels à l'intensité et à la rapidité du réchauffement planétaire.

Conséquences négatives pour l'humanité

Le GIEC prévoit des conséquences négatives majeures pour l'humanité au XXIe siècle :

- une baisse des rendements agricoles potentiels dans la plupart des zones tropicales et subtropicales ;
- une diminution des ressources en eau dans la plupart des régions sèches tropicales et subtropicales ;
- une diminution du débit des sources d'eau issues de la fonte des glaces et des neiges, à la suite de la disparition de ces glaces et de ces neiges.
- une augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes comme les pluies torrentielles, les tempêtes et les sécheresses, ainsi qu'une augmentation de l'impact de ces phénomènes sur l'agriculture ;
- une augmentation des feux de forêt durant des étés plus chauds ;
- l'extension des zones infestées par des maladies comme le choléra ou le paludisme. Ce risque est fortement minimisé par le professeur spécialiste Paul Reiter[301] mais le gouvernement du Royaume-Uni fait remarquer que ce professeur a choisi d'ignorer tous les rapports récents qui le contredisent[302] ;
- des risques d'inondation accrus, à la fois à cause de l'élévation du niveau de la mer et de modifications du climat ;
- une plus forte consommation d'énergie à des fins de climatisation ;
- une baisse des rendements agricoles potentiels aux latitudes moyennes et élevées (dans l'hypothèse d'un réchauffement fort).

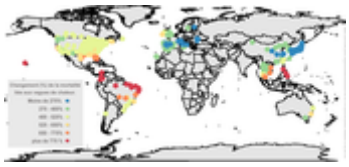
Conséquences positives pour l'humanité

Elles sont aussi associées au réchauffement prévu au XXIe siècle :

- une plus faible mortalité hivernale aux moyennes et hautes latitudes ;
- une augmentation éventuelle des ressources en eau dans certaines régions sèches tropicales et subtropicales ;
- une hausse des rendements agricoles potentiels dans certaines régions aux latitudes moyennes (dans l'hypothèse d'un réchauffement faible) ;
- l'ouverture de nouvelles voies maritimes dans l'Arctique canadien à la suite de la fonte des glaces dans le passage du Nord-Ouest[303].

Conséquences humaines du réchauffement climatique

Face au réchauffement climatique, l'Académie des Sciences américaine note, dans un rapport de 2002[305] : « il est important de ne pas adopter d'attitude fataliste en face des menaces posées par le changement de climat. (…) Les sociétés ont dû faire face à des changements du climat graduels ou abrupts durant des millénaires et ont su s'adapter grâce à des réactions diverses, telles que s'abriter, développer l'irrigation ou migrer vers des régions plus hospitalières. Néanmoins, parce que le changement du climat est destiné à continuer dans les prochaines décennies, dénier la possibilité d'événements climatiques abrupts ou minimiser leur impact dans le passé pourrait s'avérer coûteux. ».



Prospective : Degré de surmortalité (en %) induite par des vagues de chaleur pour quelques communautés ; en 2031–2080 par rapport à 1971–2020 (hypothèse : scénario RCP8.5 + scénario population à forte variante, sans mesure d'adaptation au changement climatique)[304]

Selon une étude publiée en juin 2017 par Nature Climate Change, la part de la population mondiale exposée plus de 20 jours par an à des canicules potentiellement mortelles pourrait passer de 30 % en 2016 à 74 % en 2100[306,307].

Une étude commandée par le Centre commun de recherche européen et publiée en août 2017 par Lancet Planet Earth, estime que deux Européens sur trois seront probablement affectés à la fin du siècle par des catastrophes liées au climat, contre 5 % sur la période 1981-2010, et que le nombre de décès causés par ces catastrophes passera de 3 000 à 150 000 par an si aucune mesure n'est prise pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et l'impact des événements météorologiques extrêmes. Le risque est particulièrement accentué pour les pays du sud de l'Europe, Portugal, Espagne, Italie ; les vagues de chaleur seraient dans la période 2071 à 2100 la catastrophe climatique la plus meurtrière et causeraient 99 % des décès[308].

Impact sur les régions côtières

La montée du niveau de la mer est évaluée entre 18 et 59 cm d'ici 2100 par le quatrième rapport du GIEC[a 7].

Les populations de certaines îles de l'océan Pacifique ou de l'océan Indien, telles que les îles Maldives ou Tuvalu, sont directement menacées, car une partie de leur territoire pourrait se retrouver submergée. En octobre 2019, une nouvelle recherche estime que la hausse du niveau de la mer due à la fonte des glaces entrainera la disparition d'importantes métropoles et de vastes portions de pays[309]. L'ensemble des populations vivant dans des régions côtières (soit plus de cinq cents millions de personnes) risquent de voir leur environnement dégradé : érosion du littoral, salinité des aquifères, disparition des zones humides, inondations permanentes[106].

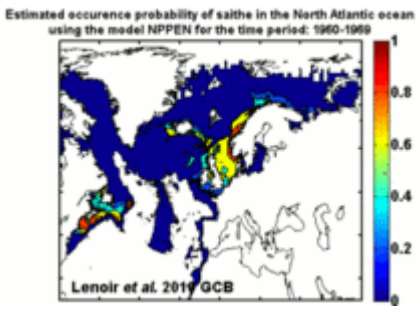
Localement, cette montée s'ajoute à des phénomènes qui ne sont pas liés au climat et qui entraînent un enfoncement du sol : charge des sédiments dans les deltas des fleuves, pompage des eaux souterraines, extraction de gaz et de pétrole, affaissements miniers...

En France, des études sont menées pour évaluer l'impact de la montée des eaux sur le littoral d'ici 2100 et les aménagements à envisager[310].

Pêcheries

Le réchauffement des océans a un impact sur les organismes marins et notamment sur les espèces exploitées. Cet impact s'observe sur la biogéographie des espèces et sur la structure et la trophodynamique de l'écosystème marin. Des bouleversements dans la distribution spatiale et l'abondance d'espèces de poissons, telle la morue de l'Atlantique, ont été observés en réponse directe ou indirecte aux modifications climatiques[311,312].

Probabilité de présence du lieu noir en Atlantique Nord (animation)



Probabilité de présence du lieu noir en Atlantique Nord estimée à partir d'un modèle d'habitat (NPPEN[313], pour la période allant de 1960 à 2099, basée sur le scénario d'évolution des températures du GIEC: ECHAM4 B2)

En Atlantique Nord, les espèces risquent d'effectuer en majorité un déplacement dirigé vers le nord, pour rester dans un environnement conforme à leurs exigences écologiques et plus particulièrement thermiques[314,315]. L'intensité et la vitesse des mouvements biogéographiques attendus, de même que le bilan des gains ou pertes d'aires de répartition spatiale diffèrent selon les espèces et l'intensité du réchauffement climatique. En mer du Nord, des espèces comme le lieu jaune, à la niche écologique étroite et aux exigences strictes, risquent de disparaitre à la suite de la contraction de leur aire de répartition. D'autres espèces, plus adaptées verront leur abondance augmentée ou/et leur limite supérieure de distribution repoussée au nord, tel le lieu noir[315]. La modification des aires de répartition des espèces de poissons exploitées risque de poser des problèmes d'un nouveau genre aux acteurs du secteur économique de la pêche. Associées à l'épuisement des ressources lié à la surexploitation, des disparitions locales d'espèces cibles risquent de survenir, conduisant les professionnels de la pêche à modifier leur mode d'activité afin de prévoir, d'anticiper et de compenser les changements potentiels de leurs ressources.

On ignore aussi à partir de quand les écosystèmes marins réagiront négativement à l'acidification des océans qu'entraîne la dissolution de quantités croissantes de CO_2. Des organismes tels que levures ou plantes (ex : *Arabidopsis thaliana*) sont - grâce à une seule protéine (histone H2A.Z) pour l'arabette — sensibles à des variations de température de moins de 1 °C, qui suffisent via cette protéine à modifier l'enroulement de l'ADN sur lui-même, ce qui contrôle l'accès à l'ADN de certaines molécules inhibant ou activant plusieurs dizaines de gènes[316,317]. Ceci devrait aider à mieux comprendre certains effets (sur les gènes) du réchauffement climatique.

Agriculture

Le GIEC publie en août 2019 un rapport sur l'usage des terres, bâti sur la revue de plus de 7 000 publications scientifiques, qui met en évidence la pression croissante des activités humaines sur les terres, provoquant une dégradation importante des sols (un quart des terres émergées et libres de glaces sont considérées comme dégradées). L'aridité progresse de près de 1 % par an entre 1961 et 2013, si bien qu'un demi-milliard de personnes vivent aujourd'hui dans des territoires en voie de désertification. Le sud-est asiatique, le pourtour du Sahara, l'Afrique du nord et la péninsule arabique sont principalement touchés. Les régions qui bordent la Méditerranée, où les sécheresses s'intensifient, pourraient bientôt l'être[318,319].

Facteur aggravant, la température du sol augmente près de deux fois plus vite que celle du globe avec ses océans. Les terres s'appauvrissent et la qualité nutritionnelle des récoltes baisse. Par ailleurs, la part de

l'agriculture, de la foresterie et du changement d'usage des sols dans les émissions de gaz à effet de serre est de 23 %. L'élevage et les rizières représentent près de la moitié des émissions de méthane[320]. Les experts du

GIEC prônent un rééquilibrage des régimes alimentaires entre les habitants de l'hémisphère nord, qui devraient réduire leur consommation de viande, aujourd'hui excessive, et ceux de l'hémisphère sud, dont le bol alimentaire est pauvre en protéines animales : deux milliards d'adultes sont en surcharge pondérale ou obèses, alors que dans le même temps 821 millions de personnes souffrent de malnutrition[318].

Enfin, le développement massif de l'afforestation de vastes étendues de terres nues pour en tirer la biomasse nécessaire à la production d'énergie non fossile menace la sécurité alimentaire en privant l'agriculture d'espaces qui lui sont indispensables, tout en nuisant aux forêts primaires qui sont des puits de carbone[318]. L'adoption par les populations de pratiques alimentaires moins carnées, qui recquièrent moins de surface à quantité de calories produites égale, pourrait libérer des terres et éviter la déforestation liée à l'élevage[319,321].

L'accroissement de l'évaporation devrait augmenter localement la pluviosité hivernale, sauf dans les pays méditerranéens qui verraient la sècheresse s'accentuer[b 3], dans un contexte où la violence et/ou la fréquence et la gravité des aléas climatiques pourraient croître.

En zone tempérée (hors des zones arides qui pourraient le devenir encore davantage) et circumpolaire, la conjonction du réchauffement, du taux de CO_2 atmosphérique et des pluies pourrait, dans un premier temps, accroître la productivité des écosystèmes. L'agriculture du nord des États-Unis, du Canada, de la Russie et des pays nordiques pourrait peut-être en profiter[b 4], mais des signes de dépérissement forestier semblent déjà visibles dans ces zones.

Le Comité économique et social européen, dans son avis du 3 février 2009[322], note que des études comparatives concluent à un bilan de l'agriculture biologique en moyenne meilleur que celui de l'agriculture dite *conventionnelle*[323]. Cela se justifie en termes de consommation de matières premières et d'énergie et en termes de carbone stocké ou de gaz à effet de serre émis. Cette conclusion tient compte des rendements moindres de l'agriculture bio, ce qui a justifié que le gouvernement allemand l'intègre parmi les moyens de lutter contre le changement climatique[324]). Le CESRE rappelle aussi qu'une agriculture réorientée et adaptée pourrait aussi, selon divers spécialistes et ONG, contribuer à amortir ou ralentir les effets du réchauffement (*cool farming*)[325]).

Le comité ne mentionne pas les agrocarburants comme une solution, citant le climatologue Paul Josef Crutzen qui considère que les émissions de protoxyde d'azote induites par la culture et la production de biodiesel suffisent, dans certaines conditions, à rendre le méthylester de colza pire que le fioul fossile vis-à-vis des effets climatiques[326]. Le comité[327] pose aussi la question des fumures traditionnelles et se demande « si l'utilisation intégrale des plantes, telle qu'elle est prévue dans le cadre des biocarburants de la deuxième génération, ne risque pas de porter atteinte aux objectifs fixés en matière de développement de la couche d'humus ». Le comité repose la question de l'écobilan des biocarburants en citant une étude comparative de l'Empa[328] qui a conclu que pour parcourir 10 000 km, une automobile moyenne (Volkswagen Golf) nécessitait, avec les rendements observés en Suisse, une surface au sol de 5 265 m^2 de colza (biodiesel) contre 37 m^2 de panneaux solaires (soit 134 fois moins).

Des études sont menées afin de comprendre les effets du réchauffement climatique et d'adapter les cultures, par exemple en sélectionnant des variétés qui se développent plus précocement dans l'année ou qui résistent mieux aux températures élevées. Ainsi, par exemple, une étude espagnole de 2019 inventorie les nombreux effets d'une hausse moyenne de 4 °C sur l'olivier. Il en ressort que tout le cycle végétatif est affecté, la production des fleurs, leur nouaison, la qualité et la maturité des fruits également[329]. La difficulté réside dans le fait d'obtenir d'une même espèce des mécanismes d'adaptation à des contraintes multiples. Une autre difficulté concerne les espèces plantées pour plusieurs décennies. Le choix des espèces selon leur lieu de plantation doit alors s'appuyer sur des anticipations encore incertaines du climat futur[168].

Forêt, sylviculture, agrosylviculture

Régions tropicales

Les forêts tropicales sont vulnérables aux sécheresses, cyclones et incendies ; pour les rendre plus résilientes au changement climatique, il faudrait une action coordonnée et multi-niveau pour mieux utiliser les outils de conservation, avec notamment l'expansion des aires protégées, le contrôle des incendies et l'application de la REDD (réduction des émissions de la déforestation et de la dégradation forestière, outil destiné à protéger le carbone forestier, auquel il manque des mécanismes explicites d'amélioration de la résilience de la forêt[330].

Amérique du Nord

En Amérique du Nord, Thomas Veblen[331], professeur de géographie à l'Université du Colorado et collaborateur de l'Institut de géophysique américain, a étudié des parcelles forestières de l'ouest des États-Unis sur les périodes 1955/1994 et 1998/2007. En trente ans, avec peut-être d'autres causes, un réchauffement moyen de 0,5 °C a déjà doublé le taux de mortalité des arbres des grandes forêts de l'ouest américain, en favorisant les sècheresses et pullulations de ravageurs (dont les scolytes, qui ont par exemple détruit environ 1,4 million d'hectares de pins dans le nord-ouest du Colorado). Le manque de neige a induit un déficit hydrique et un allongement des sècheresses estivales, avec multiplication des incendies, ce qui laisse craindre des impacts en cascade sur la faune et les écosystèmes.

La mortalité accrue touche tant feuillus que conifères, de toutes tailles et essences et à toutes les altitudes. Dans le nord-ouest américain et le sud de la Colombie-Britannique (Canada), le taux de mortalité dans les vieilles forêts de conifères a même doublé en 17 ans (c'est une fois et demie plus rapide que la progression du taux de mortalité des arbres des futaies californiennes où ce taux a été multiplié par deux en 25 ans). L'accélération de la mortalité a été moindre dans les forêts de l'ouest ne bordant pas le Pacifique (dans le Colorado et l'Arizona), mais « un doublement de ce taux de mortalité finira par réduire de moitié l'âge moyen des arbres des futaies, entraînant une diminution de leur taille moyenne », estime T. Veblen. Il craint aussi une moindre fixation du CO_2 de l'atmosphère. Il appelle à « de nouvelles politiques permettant de réduire la vulnérabilité des forêts et des populations », notamment en limitant l'urbanisation résidentielle dans les zones vulnérables.

France

En France, selon l'INRA, le réchauffement devrait aussi affecter les forêts ; plusieurs essences, dont le hêtre (très sensible au manque d'eau[332]) ne survivront pas dans la moitié sud du pays[333], et plusieurs ravageurs des arbres pourraient continuer à remonter vers le nord.

Une étude de 2008 a montré que la flore montagnarde (et une partie de la faune, dont des parasites tels que les tiques) répondait déjà au réchauffement en migrant en altitude (65 mètres/an en moyenne depuis les années 1980), mais avec impossibilité en moyenne montagne pour certaines plantes de monter plus haut.

En outre, les surfaces disponibles se réduisent quand on se rapproche des sommets soumettant les espèces à une concurrence plus aiguë.

Des modifications adaptatives phénologiques sont aussi observées, mais qui apparaissent à des rythmes différents selon les capacités adaptatives des espèces.

Contrairement à ce qu'on a d'abord cru ou espéré, les forêts de plaine ne sont pas épargnées ; comme la plupart des écosystèmes terrestres, elles subissent des changements latitudinaux et altitudinaux en réponse au forçage climatique. Selon une étude récente (2011), en plaine, les espèces ont en fait encore moins de possibilités d'échapper au réchauffement qu'en montagne, d'autant plus que les forêts de plaines sont en France souvent très fragmentées par des routes (depuis l'époque de Louis XIV parfois), ce qui les rend plus vulnérables[334].

des fragmentées par des routes (depuis l'époque de Louis XIV parfois), ce qui les rend plus vulnérables[334].

En montagne (500 à 2 600 m d'altitude), la remontée progressive des communautés végétales typiques de climats frais ou froids (remplacée par des espèces plus thermophiles) leur a permis de « compenser » 0,54 °C sur les 1,07 °C d'augmentation moyenne de température pour la période étudiée. Par contre en plaine, la compensation n'a été que de 0,02 °C pour un réchauffement similaire (1,11 °C)[334]. Ceci démontre une perte d'adéquation entre la flore forestière de plaine et le climat, qui en 2008 était 3,1 fois plus grave en plaine qu'en montagne. Ceci s'expliquerait par le fait que les espèces de plaines sont théoriquement plus adaptées aux températures chaudes mais en réalité bien plus soumises aux pollutions, au dérangement, à la fragmentation à la proximité de routes, habitations, villes, agriculture intensive qu'en montagne[334]. Or ces facteurs de stress écologique sont aussi autant d'obstacles aux migrations de propagules, d'espèces ou de biocénoses forestières. Enfin, les grands massifs forestiers montagneux sont souvent plus vastes et mieux interconnectés ou plus proches les uns des autres que les massifs de plaines, notamment dans les zones d'agriculture intensive qui abritent les sols les plus riches et donc les plus cultivés. Là, le vent ou la zoochorie peuvent ne plus suffire à assurer des migrations assez rapides pour la pérennité des écosystèmes forestiers de plaine. Les désynchronisations entre chorologie, phénologie, chronobiologie et nouveaux climats qui augmentent 3,1 fois plus vite en forêt de plaine qu'en forêt de montagne sont une source potentielle supplémentaire d'extinctions ou régression d'espèces et de biodiversité[334].

Enfin, d'une génération à l'autre, les espèces de forêt de plaines doivent parcourir une distance croissante pour retrouver un climat favorable à leur développement[334]. Elles doivent en montagne de migrer (en moyenne) sur 1,1 km, vers les sommets surtout, pour retrouver un environnement thermohygrométique proche de celui qui précédait ce réchauffement climatique. En Forêt de plaine, la distance à parcourir pour ce faire est environ trente fois plus importante (35,6 km en moyenne). Certaines espèces ont de faibles distances de dispersion. Et dans les meilleurs cas, elles ne dépassent pas quelques centaines de mètres par an. Les herbacées forestières semblent donc ne pas pouvoir suffisamment compenser par leurs potentialités naturelles de déplacement la hausse de température observée en plaine[334].

Les hivers plus doux et les étés plus secs modifient la répartition des agents pathogènes susceptibles de s'attaquer aux arbres. On a ainsi assisté à une expansion du dendroctone du pin d'Ouest en Est dans le Nord du continent américain, entraînant le dépérissement des pins et facilitant la propagation des incendies. Le cas de la chenille processionnaire en France a été cité plus haut. On peut également citer la maladie de l'encre du chêne, la maladie des bandes rouges du pin laricio. À l'inverse, la hausse des températures en été freine la propagation de la chalarose du frêne, en Slovénie et en Italie[335].

Accès à l'océan Arctique

Une diminution des glaces polaires arctiques a ouvert de nouvelles routes commerciales pour les navires[336,337], et rendrait accessibles des ressources sous-marines de pétrole ou de matières premières, mais avec des conséquences néfastes sur nombre d'espèces, comme le plancton ou les poissons à haute valeur commerciale.

L'accès à ces matières premières en des zones désormais accessibles risque d'être source de conflit entre pays côtiers de l'océan Arctique[d 3]. Ainsi, les États-Unis et le Canada ont-ils protesté lorsque, le 2 août 2007, la Russie planta son drapeau au fond de l'océan sous le pôle Nord.

Économie

Le rapport établi par Nicholas Stern, économiste anglais, estime que le réchauffement climatique entrainerait un coût économique de 5 500 milliards d'euros[338] en tenant compte de l'ensemble des générations (présente et futures) ayant à en subir les conséquences.

En 2007, pour la première fois, le *World Monuments Fund* (WMF, *Fonds mondial pour les monuments*) a introduit les modifications climatiques dans la liste des menaces pour cent sites, monuments et chefs-d'œuvre de l'architecture, les autres menaces principales étant les guerres et conflits politiques, et le développement industriel et urbain anarchique.

Le rapport du réassureur Munich Re du 17 octobre 2012 (sur la période 1980 à 2011) estime que c'est l'Amérique du Nord qui a subi l'aggravation la plus forte de « *pertes financières dues à des événements liés à la météo* », avec plus de 30 000 morts et 1 060 milliards de dollars (820 milliards d'euros) induits par la gestion et réparation des catastrophes climatiques. Ce même rapport a estimé que le nombre d'événements extrêmes a quintuplé dans le monde (et doublé en Europe).

En 2015, les économistes ne se risquent plus à donner des chiffres, mais jugent le coût potentiellement infini. Henri de Castries, président d'Axa, a déclaré en mai 2015, lors du Business Summit for Climate : « Un monde à +2 °C pourrait encore être assurable, un monde à +4 °C ne le serait certainement plus ». Selon un rapport de la Banque mondiale de 2013, les pertes et dommages annuels liés à des événements climatiques sont passés de 50 milliards $ dans les années 1980, à près de 200 milliards au cours de la dernière décennie[339].

Des écotaxes (taxe carbone notamment) pourraient alimenter un fonds vert pour le climat, et des banques, et des institutions de la finance internationale proposent depuis le milieu des années 2010 des outils financiers (obligation climat ou *climate bonds*) pour aider les collectivités et entreprises à financer (en s'endettant) la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre et l'adaptation[340].

Emploi

Un rapport de l'Organisation internationale du travail (OIT) datant de juillet 2019 estime que le réchauffement climatique pourrait coûter 80 millions d'emplois à temps plein d'ici 2030[341]. Avec l'augmentation de la température, la baisse du nombre d'heures travaillées dans le monde atteindrait 2,2 %. La majorité des pertes de productivité toucherait les secteurs agricole (60 % des heures de travail perdues) et de la construction (19 % de la perte de productivité).

Les données pessimistes du rapport sont nuancées par des estimations du nombre d'emplois créés. Ils a ainsi été estimé à plus de 65 millions sur la même période, lors de la COP24, et à 18 millions d'emplois nets par la même OIT, au profit de la zone Asie-Pacifique et au désavantage du Moyen-Orient et de l'Afrique « en raison de la dépendance de ces régions à l'égard, respectivement, des énergies fossiles et des mines »[342].

Santé

Des conséquences sanitaires des phénomènes climatiques sont redoutées : le quatrième rapport du GIEC met en avant certains effets sur la santé humaine, tels que « la mortalité associée à la chaleur en Europe, les vecteurs de maladies infectieuses dans diverses régions et les allergies aux pollens aux latitudes moyennes et élevées de l'hémisphère nord »[c 2] ou l'émergence ou réémergence de maladies infectieuses[343] et vectorielles.

Le changement climatique modifie déjà la distribution de nombreuses maladies infectieuses[a 9]. Des températures élevées dans les régions chaudes pourraient réduire l'extension du parasite responsable de la bilharziose. Mais le paludisme fait sa réapparition au nord et au sud des tropiques (Aux États-Unis, cette maladie était en général limitée à la Californie, mais depuis 1990, des épidémies sont apparues dans d'autres États, tels le Texas, la Floride, mais aussi New York ; Il est également réapparu dans des zones où il était peu fréquent, telles le sud de l'Europe et de la Russie ou le long de l'océan Indien. On constate également que les moustiques et les maladies qu'ils transmettent ont gagné en altitude[d 4]. La fréquence de la maladie de Lyme

(due à une bactérie spirochète) augmente, ainsi que son extension géographique, de manière corrélée à l'augmentation de l'aire de répartition de son principal vecteur connu, la tique[344].

En climat tempéré, un réchauffement global réduirait le nombre de morts par le froid ou les maladies respiratoires, mais augmenterait la surmortalité estivale lors des canicules. Le bilan global est encore inconnu, de même que les effets en termes d'espérance de vie[d 5].

En France, l'Institut de veille sanitaire (InVS) a évalué les grands risques pour la France métropolitaine et proposé des voies d'adaptations pour la veille sanitaire et la recherche[Lesquelles ?][345], et a publié fin 2010 une « note de position » sur ce thème[343].

Les effets attendus de la hausse des températures moyennes sont des décompensations de maladies chroniques respiratoires, neurovasculaires et cardiovasculaires, ainsi qu'une réémergence d'agents infectieux endémiques (zoonotiques notamment) et l'apparition de maladies exotiques dont paludisme, leishmaniose, chikungunya, Zika, dengue, crystosporidiose, maladies importées comme le choléra, Hantavirus... Ces maladies augmenteraient le besoin en lits d'hospitalisation et de réanimation et les besoins de formation et de préparation des équipes médicales. Les canicules sont en outre sources de coups de chaleur, de déshydratation, de décompensations (respiratoires, neurovasculaires et cardiovasculaires), avec de forts risques de surcharge des urgences pré- et intrahospitalières. Les tempêtes et ouragans et les inondations augmentent les risques de pathologie traumatique et le risque de submersion côtière. La chaleur exacerbe la pollution et les concentrations polliniques (et donc des risques d'asthme et de BPCO, ainsi que de maladies cardiovasculaires et allergies)[346].

Une étude publiée en juillet 2020 par le National Bureau of Economic Research (« Bureau national de recherche économique ») américain prévoit que, dans un scénario où peu serait fait pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, les taux de mortalité mondiaux augmenteraient de 73 décès pour 100 000 habitants d'ici à la fin du siècle[347]. Cette augmentation correspond presque au bilan actuel de toutes les maladies infectieuses réunies ; la tuberculose, le VIH, le paludisme, la dengue et la fièvre jaune. Les pays pauvres situés dans les régions les plus chaudes, tels que le Ghana, le Bangladesh, le Pakistan et le Soudan, subiraient une augmentation de 200 décès pour 100 000 habitants, alors que des pays plus froids et plus riches tels que la Norvège et le Canada verraient leur nombre de décès baisser, grâce à une raréfaction des situations de froid extrême[348,349].

Impact sur les femmes

L'impact du réchauffement climatique diffère pour les femmes et les hommes, en particulier dans les pays du Sud. Au lendemain des catastrophes, les femmes sont plus susceptibles que les hommes d'être déplacées, agressées sexuellement, victimes de violence et d'autres violations des droits humains. Elles suivent souvent une scolarité plus courte, ce qui les rend moins informées sur le changement climatique et moins susceptibles de participer à la prise de décisions qui auront une incidence sur leur vulnérabilité. Les femmes, qui doivent consacrer beaucoup de temps à se rendre sur des ressources en eau éloignées et à rentrer chez elles pour fournir de l'eau à leur famille, sont également plus touchées par la sécheresse et les pénuries d'eau. Les filles sont également plus susceptibles que les garçons de recevoir moins de nourriture en période de pénurie alimentaire, ce qui les rend plus vulnérables à la malnutrition et aux maladies.

Les normes sociétales conduisent à des options de moyens de subsistance limitées pour les femmes qui dépendent des ressources affectées par le changement climatique. Par exemple, en Afrique de l'Est, la sécheresse a obligé les éleveurs à se déplacer beaucoup plus loin pour trouver de l'eau. L'augmentation des distances a entraîné l'exclusion des femmes, car elles doivent pouvoir rentrer chez elles pour s'occuper des membres de leur famille. Cette exclusion a un impact négatif sur les revenus financiers des femmes.

Le plan d'action des Nations unies pour l'égalité des sexes dans le domaine du changement climatique vise à soutenir la « participation pleine, égale et significative » des femmes à la mise en œuvre de la convention des

Nations unies sur les changements climatiques et à intégrer une perspective de genre dans les travaux de l'organe des Nations unies[350].

Impact sur les droits humains

Le changement climatique affecte les droits humains comme les droits à la vie, à la santé, au logement ou encore à l'eau. Les événements climatiques extrêmes menacent la sécurité de milliards de personnes (santé, logements, accès à l'eau). Selon Amnesty International, des engagements doivent être pris par les États, en prenant des mesures pour empêcher la hausse des températures et réduire les émissions de gaz à effet de serre. Les mêmes engagements doivent également être pris par les entreprises[351].

Violences accrues

En 2013, des chercheurs (universités de Berkeley et de Princeton) ont publié les résultats d'une méta-analyse (compilation de 60 études quantitatives menées dans les domaines de l'archéologie, la criminologie, l'économie, la géographie, l'histoire, les sciences politiques et la psychologie)[352]. Ils y ont trouvé une « remarquable convergence de résultats » et des preuves que le réchauffement tend à exacerber les violences et la criminalité (agressions, meurtres, viols, violences domestiques), tant individuelles que collectives et ce, dans toutes les grandes régions du monde. En moyenne, pour chaque augmentation d'un écart type en direction d'un climat plus chaud (ou de précipitations plus extrêmes), les estimations médianes montrent une augmentation de 4 % de la violence interpersonnelle et une augmentation de 14 % des violences collectives ; or dans les régions habitées du monde, l'écart type devrait doubler voire quadrupler d'ici 2050[353]. « Avec un réchauffement attendu de 2 à 4 °C d'ici 2050, les conflits humains pourraient donc constituer un effet grave voire critique du changement climatique anthropique » concluent-ils. Cette tendance n'est pas encore expliquée, mais pourrait faire notamment intervenir les effets du manque d'eau potable et de nourriture dans certaines zones de sécheresse ou de désastre climatique, la chaleur pouvant également avoir des effets psychosociologiques et physiologiques rendant les individus plus irritables, en favorisant donc les conflits[353].

Déstabilisation géopolitique mondiale

Risques accrus de guerres et autres conflits armés

En 2003 un rapport commandé par le département de la Défense des États-Unis[354] puis en 2007 un rapport du programme des Nations unies pour l'environnement (UNEP) concluent que le réchauffement climatique pourrait entraîner une déstabilisation géopolitique mondiale, bouleverseraient les rapports géopolitiques entre les États, et augmenteraient les risques de guerre civile[355].

Le réchauffement climatique et son influence sur les changements environnementaux, couplés à des facteurs politiques, comportementaux ou économiques, sont pris en compte dans la seconde étude[356,357] d'éventuelles migrations forcées de population.

Le 3 juin 2009, les Nations unies ont adopté une résolution sur « Les Changements climatiques et leurs répercussions éventuelles sur la sécurité »[358].

Les militaires occidentaux s'intéressent aux conséquences des changements climatiques. C'est l'un des secteurs dont le champ de vision stratégique est de trente à cinquante ans. À leurs yeux, la crise écologique et climatique aggravera les tensions et des catastrophes. Des institutions en seront fragilisées, surtout dans les pays en développement. Certains États déjà faibles ne pourront assurer la stabilité sociale et économique. Les réseaux « terroristes » pourront profiter du vide du pouvoir et du désespoir des populations pour y prospérer. L'Union européenne sera amenée à intervenir militairement dans son environnement proche (bassin méditerranéen) ou dans des zones d'intérêt stratégique telles que le Proche et Moyen-Orient ou l'Arctique[359].

Barack Obama affirmait en mai 2015 : « Le changement climatique augmente les risques d'instabilité et de conflits. Aucune nation n'est épargnée. ». Le changement climatique fait entre 20 et 30 millions de déplacés ou réfugiés chaque année. Pour l'amiral David Titley (Conseiller sur le climat des Agences de sécurité américaines), la menace climatique pèse autant, si ce n'est plus, sur la sécurité intérieure des États-Unis que la menace terroriste. Les modifications pluviométriques et les sécheresses saisonnières au Sahel, combinées à d'autres facteurs socioéconomiques et politiques, ont poussé les peuples pastoraux à se mettre à l'agriculture ou à migrer vers le sud ou les côtes, accroissant la compétition pour l'eau et les terres arables avec les communautés de fermiers ou de pêcheurs. La guerre civile au Darfour (ouest du Soudan) ou la prolifération du mouvement terroriste Boko Haram au Nigeria ont été exacerbées par les conséquences du changement climatique sur l'accès aux ressources. De 2006 à 2011, la Syrie a connu la pire sécheresse de son histoire, attribuée au changement climatique ; 85 % du cheptel est mort et la production agricole s'est effondrée, affectant des millions d'habitants, qui ont dû quitter les campagnes pour vivre misérablement dans les villes et leurs périphéries, déstabilisant des zones déjà sous tension, d'où ont précisément débuté, en mars 2011, les premières manifestations contre le régime de Bachar el-Assad[360].

D'autres comme Bruno Tertrais (politologue) pensent que la thèse d'un réchauffement source de guerres est mal démontrée : selon lui, aujourd'hui les états ne se battraient plus pour l'accès aux ressources, qu'il juge devenues en général abondantes, mais pour leur gestion ; même pour l'eau et la guerre en Syrie, par exemple, cette guerre a commencé alors que la Syrie connaissait des excédents de blé, facilement distribuables à ceux qui en auraient eu besoin : ce ne serait donc pas la rareté de la ressource qui suscite la guerre, mais la gestion d'une ressource en fait disponible[361].

La question de savoir si *un monde plus chaud va générer des conflits armés* est cruciale pour l'évaluation des coûts socioéconomique du dérèglement climatique. Dans les années 2010, cette question reste controversée. En 2019, un collectif de onze centres d'expertise de diverses spécialités (économie, sciences politiques, géographie et sciences de l'environnement) a été réuni trois jours selon les principes de la « conférence de consensus », pour tenter, non pas d'y répondre définitivement, mais de quantifier l'incertitude et de mettre en évidence les zones de chevauchement[362,363].

Les experts concluent que des points de convergence ou signaux faibles émergent de sources de données diverses voire opposées :

- le climat a affecté les conflits armés organisés au sein des pays[363] ;
- le climat a déjà augmenté le risque de conflit armé, mais avec un effet jugé encore faible par rapport à d'autres facteurs tels qu'un faible développement socio-économique, les faibles capacités de l'État, des événements économiques inattendus ou la raréfaction de la nourriture et d'autres ressources naturelles[363] ;
- l'intensification des changements climatiques devraient accroître les risques futurs de conflits « au-delà des tendances historiques »[363] ;
- les problèmes sociaux les plus pressants sont épineux, multidisciplinaires et posent des défis nouveaux, alors que les mécanismes de liens climat-conflit constituent encore une incertitude essentielle. L'adaptation au changement climatique, la paix dans le monde, la capacité des États et des collectivités à agir et à être résilients, la solidarité et une gouvernance internationale intégrant mieux le risque climatique, la diversification économique et la résilience sont des facteurs importants. Le besoin de faciliter les migrations adaptatives et les relocalisations via une nouvelle institution a été discuté (niveau de preuve classé « limité » et degré d'accord « faible »)[363].

Des conflits inter-étatiques

En août 2012, John Kerry, devenu depuis lors secrétaire d'État, a tenu un long discours au Sénat sur les risques de conflits liés au changement climatique. Face à des conservateurs républicains niant la réalité scientifique du réchauffement climatique, John Kerry démontrait que la diminution du débit du fleuve Indus pouvait amener le gouvernement indien à préserver ses ressources en eau par la construction de barrages. Son voisin, le Pakistan se verrait ainsi privé d'un important accès à l'eau ; John Kerry estime qu'au vu de l'état de ses forces armées traditionnelles, le Pakistan ne se risquerait pas à un conflit conventionnel pour préserver ses ressources en eau, mais opterait sans doute pour la menace nucléaire et, le cas échéant, passerait à l'acte. La perspective de guerres liées au changement climatique a également été évoquée par les agences nationales, en particulier la CIA, et par le Pentagone qui, dans son rapport 2010 sur la Défense, identifie le changement climatique comme une des causes essentielles dans la possible multiplication des conflits[364].

Interactions avec la crise de 2008-2009

En 2009, l'agence internationale de l'énergie (AIE) constate[365,366] - en raison de la crise - une baisse de la consommation d'énergie, mais aussi une baisse des investissements en économies d'énergie (un cinquième en moins en 2009), L'AIE redoute une nouvelle hausse induite par une éventuelle reprise de l'économie. Il faudrait selon cette agence investir 10 500 milliards de dollars d'ici 2030 pour « décarboner » l'économie afin de limiter l'impact sur le climat (c'est le scénario 450 ppm de CO_2 à ne pas dépasser pour que le réchauffement ne dépasse pas 2 °C en 2100). Avec la poursuite du scénario tendanciel (+1,5 % par an de consommation d'énergie de 2007 à 2030, soit +40 % au total), c'est une hausse moyenne de 6 °C qui pourrait être observée à la fin du XXIe siècle[365].

Réponses face à la menace climatique

La réalité du risque et du phénomène fait maintenant presque consensus. L'auteur du rapport Stern, Nicholas Stern, en 2006, reconnaissait lui-même avoir sous-estimé l'ampleur du problème[367,368] : « La croissance des émissions de CO_2 est beaucoup plus forte que prévu, les capacités d'absorption de la Planète se réduisent et la vitesse des changements climatiques est plus rapide qu'envisagé. »

Centrale thermique et éoliennes à Peine, Basse-Saxe, Allemagne.

Face au problème, trois approches se complètent : lutte contre les émissions de gaz à effet de serre (mitigation), puits de carbone dont le développement massif pourrait donner lieu a une restauration du climat, et adaptation.

L'effort international a d'abord visé à réduire le CO_2 (gaz à longue durée de vie), alors qu'une action urgente sur les polluants à courte durée (dont le méthane, l'ozone troposphérique et le carbone noir) pourrait mieux réduire le réchauffement de l'Arctique[369]. La réduction du CO_2 est importante également, mais ses effets se feront sentir à plus long terme (après 2100).

L'Observatoire mondial de l'action climatique non-étatique publie un rapport annuel qui fait le point sur les actions par secteur et par territoires. L'édition 2018 se concentre sur « l'implication des acteurs de la finance (investissement, banque et assurance) »[370].

La prospective éclaire les gouvernements, entreprises et individus, qui, grâce à la connaissance des tendances générales, peuvent prendre des décisions politiques et stratégiques plus pertinentes pour limiter les impacts du changement climatique. Les rapports du GIEC sont la principale base d'information et de discussions, notamment dans le cadre du protocole de Kyoto et de ses suites (*Bali*, décembre 2007, etc.). L'augmentation prévue de 1,5 à 7 °C pour le siècle à venir pourrait être moindre si des mesures environnementales sévères

étaient prises ou qu'un réel compétiteur aux énergies fossiles émergeait. En dépit des succès dans le secteur des énergies renouvelables, du nucléaire et surtout d'un changement de mode de vie et de consommation, la recherche n'a pas encore offert d'alternative à court terme aux carburants fossiles. Énergie éolienne, énergie hydroélectrique, énergie géothermique, énergie solaire, méthanisation, énergie hydrolienne, pile à combustible, énergie nucléaire, stockage géologique du dioxyde de carbone sont néanmoins en rapide développement. En outre, le gisement d'économies d'énergie — les négawatts — est encore considérable. Pour certains scientifiques, il n'est pas possible de répondre aux objectifs de réduction des émissions de CO_2 sans développer l'énergie nucléaire[371,372].

La société civile propose aussi des réponses, notamment via les campagnes et actions de lobbying des ONG et associations locales[réf. souhaitée]. En France, les ONG de protection de l'environnement et les associations concernées se sont regroupées au sein du Réseau Action Climat (RAC).

Le réchauffement climatique pourrait se traduire par une météo plus instable (vagues de chaleur ou de froid, inondations ou sécheresse, tempêtes et cyclones tropicaux)[373]. De plus, d'après le GIEC, la capacité à s'adapter naturellement de nombreux écosystèmes sera probablement dépassée, causant une extinction des espèces, par la combinaison[374] sans précédent de :

- changements climatiques provoquant : incendies de forêts, augmentation probable de l'intensité des cyclones tropicaux, acidification des océans, déplacement des espèces, fonte des glaciers et calottes polaires, impacts économiques et géopolitiques majeurs ;
- la pression humaine amplifiée par la surpopulation : régression et dégradation des sols (déforestation, barrages, nouvelles cultures et organismes génétiquement modifiés), pollution, surexploitation des ressources.

En raison de l'inertie thermique du système, et des rétroactions positives, même si l'on arrêtait d'émettre des gaz à effet de serre, les températures continueraient d'augmenter, et le niveau des océans de s'élever au cours des siècles prochains[375].

Protocole de Kyoto

La convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques est signée en 1992 lors du sommet de la Terre à Rio de Janeiro. Elle entre en vigueur le 21 mars 1994. Les signataires de cette convention se fixent comme objectif de stabiliser la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère à « un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du climat »[376]. Les pays développés ont comme objectif de ramener leurs émissions de gaz à effet de serre en 2010 au niveau de 1990[377], cet objectif n'étant pas légalement contraignant[378].

En 1997, les signataires de la convention cadre adoptent le protocole de Kyoto, dont la nouveauté consiste à établir des engagements de réduction contraignants pour les pays dits de l'annexe B (pays industrialisés et en transition) et à mettre en place des mécanismes dits « de flexibilité » (marché de permis, mise en œuvre conjointe et mécanisme de développement propre) pour remplir cet engagement[379]. Le protocole de Kyoto entre en vigueur le 16 février 2005 à la suite de sa ratification par la Russie[380].

En juillet 2006, le protocole de Kyoto est ratifié par 156 États[381]. Les États-Unis et l'Australie (voir ci-dessous) n'en sont pas signataires. Les États-Unis sont pourtant le deuxième émetteur mondial de gaz à effet de serre, pour 20 %[382]. Les pays de l'annexe B se sont engagés à réduire leurs émissions de six gaz à effet de serre (CO_2, CH_4, N_2O, SF_6, HFC, PFC) de 5,2 % en 2008-2012 par rapport au niveau de 1990.

En Australie, après la victoire des travaillistes aux élections législatives du 24 novembre 2007, le nouveau premier ministre Kevin Rudd annonce avoir ratifié le protocole de Kyoto[383].

Les pays en voie de développement, y compris de gros contributeurs aux émissions comme l'Inde, 5e émetteur mondial, et la Chine, 1re émettrice[382], n'ont pas d'objectifs de réduction car ils l'ont refusé au motif que :

- leurs niveaux d'émissions ramenés au nombre d'habitants sont faibles ;
- le stock de gaz à effet de serre d'origine anthropique présent dans l'atmosphère résulte pour l'essentiel des émissions des pays développés depuis le XIXe siècle ;
- il serait injuste d'imposer des privations draconiennes à des populations à faible niveau de vie qui aspirent à rejoindre celui des pays développés.

Ces arguments, fort valables à la fin des années 1990, le sont beaucoup moins 15 ans plus tard, en particulier pour la Chine dont les émissions par habitant ont dépassé celles de la France.

Union européenne

L'Union européenne a lancé en 2005 le système communautaire d'échange de quotas d'émission, 1er marché de « permis contraignant » au niveau mondial.

En octobre 2006, le Comité économique et social européen (CESE) active son Observatoire du développement durable (ODD)[384]. La Commission européenne publie le 29 juin 2007 un « Livre vert » sur l'adaptation au changement climatique de l'Union européenne[385]. Il prône à la fois l'adaptation et l'atténuation, l'amélioration des connaissances (y compris sur les besoins et coûts d'adaptation (voir le 7e programme-cadre de recherche de l'UE, 2007-2013), l'élaboration de stratégies et d'échanges de bonnes pratiques entre pays, de nouveaux produits assurantiels (« dérivés climatiques », « obligations catastrophe », l'adaptation des marchés européens des assurances (voir directive « Solvabilité II ») et des fonds « catastrophes naturelles » ainsi que des politiques agriculture et pêche, avec le développement d'une solidarité interne à l'UE et avec les pays extérieurs touchés. Cinquante millions d'euros sont réservés par la Commission pour 2007-2010, pour favoriser le dialogue et l'aide à des mesures d'atténuation et d'adaptation ciblées, dans les pays pauvres.

L'UE disposait en 2006 de 66 % de la puissance mondiale installée en éolien terrestre et en mer, devant les États-Unis (16 %), l'Inde (8 %) et le Japon (2 %), et d'un tiers[386] [réf. non conforme] du parc nucléaire mondial. Cela la rend moins dépendante des énergies fossiles que la Chine et les États-Unis. L'UE encourage aussi tous les acteurs à préparer leur adaptation au changement climatique[387].

La France a publié une « Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique » en juillet 2007[N 9] [réf. non conforme] et envisageait une gouvernance adaptée[388], notamment dans le cadre du Grenelle Environnement. En juillet 2011, la France a publié le premier « Plan national d'adaptation au changement climatique ». Il prévoit 80 actions débouchant sur 230 mesures concrètes dont le coût est estimé à 171 millions d'euros[389]. L'Institut national de la recherche agronomique a créé un métaprogramme d'adaptation au changement climatique de l'agriculture et de la forêt (ACCAF)[390].

La Directive sur le système européen d'échange de droits d'émission devait être modifiée en 2008, pour inclure notamment les émissions de l'aviation. Cela a été refusé par le Conseil mais devrait être tout de même inclus d'ici 2012[391].

En 2008, la proposition sur les limites d'émission des voitures (130 g de CO_2 par km[392]) a été validée par le Parlement européen au second semestre 2008[393]. De nouvelles mesures doivent être prises afin de ramener ce taux d'émission à 120 g de CO_2 par km [réf. nécessaire].

Régions et collectivités d'Europe et des États-Unis pourraient coopérer pour le climat. Ainsi Mercedes Bresso, présidente du Comité européen des régions, et Elisabeth B. Kautz, présidente de la Conférence des maires américains (organisation officielle des maires des quelque 1 200 villes de plus de 30 000 habitants que comptent les États-Unis, qui est une sorte d'équivalent de la Convention des maires européenne, laquelle

rassemble en 2010 100 régions et 2 000 villes, dont 25 capitales), ont signé le 5 mai 2010 un « Mémorandum d'entente et de coopération » pour lutter contre le changement climatique[394] [réf. non conforme].

Engagements conjoints des États-Unis et de la Chine en 2014

Pour la première fois, les États-Unis et la Chine ont annoncé le 12 novembre 2014, en marge du Forum Asie-Pacifique (APEC), s'être fixé des objectifs concernant leurs émissions de gaz à effet de serre. Dans la perspective de la réunion de Paris, qui devait permettre à la communauté internationale de trouver en 2015 un terrain d'entente afin de limiter le réchauffement climatique à une hausse de 2 °C, Pékin s'est engagé à atteindre son pic d'émissions de gaz à effet de serre « autour de 2030 », ajoutant qu'elle « essaierait » d'y arriver plus tôt. C'est la première fois que la deuxième puissance économique mondiale, qui est le premier émetteur mondial de gaz à effet de serre, se fixe un objectif relatif à son pic d'émissions. Les États-Unis s'engagent de leur côté à réduire de 26 à 28 % leurs émissions en 2025 par rapport au niveau de 2005. De fait, aucun accord mondial sur le climat ne pourra se faire sans ces deux pays, dont les émissions représentent 45 % du total planétaire[395].

Accord de Paris sur le climat en 2015

L'accord de Paris sur le climat, approuvé par l'ensemble des 195 délégations le 12 décembre 2015 et entré en vigueur le 4 novembre 2016, est le premier accord mondial sur le climat. Il se veut empreint de pragmatisme à l'anglo-saxonne : c'est une déclaration d'intention, sans aucune mesure coercitive - ni amendes ni mesure de rétorsion (le protocole de Kyoto en prévoyait, mais sans succès[réf. nécessaire]). Pour être efficace, l'accord tente le pari de la transparence. Plus qu'un devoir, il établit une obligation à laquelle chaque pays aura à se plier en soumettant régulièrement ses objectifs de réduction d'émission de gaz à effet de serre à des grilles de renseignements et d'analyses communément partagées et compréhensibles par tous[396]. L'accord prévoit de contenir d'ici à 2100 le réchauffement climatique « bien en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels » et si possible de viser à « poursuivre les efforts pour limiter la hausse des températures à 1,5 °C »[397].

Accord mondial pour l'élimination des hydrofluorocarbures en 2016

L'accord mondial pour l'élimination des hydrofluorocarbures (HFC), signé à Kigali le 15 octobre 2016 par les 197 pays qui sont partie prenante au protocole de Montréal de 1987 sur la protection de la couche d'ozone, fixe un calendrier pour l'élimination progressive des utilisations de ce gaz dont le pouvoir réchauffant est 14 000 fois supérieur à celle du CO_2, si bien que 9 à 19 % des émissions de GES (en équivalent CO_2) pourraient lui être imputées d'ici à 2050. Leur élimination progressive permettrait d'éviter jusqu'à 0,1 °C de réchauffement des températures d'ici à cette date et 0,5 °C d'ici à 2100.

Cet accord est plus contraignant que l'accord de Paris sur le climat, puisqu'il prévoit des sanctions en cas de non-respect des engagements :

- les pays développés doivent réduire leur consommation de 10 % d'ici à 2019 par rapport aux niveaux de 2011-2013, puis atteindre 85 % de baisse d'ici à 2036 ;
- les pays en voie de développement, dont la Chine, premier producteur mondial de HFC, et les pays africains, entameront leur transition, un peu plus tard, en 2024 et réduiront leur consommation de 80 % d'ici à 2045 ;
- un troisième groupe de pays comportant l'Inde, le Pakistan, l'Iran, l'Irak et les pays du Golfe commencera à s'exécuter en 2028 pour atteindre 85 % de baisse en 2047[398], [399].

Déclarations reconnaissant l'urgence climatique

En septembre 2019, répondant à la perception de plus en plus partagée dans le monde que l'humanité et les autres espèces sont crucialement confrontées à une grave crise climatique, neuf pays (dont le Royaume-Uni, la France et l'Argentine) ont fait une déclaration nationale sur l'urgence climatique[Laquelle ?][réf. nécessaire] (déclaration déjà faite dans 983 juridictions et administrations locales de 18 pays couvrant 212 millions de citoyens)[400,401].

Juste avant l'ouverture, le 23 septembre, du sommet des Nations unies sur le climat (qui coïncide avec une semaine de grève mondiale organisée par des militants du climat), de grands organes de presse annoncent lancer l'initiative « Covering Climate Now » (« Couvrons le Climat maintenant »), avec comme slogan « Agissez maintenant et évitez une crise climatique ». Ils constatent que comme pour la biodiversité, les scientifiques n'arrivent pas à se faire entendre des décideurs et semblent condamnés à contempler l'effondrement des écosystèmes et le réchauffement du climat[402]. « L'histoire des politiciens et du changement climatique est en partie celle de décideurs qui repoussent des choix difficiles. Mais cela ne peut plus durer », commente la revue *Nature*, qui, avec d'autres publications scientifiques, a rejoint l'initiative « Covering Climate Now »[403]. Mi-septembre, plus de 250 grands médias mondiaux (audience combinée : plus d'un milliard de personnes) décident de collaborer, durant une semaine, pour attirer l'attention sur la nécessité d'une action urgente pour le climat[402].

États-Unis

Deuxième pays pollueur derrière la Chine[404], les États-Unis, via l'administration de George W. Bush, refusent de présenter de nouveau en juillet 2005 le traité[Lequel ?] pour ratification, considérant celui-ci comme un frein pour l'économie nationale et le fait que le combat contre le réchauffement climatique doit se faire non pas avec une simple réduction des gaz à effet de serre, mais par une meilleure gestion de leur émission. De grandes entreprises pétrolières comme Exxon semblent avoir influencé significativement cette non adhésion des États-Unis[405].

De nombreux États, telle la Californie, ont néanmoins pris des mesures fédérales de restriction sur les gaz à effet de serre[réf. nécessaire].

Lutte contre le réchauffement climatique aux États-Unis

Éoliennes au Texas.

Depuis 2001, les États du Texas, de la Californie et du New Hampshire ont instauré un dispositif de contrôle des émissions de gaz pour différents secteurs industriels et énergétiques. Le dispositif adopté par la Californie, qui s'applique depuis 2009, prévoit de réduire les émissions de gaz polluants de 22 % en moyenne d'ici 2012 et de 30 % d'ici 2016.

En outre, le principe des marchés des permis d'émission consiste à accorder aux industriels « pollueurs », gratuitement, à prix fixe ou aux enchères, des quotas d'émissions de CO_2, que ceux-ci peuvent ensuite s'échanger. Chaque émetteur de CO_2 doit alors vérifier qu'il détient autant de permis d'émission que ce qu'il va émettre. Dans le cas contraire, il se trouve contraint soit de diminuer ses émissions, soit d'acheter des permis. Inversement, si ses efforts de maîtrise des émissions lui permettent de posséder un excédent de permis, il peut les vendre.

De tels procédés ont été réalisés pour réduire les pluies acides aux États-Unis et ont connu des succès (programme « Acid rain »)[réf. nécessaire]. Ce système des marchés de permis d'émission fait partie du dispositif

(programme « Acid rain »)[illegible]. Ce système des marchés de permis d'émission fait partie du dispositif du protocole de Kyoto qui n'était pas ratifié par les États-Unis en juillet 2006[406].

En 2004, le sénateur républicain John McCain et le démocrate Joseph Lieberman déposent un projet de loi visant à limiter les rejets dans l'atmosphère ; soutenu par les grandes entreprises Alcoa, DuPont de Nemours et American Electric Power, il n'est pourtant pas adopté[réf. nécessaire].

Les États-Unis financent avec la Chine, le Japon, la Russie et l'UE, le projet ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*), projet de recherche sur la fusion nucléaire contrôlée, mené à Cadarache (sud de la France). Toutefois, la production nette d'énergie par fusion nucléaire reste à l'état d'espoir lointain : les prévisions les plus optimistes des partisans du projet parlent de plusieurs dizaines d'années.

Le 8 juillet 2008, George Bush signe un texte engageant les États-Unis à réduire de moitié des émissions des GES d'ici à 2050, à Toyako (Japon), dans le cadre d'une réunion du G8[réf. nécessaire].

Début décembre 2009, l'agence de protection de l'environnement des États-Unis (EPA) rend un rapport décrétant que les émissions de gaz à effet de serre jugés responsables du réchauffement climatique représentent une menace pour la santé publique[407].

En juillet 2016, l'état de New York adopte une réglementation sur l'énergie propre (*Clean Energy Standard*) qui garantit le soutien financier de l'état aussi bien au nucléaire qu'aux énergies renouvelables. En effet, le nucléaire assure 61 % de la production d'électricité décarbonée de l'état et ce dernier ne pourrait pas atteindre ses objectifs de réduction de 40 % des émissions de GES d'ici 2030 si les centrales nucléaires fermaient pour cause de rentabilité insuffisante face à la concurrence des centrales au gaz. 3 370 MW de réacteurs nucléaires étaient menacés avant fin 2017[408,409].

En 2018, la Chambre des représentants des États-Unis met en place un Comité spécial sur la crise climatique[410] dans le contexte d'une administration Trump considérée comme impliquée dans le déni du changement climatique.

Lutte contre le réchauffement climatique en Chine

La Chine, pour lutter contre le réchauffement climatique, investit dans plusieurs domaines de pointe :

- l'électricité nucléaire : en mars 2014, la Chine exploite 21 réacteurs nucléaires opérationnels répartis sur sept sites nucléaires et compte 28 réacteurs en construction[411], dont deux réacteurs pressurisés européens (EPR) ;
- les éoliennes : la Chine est depuis 2010 au 1er rang mondial pour sa puissance installée éolienne[412] ; elle était en 2012 au 2e rang mondial pour la production d'électricité éolienne et l'éolien représentait 1,9 % de sa production d'électricité en 2011 et 2,4 % en 2012[413] ;
- l'énergie photovoltaïque : la Chine s'est placée largement en tête du marché mondial en 2013, avec 11,8 GW installés en photovoltaïque, se hissant au 2e rang mondial pour sa puissance installée : 18,3 GW fin 2013, derrière l'Allemagne[414] ;
- le solaire thermique (chauffe-eau solaire, etc.) : la Chine est de très loin le 1er pays au monde pour la puissance thermique installée en capteurs thermiques, avec 67 % du total mondial en 2012[415] ;
- la capture de CO_2 dans les centrales électriques à charbon : la Chine vend désormais sa technologie aux États-Unis[416] ;
- la promotion subventionnée par l'État chinois des lampes à basse consommation d'électricité[417] ;
- la voiture électrique : l'objectif de ventes de véhicules hybrides et électriques a été revu à la hausse : cinq millions d'unités à l'horizon 2020, avec un temps intermédiaire de

500 000 immatriculations en 2015. Le gouvernement prévoit des allocations budgétaires pour soutenir la filière de l'électrification, promettant une enveloppe de 12 milliards d'euros

de subventions pour les entreprises, notamment dans le domaine des infrastructures. Le client final n'est pas oublié et les autorités chinoises évoquent un dispositif de prime à l'achat renforcé[418].

Stratégies de lutte contre le réchauffement climatique

Une note publiée en 2015 par la Banque mondiale synthétise les grandes lignes des choix stratégiques nécessaires, à partir des travaux du GIEC, en soulignant que pour atteindre l'objectif de limitation du réchauffement climatique au-dessous de 2 °C, les émissions de gaz à effet de serre doivent être réduites à zéro avant 2100 ; tant que nous émettrons plus que nous capturerons ou compenserons par des puits de carbone tels que les forêts, la concentration de CO_2 augmentera et la température s'élèvera. Les trajectoires techniquement réalisables pour atteindre la neutralité carbone reposent sur quatre piliers[419] :

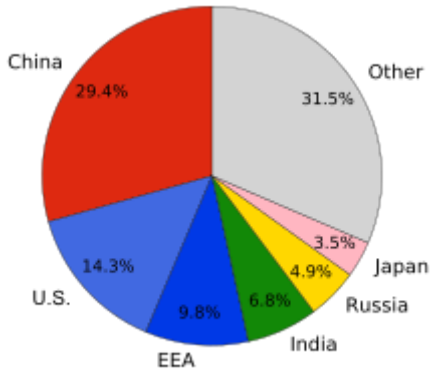
1. ramener l'intensité carbone de la production mondiale d'électricité à un niveau proche de zéro dès 2050, en particulier dans les pays à hauts revenus et dans les pays émergents, en remplaçant les énergies fossiles par les énergies renouvelables et le nucléaire ou en neutralisant leurs émissions par la capture et séquestration du CO_2 (CCS) ; la biomasse couplée avec la CCS permettent même d'obtenir des émissions nettes négatives ; la séquestration massive du carbone est proposée par les promoteurs de la restauration climatique ;
2. basculer des énergies fossiles vers l'électricité à bas carbone pour réduire massivement les émissions dans les secteurs à forte intensité énergétique : transports, bâtiments, industrie ; les véhicules électriques ou hybrides rechargeables, les pompes à chaleur, les fours et chaudières électriques ont une efficacité énergétique bien supérieure à celle de leurs homologues à énergies fossiles et sont un moyen efficace pour abaisser rapidement les émissions ;
3. améliorer l'efficacité énergétique permet de réduire les émissions, faciliter le basculement vers l'électricité et réduire les coûts énergétiques, y compris dans l'agriculture (réduction des déchets par leur utilisation énergétique, utilisation du bois dans le bâtiment, etc.) et l'alimentation (basculement vers des produits à bas carbone, libération de terres) ;
4. mieux gérer les sols : les secteurs agricole et forestier devraient atteindre la neutralité carbone dès 2030, en développant les puits de carbone par la reforestation et en évoluant vers des pratiques moins émissives.

Les auteurs mettent en garde contre les choix fondés seulement sur les coûts et sur les bénéfices à court terme, qui peuvent mener à des impasses coûteuses à long terme ; par exemple, l'expansion urbaine à faible densité non planifiée, la destruction de forêts ou le choix de remplacer le charbon par le gaz plutôt que par les énergies renouvelables.

Nouveaux pays industrialisés contre États-Unis

Un point de débat est de savoir à quel degré les nouveaux pays industrialisés tels que l'Inde et la Chine devraient restreindre leurs émissions de CO_2. Les émissions de CO_2 de la Chine ont dépassé celles des États-Unis en 2007[420] alors qu'elle n'a dépassé les États-Unis qu'en 2014 pour le PIB à parité de pouvoir d'achat (PPA)[421]. En 2015, la Chine est le premier producteur et consommateur de charbon[422], sa première source d'énergie, principale source d'émissions de GES au niveau mondial. L'augmentation du niveau de vie accroît la demande de produits « énergivores » tels que les automobiles ou les climatisations, et l'investissement massif en infrastructures, usines et logements consomme d'énormes quantités d'acier et de béton, dont la fabrication est très émettrice de GES.

La Chine a répondu qu'elle avait moins d'obligations à réduire ses émissions de CO_2 par habitant puisqu'elles représentaient un sixième de celle des États-Unis[423,424] ; en 2014, elles atteignaient 6,66 tCO_2/hab contre 16,22 t/hab pour les États-Unis[422]. L'Inde, également l'un des plus gros émetteurs de la planète, a présenté les mêmes affirmations, ses émissions de CO_2 par habitant étant près de vingt fois inférieures à celles des États-Unis en 2007[425] ; en 2014, elles n'étaient encore que de 1,56 tCO_2/hab. Cependant, les États-Unis ont répliqué que s'ils devaient supporter le coût des réductions de CO_2, la Chine devrait faire de même[426,427]. C'est bien ce qu'a fait la Chine, devenue en quelques années numéro un pour la quasi-totalité des énergies renouvelables (voir énergie en Chine).



Répartition des émissions de CO_2 en 2014 par pays, ou groupe de pays (émissions dues à la combustion des combustibles fossiles et aux cimenteries).
Source : Commission européenne, *Emissions database for global atmospheric research* (EDGAR) [réf. non conforme].

Mesures individuelles de lutte contre le réchauffement climatique

En dehors de mesures collectives, des personnalités ont esquissé les gestes quotidiens à mettre en œuvre, dès aujourd'hui, pour limiter le réchauffement climatique comme Jean-Marc Jancovici[428] ou Al Gore[429].

Quelques mesures relèvent des économies d'énergie, en particulier des énergies fossiles (voir efficacité énergétique dans les transports) :

- éviter de prendre l'avion[430]. Un kilomètre en avion long-courrier émet 60 g d'équivalent carbone par personne[431] ; un voyage intercontinental représente près des 500 kg d'équivalent carbone. *A fortiori*, pour les voyages court-courrier (100 g d'équivalent carbone par kilomètre et par personne), préférer le train ;
- utiliser le moins possible les véhicules automobiles (préférer la bicyclette ou les transports en commun chaque fois que possible). Une voiture émet entre 100 et 250 g d'équivalent CO_2 par km parcouru, soit entre 30 et 70 g d'équivalent carbone. 20 000 km/an représentent entre 600 et 1 400 kg d'équivalent carbone. Si une automobile est nécessaire, choisir le modèle le moins polluant et le plus efficace possible[432] ;
- atteindre une isolation optimale des bâtiments, au mieux par le recours à l'architecture bioclimatique qui réduit au maximum les besoins de chauffage (15 kWh/m^2/an, les anciennes maisons étant à 450 kWh/m^2/an) et supprime le besoin de climatisation active, tout en améliorant le confort de vie.

Modification du mode de vie

Les modes de vie font partie des facteurs qui pèsent sur le réchauffement climatique. Certains modes de vie sont sobres. D'autres ne le sont pas. Le Club d'Ingénierie Prospective Énergie et Environnement (CLIP)[433] a consacré le n° 21 de ses Cahiers aux *Modes de vie et empreinte carbone*[434]. Cinq scénarios ont été étudiés. Trois scénarios font place à des modes de vie alternatifs qui favorisent l'être plutôt que l'avoir. La qualité de vie, l'importance de la vie avec les autres, le « temps pour soi », l'acquisition de connaissances remplacent le consumérisme et le productivisme. Seuls ces scénarios permettent d'approcher les objectifs du Facteur 4. L'étude préconise des actions afin de favoriser leur émergence.

Politiques de développement durable

La résolution du problème du réchauffement climatique implique de prendre en considération non seulement les paramètres qui interviennent directement dans le réchauffement, à savoir les émissions de gaz à effet de serre, mais également l'ensemble des informations environnementales, ainsi que des indicateurs sociaux et économiques, selon les principes élaborés au sommet de la Terre de Rio de Janeiro en 1992, qui a identifié trois piliers dans le développement durable : environnement, social, et économique.

La réponse des États se fait donc aujourd'hui au travers de stratégies nationales de développement durable, celles des collectivités au travers d'agenda 21, et celles des entreprises au travers de la responsabilité sociétale des entreprises.

Le développement durable relève de programmes transversaux dans les organisations[435]. Chaque domaine est appelé à apporter une contribution à l'effort commun. L'informatique par exemple, loin d'être virtuelle ou immatérielle, apparaît comme un secteur émetteur de gaz à effet de serre[N 10]. Selon Jean-Marc Jancovici, la dématérialisation n'a pas apporté jusqu'à présent de solution au problème du réchauffement climatique, puisqu'on constate une corrélation entre les flux d'information et les flux physiques[436]. Il est donc nécessaire que le secteur de l'informatique se fixe des objectifs en matière de développement durable. C'est ce qui a été fait avec la création en 2007, par Google et le WWF de la *Climate Savers Computing Initiative*, initiative commune à plusieurs constructeurs informatiques pour réduire de moitié la consommation d'énergie des ordinateurs d'ici 2010.

Ministères

Plusieurs États consacrent désormais explicitement un ministère à la question du réchauffement climatique, généralement sous l'étiquette « changement climatique ». Les États en question et leurs ministres respectifs, en date de février 2015, sont les suivants[437] :

Pays	Titre	Ministre actuel(le)	Parti politique du ministre	Autres portefeuilles du ministre
Bénin	Ministre du Changement climatique, de la Reforestation, et de la Protection des ressources naturelles et forestières	Raphael Edou		aucun
Danemark	Ministre du Climat	Rasmus Helveg Petersen	Radicaux (centre)	Énergie et Bâtiment
Gambie	Ministre de l'Environnement, du Changement climatique, des Ressources en eau, des Parcs, et de la Faune sauvage	Pa Ousman Jarju		aucun
Inde	Secrétaire d'État à l'Environnement, aux Forêts et au Changement climatique	Prakash Javadekar	BJP (droite)	aucun
Jamaïque	Ministre de l'Eau, des Terres, de l'Environnement et du Changement climatique	Robert Pickersgill	PNP (centre-gauche)	aucun
Malte	Ministre de l'Environnement, du Développement durable et du Changement climatique	Leo Brincat	Travailliste (centre-gauche)	aucun
Nauru	Ministre du Changement climatique	Baron Waqa	aucun	Président de la République ; Affaires étrangères et Commerce extérieur, Services publics, Police, Prisons et Services d'urgence
Nouvelle-Zélande	Ministre des Enjeux du changement climatique	Tim Groser	National (centre-droit)	Commerce extérieur
Oman	Ministre de l'Environnement et des Affaires climatiques	Muhammad bin Salim bin Said al-Tubi		aucun
Papouasie-Nouvelle-Guinée	Ministre des Forêts et du Changement climatique	Douglas Tomuriesa	CNP	aucun
Roumanie	Ministre de l'Environnement et du Changement climatique	Attila Korodi	UDMR (centre-droit)	aucun
Royaume-Uni	Ministre du Changement climatique	Edward Davey	Libéral-démocrate (centre)	Énergie
Salomon	Ministre de l'Environnement, du Changement climatique, de la Gestion des désastres naturels, de la Protection de la nature, et de la Météorologie	Samuel Manetoali	aucun	aucun
Suède	Ministre du Climat et de l'Environnement	Åsa Romson	Les Verts (écologiste)	Vice-premier ministre
Vanuatu	Ministre du Changement climatique	James Rule	PNU (centre-	aucun

		Bule	gauche)	

Mouvements religieux

Prenant acte de ce que le réchauffement climatique fait l'objet d'un consensus scientifique, le pape François a publié en mai 2015, en vue de la Conférence de Paris sur le climat, l'encyclique *Laudato si'*. Considérant le climat comme un « bien commun », il affirme que « l'humanité est appelée à prendre conscience de la nécessité de réaliser des changements de style de vie, de production et de consommation, pour combattre ce réchauffement ou, tout au moins, les causes humaines qui le provoquent ou l'accentuent ». Il souligne que « le changement climatique est un problème global aux graves répercussions environnementales, sociales, économiques, distributives ainsi que politiques, et constitue l'un des principaux défis actuels pour l'humanité. Les pires conséquences retomberont probablement au cours des prochaines décennies sur les pays en développement ». Cela pose des problèmes de justice environnementale, du fait que « beaucoup de pauvres vivent dans des endroits particulièrement affectés par des phénomènes liés au réchauffement »[438]. Loin de se limiter au problème du réchauffement climatique, l'encyclique aborde les dimensions environnementales, sociales et économiques dans leur ensemble, considérant la « sauvegarde de la Création » comme une problématique planétaire.

Le 23 juin 2003, lors d'une conférence au monastère d'Utstein, en Norvège, le patriarche Bartholomée Ier de Constantinople a attiré l'attention sur les « racines éthiques et spirituelles des problèmes environnementaux qui demandent que nous trouvions des solutions non seulement grâce à la technique, mais encore à travers un changement de la part de l'être humain, parce qu'autrement nous affronterions uniquement les symptômes »[439].

Les chrétiens sont invités à prier pour la sauvegarde de la Création. C'est le cas pour les orthodoxes, à l'instigation du patriarche Dimitrios Ier de Constantinople depuis 1989, puis pour les catholiques, le pape François ayant institué une journée mondiale de prière pour la sauvegarde de la Création en 2015, choisissant la date du 1er septembre déjà retenue par les orthodoxes. Les protestants se joignent également à ces initiatives, dans le cadre du « Temps de la Création », période allant du 1er septembre au 4 octobre[440].

Étant donné la dimension œcuménique et même inter-religieuse du problème, le Conseil œcuménique des Églises appelle les chrétiens et les fidèles d'autres religions à jeûner pour le climat le premier jour de chaque mois[441].

Entreprises et réchauffement climatique

Responsabilité des entreprises

Les entreprises ont une responsabilité importante dans le réchauffement climatique, étant donné qu'elles répresentent les principaux acteurs de la production de richesse[442]. Cependant, la responsabilité des entreprises est difficile à quantifier tant elle est liée à la responsabilité du consommateur (comment estimer par exemple la part de responsabilité d'une entreprise qui vend une voiture à un consommateur conscient de la pollution qu'engendre cette voiture ?).

Des disparités énormes existent entre l'impact environmental de chaque entreprise. Depuis 1988, 100 entreprises ont produit 71 % des émissions de gaz à effet de serre du secteur industriel, selon un rapport du Carbon Disclosure Project en 2017[443].

Réponses des entreprises

Les réponses des entreprises sont diverses et liées à leur statut juridique. Certaines en font leur priorité et appartiennent dans ce cas souvent à la sphère de l'économie sociale et solidaire (avec un statut juridique qui varie en fonction des pays[444]). Par exemple, l'entreprise berlinoise Ecosia est un moteur de recherche qui réinvestit l'argent gagné grâce aux publicités dans la plantation d'arbres : le but n'est théoriquement qu'environnemental (le profit n'étant pas un but en soi, mais un moyen pour se développer et maximiser son impact environnemental)[445].

D'autres entreprises peuvent apporter des réponses sous différentes formes. Une entreprise peut ainsi chercher à diminuer le ses émissions de CO_2 directement grâce à son produit ou service : c'est le cas d'entreprises qui développent des carburants verts (par exemple Euglena (entreprise) qui développe des biocarburants de 3e génération), des produits réutilisables pour éviter le plastique (par exemple MyBoo, avec des brosses à dents en bambou[446]), des services d'économie collaborative (par exemple Blablacar, en mutualisant l'usage de voitures), etc. Les entreprises peuvent aussi offrir des produits ou services qui ne réduisent pas les émissions de CO_2, mais cherchent à les compenser. Par exemple, Google investit massivement dans des énergies renouvelables afin d'alimenter ses activités, énergivores[447,448].

Enfin, au sein d'un nombre grandissant d'entreprises, ce sont les salariés eux-mêmes qui s'engagent par le biais de nouvelles dynamiques syndicales[449].

Parallèlement, de nombreux cas de *greenwashing* détournent ces motivations au profit de leur image, par des pratiques manquant souvent de transparence[450].

Perception par le grand public

Un sondage mené en 2017 dans 38 pays par le Pew Research Center place en tête des inquiétudes l'État islamique (62 %) et le changement climatique (61 %). C'est dans les régions d'Afrique et d'Amérique latine que celui-ci est prioritairement évoqué : ainsi, au Kenya, cette question rassemble 76 % des réponses. En Europe, dans un contexte d'attaques terroristes, l'État islamique arrive en tête des inquiétudes avec 74 %, suivi par le changement climatique avec 64 %[451].

Une enfant tenant une pancarte lors de la marche pour le climat à Paris, le 8 septembre 2018.

Couverture médiatique du réchauffement climatique

Controverses sur le réchauffement climatique

L'existence du réchauffement et le fait qu'il soit causé par l'activité humaine font largement consensus au sein de la communauté scientifique[452] et plus encore des climatologues[453,454]. Cela n'exclut cependant pas des controverses portant sur :

- le fonctionnement du GIEC : nécessité de vérifier rigoureusement les données produites, et de prendre en compte les avis divergents ;
- la validité des conclusions du GIEC : importance du réchauffement, probabilité attribuée aux scénarios, importance des causes anthropiques, etc. ;

scénarios, importance des causes anthropiques, etc. ;
- les conséquences du réchauffement (accusations de surestimation des effets négatifs et occultation des effets positifs) ;
- les politiques à mettre en œuvre pour parer ce phénomène climatique (arbitrage des priorités entre les autres problèmes et celui du réchauffement ; arbitrage entre politiques destinées à éviter le réchauffement et politiques destinées à en compenser les effets).

Divers groupes d'intérêt (industrie, pétrole) finançant des laboratoires d'idées travaillent à produire un dissensus en noyautant ces débats[455] ; lire déni du réchauffement climatique (en).

Le réchauffement climatique comme sujet de fiction

Depuis quelques années, plusieurs écrivains de science-fiction, ou même d'autres genres (comme Doris Lessing, prix Nobel de littérature 2007), ont mis le changement climatique au cœur de leur intrigue romanesque, souvent en s'appuyant sur des données scientifiques pour imaginer des futurs possibles. Par exemple :

- Robert Silverberg, *Ciel brûlant de minuit*, Bantam Books, 1994 et Robert Laffont, 1995
- Doris Lessing, *Mara et Dann*, Flammarion, 2001
- Norman Spinrad, *Bleue comme une orange*, Flammarion, 2001
- Jean-Marc Ligny, *Aqua TM*, L'Atalante, 2006
- Michael Crichton, *État d'urgence*, Robert Laffont, 2006
- Kim Stanley Robinson, *Les Quarante Signes de la pluie* (2006), *50° au-dessous de zéro* (2007), *60 jours et après*, Presses de la Cité, 2008
- Yann Quero, *L'avenir ne sera plus ce qu'il était*, Arkuiris, 2010

Voir aussi

Sur les autres projets Wikimedia :

- *Réchauffement climatique (https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Global_warming?uselang=fr)*, sur Wikimedia Commons
- *réchauffement climatique*, sur le Wiktionnaire
- *Réchauffement climatique*, sur Wikiversity
- *Réchauffement climatique*, sur Wikiquote
- *Réchauffement climatique*, sur Wikinews

Bibliographie

- Jacques Mistral, *Le climat va-t-il changer le capitalisme ?*, Eyrolles, Paris, 2015 (ISBN 2-212-56243-8)
- Yauram Bauman et Grady Klein, *Le changement climatique en BD*, Eyrolles, Paris, 2015 (ISBN 2-212-56244-6)
- Amy Dahan et Stefan Aykut, *Gouverner le climat ? 20 ans de négociations climatiques*, Presses de Sciences Po, 2015, 752 pages présentation ici (http://koyre.ehess.fr/index.php?1478)
- Rémy Prud'homme, *L'idéologie du réchauffement*, éditions du Toucan, octobre 2015
- Catherine Larrère et Raphaël Larrère, *Penser et agir avec la nature*, La Découverte, 2015
- Naomi Klein, *Tout peut changer : Capitalisme et changement climatique*, Actes Sud, 2015
- Raphaël Stevens et Pablo Servigne, *Comment tout peut s'effondrer. Petit manuel de collapsologie à l'usage des générations présentes*, Éditions du Seuil (Collection Anthropocène) 2015
- Bertrand Badie et Dominique Vidal (sous la direction de), *Nouvelles guerres*, La Découverte,

Bertrand Badre et Dominique Vidal (sous la direction de), *Nouvelles guerres*, La Découverte, 2014 (ISBN 978-2-7071-8269-2)

- Clive Hamilton, *Requiem pour l'espèce humaine : Faire face à la réalité du changement climatique*, Les Presses de Sciences Po, 2013 (ISBN 978-2724614015)
- Gérard Borvon, *Histoire du carbone et du CO_2*, Vuibert, 2013
- Catherine Jeandel et Rémy Mosseri (Eds), 2011, *Le climat à découvert, outils et méthodes en recherche climatique*, CNRS Éditions, Paris (ISBN 978-2-271-07198-9)
- Jean-Marc Jancovici, *Changer le monde: Tout un programme!*, Calmann-Levy, Paris, 2011 (ISBN 978-2-7021-4214-1)
- Jean-Francois Mouhot, *Des Esclaves énergétiques: Réflexions sur le changement climatique*, Champ Vallon, Seyssel, 2011 (ISBN 978-2-8767-3554-5)
- Jean Tirole, *Politique climatique : une nouvelle architecture internationale* Rapport du Conseil d'analyse économique, 2009, [7] (http://www.cae.gouv.fr/IMG/pdf/087.pdf)
- Pascal Acot, *Histoire du climat*, Perrin, 2009 (ISBN 978-2-262-03028-5)
- Jean-Marc Jancovici et Alain Grandjean, *C'est maintenant ! 3 ans pour sauver le monde*, Le Seuil, 2009
- Jean Jouzel, Claude Lorius, Dominique Reynaud, *Planète blanche. Les glaces, le climat et l'environnement*, O. Jacob, 2008 (ISBN 978-2-7381-1400-6)
- Frédéric Durand, *Le réchauffement climatique en débats*, Ellipses, 2007 (ISBN 978-2-7298-3153-0)
- Jean-Louis Fellous et Catherine Gautier, *Comprendre le changement climatique*, O. Jacob, 2007 (ISBN 978-2-7381-1845-5)
- Frédéric Denhez, *Atlas du réchauffement climatique : un risque majeur pour la planète*, Paris, Éditions Autrement, 2007, 79 p. (ISBN 978-2-7467-0997-3) et son supplément : La France en 2100
- W. Collins, R. Colman, J. Haywood, M. Manning et Ph. Mote, Réchauffement climatique, le temps des certitudes, *Pour la science*, n° 360, octobre 2007, p. 68-75
- « Climat, comment éviter la surchauffe » (dossier), *Pour la science*, janvier-mars 2007.
- Václav Klaus, *Une planète bleue, pas verte*, (ouvrage remettant en cause l'origine humaine du réchauffement climatique), 2007
- *Les recherches françaises sur le changement climatique* (http://www.insu.cnrs.fr/f911pdf,recherches-francaises-changement-climatique-2007.pdf), INSU / CNRS, 2007, 20 pages [PDF]
- Caroline de Malet, *Climat en débats, pour en finir avec les idées reçues*, Lignes de repères, 2008 (ISBN 978-2-915752-35-9)
- Bernard Francou et Christian Vincent, *Les glaciers à l'épreuve du climat*, IRD / Belin, 2007 (ISBN 978-2-7011-4641-6)
- Frédérique Rémy, *Histoire de la Glaciologie*, Vuibert, 2007 (ISBN 978-2-7117-4016-1)
- Jean-François Deconinck, *Paléoclimats*, SGF / Vuibert, 2007 (ISBN 2-7117-5395-6)
- Édouard Bard (dir.), *L'Homme face au climat*, O. Jacob, 2006 (ISBN 2-7381-1660-4)
- Édouard Bard, *L'homme et le climat, une liaison dangereuse*, coll. « Découvertes Gallimard / Sciences et techniques » (n° 482), 2005 (ISBN 2-07-030094-3)
- Mark Lynas, *Marée montante. Enquête sur le réchauffement de la planète* - éd. Au diable vauvert, 2005 (traduit de l'anglais : *High tide, news from a warming world*).
- Hervé Le Treut, Jean-Marc Jancovici, *L'effet de serre, allons-nous changer le climat ?*, Flammarion, 2004 (ISBN 2-08-080081-7)
- Pierre Lefèvre, *Un nouveau Climat, les enjeux du changement climatique*, La Martinière, 2003 (ISBN 9782732428871)
- Jean-Marc Jancovici, *L'Avenir climatique. Quel temps ferons-nous ?*, Science ouverte, Seuil, 2002 (ISBN 2-02-051235-1)
- Nathaniel Rich, *Perdre la Terre*, Seuil, 2019 (ISBN 978-2-0214-2484-3)

- Nathaniel Rich, *Écrire la Terre*, Seuil, 2019 (ISBN 978-2-0214-2484-3)

Ouvrages en langue anglaise :

- (en) Anthony Giddens, *The Politics of Climate Change*, Polity, 2009
- (en) Roger Guesnerie et Henry Tulkens (eds), *The design of Climate policy*, MIT Press, 2008
- (en) Indur M. Goklany, *The Improving State of the World: Why We're Living Longer Healthier, More Comfortable Lives on a Cleaner Planet* Cato Institute, 2007
- (en) Spencer R. Weart (en), The Discovery of the Risk of Global Warming, *Physics Today*, 50 (1): p. 34-40, janvier 1997. À propos de l'histoire de la prise de conscience du réchauffement
- Trevor Williams, « Climate science: How Antarctic ice retreats », *Nature*, Doi:10.1038/nature13345, 2014

Filmographie

- *Une vérité qui dérange*, documentaire de Davis Guggenheim, commenté par Al Gore sur le réchauffement climatique.

  Ce film a valu à Al Gore (et au Giec qui lui a fourni les données scientifiques) le prix Nobel de la paix le 12 octobre 2007. Cependant, un juge de la haute cour de Londres a jugé que le film comporte « neuf erreurs »[456] qui participent à un « climat d'alarmisme et d'exagération » et que « la science est utilisée par un homme politique et un orateur de talent pour faire une déclaration politique et soutenir un programme politique »[N 11], tout en reconnaissant la validité des arguments rendant les gaz à effet de serre d'origine humaine responsable du réchauffement climatique. Il l'a autorisé à être diffusé dans les écoles britanniques à la condition d'être accompagné d'un document évoquant les différentes thèses en débat sur les neuf erreurs pointées.
- *Climat en crise*[457], documentaire diffusé sur France 5, 50 min, libre de droits.

  Ce reportage présente des prédictions climatiques faites par un super-calculateur (Japon) pour les années à venir (année 2100 max).
- *La 11e heure, le dernier virage* (*The 11th hour*) produit par Leonardo DiCaprio et réalisé par Nadia Conners et Leila Conners Petersen[458] en 2007.

  Ce documentaire jette un regard sur l'état de l'environnement et donne des solutions pour tenter de restaurer l'écosystème planétaire, à travers des rencontres avec une cinquantaine de scientifiques, intellectuels et dirigeants politiques. Initialement prévu pour une diffusion en salles, le documentaire de Nadia Conners et Leila Conners Petersen avait en effet été rayé du planning des sorties de la Warner, au profit d'une exploitation en VOD (Video On Demand), jugée plus en adéquation avec les aspirations écologiques du film.
- *The Great Global Warming Swindle* (La grande escroquerie du réchauffement climatique) en 2007.

  Une vingtaine de scientifiques renommés contestent les principaux résultats du GIEC. Ce film a entraîné une vive réaction de la Royal Society et du Met Office, et l'un des scientifiques cités par le film, C. Wunsch, a vivement protesté contre la façon dont ses propos étaient utilisés.
- Le Muséum de Paris et le GIS Climat-Environnement-Société ont produit de courtes vidéos pédagogiques (http://www.gisclimat.fr/Doc/Page_spe/Climat_biodiversite.html) sur le thème « Changement climatique et biodiversité ».

Articles connexes

Articles connexes

Notions générales

- Accord de Paris sur le climat (2015)
- Adaptation au changement climatique
- Anthropocène
- Appels pour le Climat
- Atténuation du changement climatique
- Attribution du changement climatique récent
- Bilan carbone, Bilan carbone personnel
- Bilan des émissions de gaz à effet de serre
- Bilan radiatif de la Terre
- Biosphère
- Changement climatique
- Climat
- Climatologie
- Conférence de Paris de 2015 sur les changements climatiques
- Controverses sur le réchauffement climatique
- Crise écologique
- Cycle du carbone
- Décroissance
- Déni du réchauffement climatique
- Développement durable
- Écosystème
- Effets du réchauffement climatique sur les océans
- Empreinte carbone
- Énergie et effet de serre
- Énergie renouvelable
- Enjeux du réchauffement climatique
- Environnement
- Évolution en réponse aux changements climatiques
- Forçage radiatif
- Gaz à effet de serre
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)
- Horloge de la fin du monde
- Insolation
- Limites planétaires
- Niveau de la mer
- Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique
- Protection de l'environnement
- Protocole de Kyoto
- Réchauffement climatique en France
- Réchauffement climatique dans l'Arctique
- Relargage du méthane de l'Arctique
- Risque naturel
- Taxe carbone
- Risques d'effondrements environnementaux et sociétaux
- Transgression marine
- Transition écologique
- Transition énergétique

Événements liés au dérèglement climatique

- Canicule
- Crue
- Hypercyclone
- Incendie
- Pollution
- Tempête

Liens externes

Institutions ou organisations internationales

- site du GIEC (http://www.ipcc.ch/home_languages_main_french.shtml) (IPCC en anglais).
- L'impact du changement climatique en Europe (http://reports.eea.europa.eu/eea_report_2008_4/en), Agence européenne pour l'environnement
- (en) *OECD Environmental Outlook to 2050 : Climate Change Chapter* (http://www.oecd.org/d

ataoecd/32/53/49082173.pdf) [« Prévisions environnementales de l'OCDE pour 2050 : Chapitre sur le changement climatique »], OCDE [PDF]

- Rapports de référence sur les changements climatiques (http://www.rac-f.org/-Web-Bibliothequ-Climat-.html), Réseau Action Climat

Institutions ou organisations françaises

- *L'ampleur des changements climatiques, de leurs causes et de leur impact possible sur la géographie de la France à l'horizon 2005, 2050 et 2100 (Tome 1 : Rapport)* (https://www.senat.fr/rap/r01-224-1/r01-224-1.html), Sénat, février 2002.
- Le site du CNRS sur le climat (http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/).
- L'Institut des géosciences de l'environnement.
- Le site de l'INRA (http://www.inra.fr/la_science_et_vous/dossiers_scientifiques/changement_climatique) sur le changement climatique.
- Le site de Météo France (http://climat.meteofrance.com/chgt_climat/accueil/) sur le changement climatique.
- Le site « climat en questions (http://www.climat-en-questions.fr) » de l'IPSL
- Le premier observatoire francophone du changement climatique (http://www.climobs.fr) Un site d'Universcience destiné à tous celles et ceux qui souhaitent approfondir leur connaissance et leur compréhension du changement climatique en cours : vous y trouverez les dernières observations, projections, ainsi que l'explication des mécanismes de base.
- L'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

Groupes et associations

- Manicore.com (http://www.manicore.com/), le site de Jean-Marc Jancovici, l'un des plus détaillés sur le réchauffement climatique et les gaz à effet de serre
- Dossier Greenpeace pour les non-spécialistes (http://www.greenfacts.org/fr/changement-climatique-re4/index.htm)
- *Médiaterre Climat*, portail d'actualité francophone sur le climat (http://www.mediaterre.org/climat/)

Glossaire des acronymes anglophones de ce domaine

- (en) ONU/UNFCCC (2013), *Glossary of Climate Change Acronyms (http://unfccc.int/essential_background/glossary/items/3666.php),* United Nations Framework Conventin on Climate Change. Voir aussi le glossaire de la Wikipedia anglophone

Notes et références

Notes

1. Parfois dénommé « réchauffement global »[1], par faux sens sur le faux-ami anglais *global* dans la locution *global warming*.
2. Le glacier Perito Moreno en Argentine, par exemple, est un des rares glaciers en avancée. Les glaciers de Scandinavie et de Nouvelle-Zélande, soumis à d'importantes précipitations neigeuses hivernales, sont également en expansion[d 2].
3. Par exemple dans les Alpes [1] (http://www.futura-sciences.com/news-vient-recul-glaciers-alpin

s-depuis-150-ans_6378.php) ou dans les Pyrénées [2] (http://www.ird.fr/fr/actualites/fiches/2001/fiche127.htm).

4. Ainsi il est dit que[177] « le lundi 7 janvier 1709, lit-on dans une chronique de l'époque, commença une gelée qui fut ce jour-là la plus rude et la plus difficile à souffrir : elle dura jusqu'au 3 ou 4 février. Pendant ce temps-là, il vint de la neige d'environ un demi-pied de haut : cette neige était fort fine et se fondait difficilement. Quelques jours après qu'elle fut tombée, il fit un vent fort froid d'entre bise et galerne (c'est-à-dire d'entre N et NW) qui la ramassa sur les lieux bas, ils découvrirent les blés qui gelèrent presque tous. »
5. La température moyenne terrestre est de 14 °C.
6. L'Allemagne - Académie allemande des sciences Leopoldina, le Canada - Société royale du Canada, les États-Unis - Académie américaine des sciences, la France - Académie des sciences, l'Italie - Académie des Lyncéens, le Japon - Académie japonaise des sciences, le Royaume-Uni - Royal Society, la Russie - Académie des sciences de Russie.
7. La Chine (Académie chinoise des sciences), l'Inde (Indian National Science Academy (en)), le Brésil (Académie brésilienne des sciences).
8. 1998 Année la plus chaude pour Met Office (http://hadobs.metoffice.com/hadcrut3/diagnostics/global/nh%2Bsh/index.html) et 2005 pour le GISSTEMP (http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata/GLB.Ts+dSST.txt).
9. Stratégie publiée par l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique.
10. Voir l'article informatique verte.
11. L'une de ces erreurs consiste à faire croire à une élévation rapide du niveau de la mer de plusieurs mètres, alors que celle-ci s'étendra sur plusieurs siècles. Par ailleurs, certains faits ne peuvent être attribués de manière certaine au réchauffement climatique, tels l'assèchement du lac Tchad, l'ouragan Katrina, ou la fonte des neiges du Kilimandjaro.

Références

1. « Les causes du changement climatique » (http://mtaterre.fr/dossiers/le-changement-climatique/la-cause-un-rechauffement-global), sur *mtaterre.fr*, Ademe (consulté le 17 avril 2017).
2. (en) Global surface temperature (http://www.metoffice.gov.uk/research/monitoring/climate/surface-temperature#how) sur le site du *MetOffice*
3. « Le changement climatique » (http://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/rapport261010.pdf) [PDF], sur *academie-sciences.fr* (consulté le 23 août 2015).
4. (en) « GLOBAL Land-Ocean Temperature Index, NASA-GISS » (http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata_v3/GLB.Ts+dSST.txt) (consulté le 10 avril 2018).
5. (en) « *GLOBAL Temperature Anomalies* » (http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata_v3/GLB.Ts.txt) (consulté le 10 avril 2018).
6. *Réchauffement climatique : les données alarmantes que publient les chercheurs*, Les Échos, 2013 (https://www.lesechos.fr/27/09/2013/LesEchos/21531-024-ECH_rechauffement-climatique---les-donnees-alarmantes-que-publient-les-chercheurs.htm)
7. « Évolution du climat depuis 1850 » (http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/56361/meteo_2015_88_48.pdf?sequence=1), revue « La Météorologie » nº 88, février 2015.
8. Le changement climatique observé (http://education.meteofrance.fr/dossiers-thematiques/l-evolution-du-climat/le-changement-climatique-observe), education.meteofrance.fr.
9. (en) Hansen, J., R. Ruedy, Mki. Sato, and K. Lo, 2010: « Global surface temperature change » (http://pubs.giss.nasa.gov/cgi-bin/abstract.cgi?id=ha00510u). Rev. Geophys., 48, RG4004, doi:10.1029/2010RG000345.
10. (en) NASA, NOAA Analyses Reveal Record-Shattering Global Warm Temperatures in 2015 (http://www.giss.nasa.gov/research/news/20160120/), site giss.nasa.gov, 20 janvier 2016.
11. (en) *2017 Remains on track to be among 3 hottest years on record* (https://public.wmo.int/en/m

edia/news/2017-remains-track-be-among-3-hottest-years-record), Organisation météorologique mondiale (2017), 19 décembre

12. (en) Knutson T.R. et al. (2018) Bull. Am. Meteorol. Soc. 99, S11–S15; 2018 CMIP5 Model-Based Assessment of anthropogenic influence on record global warmth during 2016 (http://www.ametsoc.net/eee/2016/ch3.pdf)|PDF|5 pages [PDF]
13. Explaining Extreme Events from a Climate Perspective ; This BAMS special report presents assessments of how human-caused climate change may have affected the strength and likelihood of individual extreme events (https://www.ametsoc.org/ams/index.cfm/publications/bulletin-of-the-american-meteorological-society-bams/explaining-extreme-events-from-a-climate-perspective/) : téléchargement en haute resolution : ici (http://www.ametsoc.net/eee/2016/2016_bams_eee_high_res.pdf) [PDF]
14. (en) Imada Y et al. (2018), *Climate change increased the likelihood ot the 2016 eat extremes in Asia (http://www.ametsoc.net/eee/2016/ch19.pdf)*| Bull. Am. Meteorol. Soc. 99, S97–S101; 2018 |URL:http://www.ametsoc.net/eee/2016/ch19.pdf] [PDF]
15. (en) Brubaker M & al. (2018) The high latitude marine heat wave of 2016 and its impacts on Alaska (http://www.ametsoc.net/eee/2016/ch8.pdf), BAMs/American Meteorological Society, janvier 2018, DOI:10.1175/BAMS-D-17-0105.1 (https://dx.doi.org/10.1175%2FBAMS-D-17-0105.1) [PDF].
16. (en) NASA, NOAA Analyses Reveal 2019 Second Warmest Year on Record (https://www.nasa.gov/press-release/nasa-noaa-analyses-reveal-2019-second-warmest-year-on-record), NASA, 15 janvier 2020.
17. Réchauffement climatique : « beaucoup de phénomènes extrêmes » à redouter en 2020 (https://www.lesechos.fr/monde/enjeux-internationaux/rechauffement-climatique-beaucoup-de-phenomenes-extremes-a-redouter-en-2020-1163328), *Les Échos*, 15 janvier 2020.
18. « Global warming causes 300 000 deaths a year, says Kofi Annan thinktank » (https://www.theguardian.com/environment/2009/may/29/1), *The Guardian*, 29 mai 2009.
19. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012 (http://www.eea.europa.eu/publications/climate-impacts-and-vulnerability-2012), eea.europa.eu
20. résumé communiqué (http://www.eea.europa.eu/fr/pressroom/newsreleases/le-changement-climatique-est-apparent), eea.europa.eu.
21. AEE (http://www.eea.europa.eu).
22. (en) « What is EU doing ? » (https://web.archive.org/web/20130324104418/http://ec.europa.eu/clima/sites/change/what_is_eu_doing/index_en.htm), 6 décembre 2010 (Stratégie d'adaptation européenne de la Commission européenne).
23. « Dérèglements climatiques » (http://www.greenpeace.org/france/fr/campagnes/energie-et-climat/fiches-thematiques/dereglements-climatiques/?codespec=N13AINST)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.greenpeace.org/france/fr/campagnes/energie-et-climat/fiches-thematiques/dereglements-climatiques/?codespec=N13AINST) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.greenpeace.org/france/fr/campagnes/energie-et-climat/fiches-thematiques/dereglements-climatiques/?codespec=N13AINST) • Archive.is (http://archive.is/http://www.greenpeace.org/france/fr/campagnes/energie-et-climat/fiches-thematiques/dereglements-climatiques/?codespec=N13AINST) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.greenpeace.org/france/fr/campagnes/energie-et-climat/fiches-thematiques/dereglements-climatiques/?codespec=N13AINST) • Que faire ?) sur le site de Greenpeace.
24. « Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique – ONERC » (https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/observatoire-national-sur-effets-du-rechauffement-climatique-onerc), sur *Ministère de la Transition écologique et solidaire* (consulté le 29 mai 2020).

25. (en) Joseph D'Aleo, M.Sc., Madhav Khandekar, Ph.D., William Kininmonth, M.Sc., M.Admin., Christopher Essex, Ph.D., Wibjörn Karlén, Ph.D., Olavi Kärner, Ph.D., Ian Clark, Ph.D., Tad Murty, Ph.D. et James J. O'Brien, Ph.D., « Independent Summary for Policymakers, IPCC Fourth Assessment Report » (http://www.fraserinstitute.org/commerce.web/product_files/Independent%20Summary5.pdf)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.fraserinstitute.org/commerce.web/product_files/Independent%20Summary5.pdf) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.fraserinstitute.org/commerce.web/product_files/Independent%20Summary5.pdf) • Archive.is (http://archive.is/http://www.fraserinstitute.org/commerce.web/product_files/Independent%20Summary5.pdf) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.fraserinstitute.org/commerce.web/product_files/Independent%20Summary5.pdf) • Que faire ?) [PDF], Institut Fraser, 2007 (consulté le 30 juillet 2008), p. 7.

> « *There is no globally-consistent pattern in long-term precipitation trends, snow-covered area, or snow depth. Many places have observed a slight increase in rain and/or snow cover. There is insufficient data to draw conclusions about increases in extreme temperature and precipitation.* »

26. W. Collins, R. Colman, J. Haywood, M. Manning et Ph. Mote, « Réchauffement climatique, le temps des certitudes », *Pour la Science*, nº 360, octobre 2007, p. 68-75 (lire en ligne (https://www.pourlascience.fr/sd/climatologie/rechauffement-climatique-le-temps-des-certitudes-3954.php), consulté le 10 avril 2017).
27. (en) Gregory J. Retallack et Giselle D. Conde, « Flooding Induced by Rising Atmospheric Carbon Dioxide », *GSA Today*, vol. 30, nº 10, octobre 2020, p. 4-8 (DOI 10.1130/GSATG427A.1 (https://dx.doi.org/10.1130%2FGSATG427A.1)).
28. (en) P.J. Webster, G.J. Holland, J.A. Curry et H.R. Chang, « Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment », *Science*, vol. 309, nº 5742, 16 septembre 2005 (lire en ligne (http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/309/5742/1844)).
29. (en) Helen Briggs, « 'Warming link' to big hurricanes » (http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/4249138.stm), *BBC News*, BBC, septembre 2005 (consulté le 30 juillet 2008) : « The debate is likely to continue, however, as some scientists argue that the present hurricane surge is part of a 60 to 70-year cycle linked to natural effects. They believe climate change due to human activity will not significantly affect hurricanes and that damage caused by increased development along coastlines is a bigger factor. ».
30. (en) Joseph D'Aleo, M.Sc., Madhav Khandekar, Ph.D., William Kininmonth, M.Sc., M.Admin., Christopher Essex, Ph.D., Wibjörn Karlén, Ph.D., Olavi Kärner, Ph.D., Ian Clark, Ph.D., Tad Murty, Ph.D. et James J. O'Brien, Ph.D., « Independent Summary for Policymakers, IPCC Fourth Assessment Report » (http://www.fraserinstitute.org/commerce.web/product_files/Independent%20Summary5.pdf) [PDF], Institut Fraser, 2007 (consulté le 30 juillet 2008) : « In the tropics, there is evidence of increased cyclone intensity but a decrease in total tropical storms, and no clear global pattern since 1970 », p. 7.
31. Christophe Magdelaine, « Le lien entre les cyclones et le réchauffement climatique » (https://www.notre-planete.info/actualites/actu_699_cyclones_rechauffement_climatique.php), 2005 (consulté le 16 novembre 2011).
32. (en) Philip Klotzbach et Département des sciences de l'atmosphère, « Trends in global tropical cyclone activity over the past twenty years (1986–2005) » (http://typhoon.atmos.colostate.edu/Includes/Documents/Publications/klotzbach2006.pdf)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://typhoon.atmos.colostate.edu/Includes/Documents/Publications/klotzbach2006.pdf) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://typhoon.atmos.colostate.edu/Includes/Documents/Publications/klotzbach2006.pdf) • Archive.is (http://archive.is/http://typhoon.atmos.colostate.edu/Includes/Documents/Publications/klotzbach2006.pdf) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://typhoon.atmos.colostate.edu/Includes/Documents/Publications/klotzbach2006.pdf) • Que faire ?), *Geophysical Research Letters*, Université d'État du Colorado, 20 mai 2006 (DOI 10.1029/2006GL025881 (https://dx.doi.org/10.1029%2F2006GL025881), consulté le

30 juillet 2008).

33. « Orwell au pays des cyclones » (http://www.climat-sceptique.com/categorie-505064.html) (Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.climat-sceptique.com/categorie-505064.html) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.climat-sceptique.com/categorie-505064.html) • Archive.is (http://archive.is/http://www.climat-sceptique.com/categorie-505064.html) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.climat-sceptique.com/categorie-505064.html) • Que faire ?) (consulté le 26 mars 2013).
34. (en) « Global and Northern Hemisphere Tropical Cyclone Activity [still] lowest in 30-years » (http://coaps.fsu.edu/~maue/tropical/)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://coaps.fsu.edu/~maue/tropical/) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://coaps.fsu.edu/~maue/tropical/) • Archive.is (http://archive.is/http://coaps.fsu.edu/~maue/tropical/) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://coaps.fsu.edu/~maue/tropical/) • Que faire ?), université de Floride (consulté le 29 mars 2009).
35. (en) Downscaling CMIP5 climate models shows increased tropical cyclone activity over the 21st century (http://www.pnas.org/content/110/30/12219), site PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America) consulté le 18 mai 2014.
36. Rapport (http://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/rapport261010.pdf) de l'Académie des Sciences, *le changement climatique*, 16 octobre 2010 [PDF].
37. (en) Entry 11: Launch milestones (http://www.esa.int/SPECIALS/Cryosat/SEM0440OK7G_0.html), ESA.
38. (en) CryoSat - ESA's ice mission (http://www.esa.int/SPECIALS/Cryosat/index.html), ESA.
39. (en) Goddard Space Flight Center, « Arctic Sea Ice Continues to Decline, Arctic Temperatures Continue to Rise In 2005 » (http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2005/arcticice_decline.html), NASA, septembre 2005 (consulté en 2008-0730).
40. (en) D.A. Rothrock, Y. Yu et G.A. Maykut, « Thinning of the Arctic Sea-Ice Cover », *Geophysical Research Letters*, vol. 26, nº 23, 1er décembre 1999.
41. (en) GRID-Arendal, « Change in the age of ice on the Arctic Ocean, comparing September ice ages in 1988, 1990, 2001 and 2005 (évolution de l'âge moyen des glaces polaires) » (http://maps.grida.no/go/graphic/change-in-the-age-of-ice-on-the-arctic-ocean-comparing-september-ice-ages-in-1988-1990-2001-and-2005), *Maps and Graphics library*, Programme des Nations unies pour l'environnement, 2008 (consulté le 30 juillet 2008).
42. (en) GRID-Arendal, « Arctic temperature anomaly patterns » (http://maps.grida.no/go/graphic/arctic-temperature-anomaly-patterns) [« Anomalie de température en Arctique »], *Maps and Graphics library*, Programme des Nations unies pour l'environnement, 2008 (consulté le 30 juillet 2008).
43. (en) GRID-Arendal, « Thinning of the Arctic sea-ice » (http://maps.grida.no/go/graphic/thinning-of-the-arctic-sea-ice) [« Diminution de l'épaisseur de la banquise arctique) »], *Maps and Graphics library*, Programme des Nations unies pour l'environnement, 2008 (consulté le 30 juillet 2008).
44. « http://arctic.atmos.uiuc.edu » (http://arctic.atmos.uiuc.edu)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://arctic.atmos.uiuc.edu) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://arctic.atmos.uiuc.edu) • Archive.is (http://archive.is/http://arctic.atmos.uiuc.edu) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://arctic.atmos.uiuc.edu) • Que faire ?), site de l'équipe de recherche sur l'arctique de l'université de l'Illinois, et en particulier « http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere/IMAGES/current.anom.jpg » (http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere/IMAGES/current.anom.jpg)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere/IMAGES/current.anom.jpg) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere/IMAGES/current.anom.jpg) • Archive.is (http://archive.is/http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere/IMAGES/current.anom.jpg) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere/IMAGES/current.anom.jpg) • Que faire ?).
45. (en) National Snow and Ice Data Center, « Vidéo en QuickTime de la fonte de la banquise d'été, 2007 » (http://nsidc.org/news/press/2007_seaiceminimum/images/20071017_meltseasona.mov), NASA et NOAA (consulté le 30 juillet 2008).
46. « Damocles » (http://%5Bhttp://www.damocles-eu.org/%5D), Damocles, novembre 2008

(consulté le 4 janvier 2009).

47. Selon Tara, la fonte totale de la banquise, en été, interviendrait entre 2015 et 2020. Voir « Conférence de presse Tara Damoclès » (http://www.taraexpeditions.org/fr/conference-tara-damocles-30-octobre-2007-communique-de-presse.php?id_page=320), Tara expéditions, 30 octobre 2007 (consulté le 4 janvier 2009). Certains observateurs, compte tenu de ces nouveaux résultats, envisagent une disparition totale de la banquise d'été aux alentours de 2013. Voir (en) « The big melt: lessons from the Arctic summer of 2007 (Accélération de la fonte de la banquise en 2007) » (http://www.carbonequity.info/docs/arctic.html)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.carbonequity.info/docs/arctic.html) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.carbonequity.info/docs/arctic.html) • Archive.is (http://archive.is/http://www.carbonequity.info/docs/arctic.html) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.carbonequity.info/docs/arctic.html) • Que faire ?) (consulté le 26 mars 2013).
48. Cf. un article du *Geophysical research letters* « Twentieth century bipolar seesaw of the Arctic and Antarctic surface air temperatures » (http://www.agu.org/pubs/crossref/2010/2010GL042793.shtml).
49. Charles Green, « Des hivers plus rigoureux », *Pour la Science*, nº 424, février 2013, p. 62-69
50. Jennifer A. Francis, « La grande débâcle de l'Arctique », *Pour la Science*, nº 488, juin 2018, p. 66-73
51. Audrey Garric, « La banquise arctique pourrait complètement disparaître d'ici à quatre ans », *Le Monde.fr*, 18 septembre 2012 (lire en ligne (https://www.lemonde.fr/planete/article/2012/09/18/la-banquise-arctique-pourrait-completement-disparaitre-d-ici-a-quatre-ans_1761703_3244.html))
52. Pierre le Hir, « Climat : 2017, année de tous les records » (https://www.lemonde.fr/climat/article/2018/08/01/climat-2017-annee-de-tous-les-records_5338388_1652612.html), sur *Le Monde*, 2 août 2018 (consulté le 3 août 2018)
53. (en) Ingo Sasgen, Bert Wouters, Alex S. Gardner et Michalea D. King, « Return to rapid ice loss in Greenland and record loss in 2019 detected by the GRACE-FO satellites », *Communications Earth & Environment*, vol. 1, nº 1, décembre 2020, p. 8 (ISSN 2662-4435 (http://worldcat.org/issn/2662-4435&lang=fr), DOI 10.1038/s43247-020-0010-1 (https://dx.doi.org/10.1038%2Fs43247-020-0010-1), lire en ligne (http://www.nature.com/articles/s43247-020-0010-1), consulté le 10 septembre 2020).
54. (en-US) Henry Fountain, « Loss of Greenland Ice Sheet Reached a Record Last Year », *The New York Times*, 20 août 2020 (ISSN 0362-4331 (http://worldcat.org/issn/0362-4331&lang=fr), lire en ligne (https://www.nytimes.com/2020/08/20/climate/greenland-ice-loss-climate-change.html), consulté le 10 septembre 2020).
55. (en) Rasha Aridi, « In 2019, Greenland lost twice as much ice as in a normal year », *Science*, 21 août 2020 (lire en ligne (https://www.sciencemag.org/news/2020/08/2019-greenland-lost-twice-much-ice-normal-year), consulté le 10 septembre 2020).
56. (en-US) Henry Fountain, « Europe's Heat Wave, Fueled by Climate Change, Moves to Greenland », *The New York Times*, 2 août 2019 (ISSN 0362-4331 (http://worldcat.org/issn/0362-4331&lang=fr), lire en ligne (https://www.nytimes.com/2019/08/02/climate/european-heatwave-climate-change.html), consulté le 10 septembre 2020).
57. (liens brisés) Voir [3] (http://arctic.atmos.uiuc.edu), site de l'équipe de recherche sur l'arctique de l'université de l'Illinois, et en particulier [4] (http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere/IMAGES/current.anom.south.jpg).
58. Cressey D (2014) *Robot reveals surprisingly thick Antarctic sea ice Underwater survey questions longstanding assumptions about ice surrounding continent* ; Nature ; 24 novembre 2014 ; doi:10.1038/nature.2014.16397 (résumé (http://www.nature.com/news/robot-reveals-surprisingly-thick-antarctic-sea-ice-1.16397))
59. Gary Dagorn, « Antarctique : visualisez l'iceberg géant qui s'est détaché du continent » (https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2017/01/10/antarctique-visualisez-l-iceberg-geant-qui-s

e-detache-de-la-banquise_5060243_4355770.html), sur *lemonde.fr*

60. Nature ; Research Highlights *Glaciology Early signs of ice retreat* ; Nature 534, 154 (09 juin 2016) doi:10.1038/534154a, mis en ligne le 08 juin 2016 (résumé (http://www.nature.com/nature/journal/v534/n7606/full/534154a.html)).
61. Robin Bell, « L'eau, une menace pour les calottes polaires », *Pour la Science*, nº 367, mai 2008, p. 60-66.
62. « En images : la plaque Wilkins s'est séparée de la péninsule antarctique » (http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/oceanographie-1/d/en-images-la-plaque-wilkins-sest-separee-de-la-peninsule-antarctique_18859/), sur *Futura-Sciences* (consulté le 18 octobre 2016)
63. Antarctique: la superficie de la glace à un maximum record (http://fr.ria.ru/science/20121003/196219467.html), fr.ria.ru, 3 octobre 2012.
64. Nouveau record absolu pour la banquise antarctique (http://www.contrepoints.org/2013/08/07/133788-nouveau-record-absolu-pour-la-banquise-antarctique), contrepoints.org; 7 août 2013.
65. En Antarctique, le réchauffement provoque une extension de la banquise (https://www.lemonde.fr/planete/article/2013/03/31/en-antarctique-le-rechauffement-provoque-une-extension-de-la-banquise_3151102_3244.html), Le Monde.fr, 31 mars 2013.
66. Church, J. A. et al. in Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds Stocker, T. F. et al.) 1137–1177 (Cambridge Univ. Press, 2013).
67. (en)West Antarctic Glacier Loss Appears Unstoppable (http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2014-148), site du Jet Propulsion Laboratory consulté le 23 mai 2014.
68. (en) Clark PUet al. (2009 *The Last Glacial Maximum. Science* 325, 710–714 (résumé (https://dx.doi.org/10.1126/science.1172873)).
69. (en) Heroy DC & Anderson JB (2007) *Radiocarbon constraints on Antarctic Peninsula ice sheet retreat following the Last Glacial Maximum*. Quat. Sci. Rev. 26, p. 3286–3297.
70. (en) Mackintosh, A. et al. (2011) *Retreat of the East Antarctic ice sheet during the last glacial termination*. Nature Geosci. 4, p. 195–202.
71. Weber, M. E. et al. (2011) *Interhemispheric ice-sheet synchronicity during the Last Glacial Maximum.* Science 334, p. 1265–1269.
72. (en) Bond GC & Lotti, R (1995) *Iceberg discharges into the North Atlantic on millennial timescales during the last glaciation*. Science 267, p. 1005–1010.
73. (en) Peltier WR (2004) *Global glacial isostasy and the surface of the ice-age Earth: the ICE-5G (VM2) model and GRACE*. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 32, 111–149 (résumé (https://dx.doi.org/10.1146/annurev.earth.32.082503.144359)).
74. Bentley MJ et al. (2010) *Deglacial history of the West Antarctic Ice Sheet in the Weddell Sea embayment: constraints on past ice volume change*. Geology 38, 411–414 (résumé (https://dx.doi.org/10.1130/G30754.1)).
75. Conway H, Hall BL, Denton GH, Gades AM& Waddington ED (1999) *Past and future grounding-line retreat of the West Antarctic ice sheet*. Science 286, 280–283 (résumé (https://dx.doi.org/10.1130/G30754.1)).
76. Weber, M. E., Clark, P. U., Kuhn, G., Timmermann, A., Sprenk, D., Gladstone, R. M., ... & Friedrich, T. (2013) *Millennial-scale variability in Antarctic ice-sheet discharge during the last deglaciation-Figure 4, supplementary material*, mis en ligne le 28 mai 2014 (résumé (http://www.nature.com/nature/journal/vaop/ncurrent/full/nature13397.html)).
77. Tollefson J (2015) 'Stable' region of Antarctica is melting ; Radar data from Cryosat-2 probe show sudden ice loss on southern Antarctic Peninsula. 21 mai 2015 (résumé (http://www.nature.com/news/stable-region-of-antarctica-is-melting-1.17606))(en)
78. (en) Alexandra Witze (2015) *Gains in Antarctic ice might offset losses Thickening in East Antarctica does not lessen worry about rapidly thinning glaciers elsewhere*. Nature 02 octobre 2015

79. Jeff Tollefson, « Antarctic model raises prospect of unstoppable ice collapse », *Nature*, vol. 531, 30 mars 2016, p. 562 (DOI 10.1038/531562a (https://dx.doi.org/10.1038%2F531562a), lire en ligne (http://www.nature.com/news/antarctic-model-raises-prospect-of-unstoppable-ice-collapse-1.19638))
80. Nick Golledge, est modélisateur spécialiste des inlandsis à l'Université Victoria de Wellington en Nouvelle-Zélande
81. Golledge, N. R. et al. Nature 526, 421–425 (2015) (résumé (http://www.nature.com/nature/journal/v526/n7573/full/nature15706.html)).
82. (en) Pollard, D. & DeConto, R. M. Nature (2016) *Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise* ; Revue Nature, 531, 591–597 (31 mars 2016) Lire en ligne (https://dx.doi.org/10.1038/nature17145)
83. Four decades of Antarctic Ice Sheet mass balance from 1979–2017 (https://www.pnas.org/content/116/4/1095), PNAS, 22 janvier 2019.
84. La glace de l'Antarctique fond plus vite que jamais (https://www.lexpress.fr/actualite/sciences/la-glace-de-l-antarctique-fond-plus-vite-que-jamais_2057368.html), L'Express, 15 javier 2019.
85. (en) S.B. Luthcke, H.J. Zwally, W. Abdalati *et al.*, « Recent Greenland Ice Mass Loss by Drainage System from Satellite Gravity Observations », *Science*, vol. 314, 2006 (DOI 10.1126/science.1130776 (https://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.1130776), lire en ligne (https://www.researchgate.net/profile/H_Zwally2/publication/6742940_Recent_Greenland_Ice_Mass_Loss_by_Drainage_System_from_Satellite_Gravity_Observations/links/54fdbd780cf20700c5ec0cdb/Recent-Greenland-Ice-Mass-Loss-by-Drainage-System-from-Satellite-Gravity-Observations.pdf) [PDF]).
86. Richard Alley, « Le géant Thwaites va-t-il fondre ? », *Pour la Science*, nº 502, août 2019, p. 54-61.
87. (en) GIEC, « Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, Summary for Policymakers » (https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/summary-for-policymakers/), 2019, paragraphe A.3.1.
88. Sylvestre Huet, « Climat : les calottes sont cuites ? » (http://www.liberation.fr/monde/2015/09/29/climat-les-calottes-sont-cuites_1393538), *Libération*, 29 septembre 2015.
89. (en) « Snow and Ice on Kilimanjaro » (https://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=3054), sur *NASA Earth Observatory*, 20 décembre 2002.
90. Louis Reynaud et Christian Vincent, « Histoire des fluctuations des glaciers en remontant le Petit Age de Glace » (http://www-lgge.ujf-grenoble.fr/ServiceObs/images/HouilleBReyanud2002.pdf)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www-lgge.ujf-grenoble.fr/ServiceObs/images/HouilleBReyanud2002.pdf) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www-lgge.ujf-grenoble.fr/ServiceObs/images/HouilleBReyanud2002.pdf) • Archive.is (http://archive.is/http://www-lgge.ujf-grenoble.fr/ServiceObs/images/HouilleBReyanud2002.pdf) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www-lgge.ujf-grenoble.fr/ServiceObs/images/HouilleBReyanud2002.pdf) • Que faire ?), *Variations climatiques et hydrologie*, Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (Grenoble) (consulté le 30 juillet 2008).
91. (en) Intergovernmental panel on climate change, « 2.2.5.4 Mountain glaciers » (http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/064.htm)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/064.htm) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/064.htm) • Archive.is (http://archive.is/http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/064.htm) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/064.htm) • Que faire ?), *Climate Change 2001 (Working Group I: The Scientific Basis)* (consulté le 14 février 2006).
92. (en) National Snow and Ice Data Center, « Global glacier recession » (http://nsidc.org/data/glims/glaciermelt/index.html)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://nsidc.org/data/glims/glaciermelt/index.html) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://nsidc.org/data/glims/glaciermelt/index.html) • Archive.is (http://archive.is/http://nsidc.org/data/glims/glaciermelt/index.html) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://nsidc.org/data/glims/glaciermelt/index.html) • Que faire ?), *GLIMS Data at NSIDC* (consulté le 14 février 2006).

93. Philip Mote et Georg Kaser, « Les glaces du Kilimandjaro : Pourquoi elles ont régressé », *Pour la Science*, décembre 2007 (résumé (http://www.pourlascience.fr/ewb_pages/a/article-les-glaces-du-kilimandjaro-pourquoi-elles-ont-regresse-19504.php)).
94. C'est le point de vue du paléoclimatologue Lonnie Thompson, *Le Kilimandjaro continue à fondre*, Pour la Science, nº 387 (janvier 2010), p. 14.
95. (en) Kathleen Rühland, *et al.*, « Accelerated melting of Himalayan snow and ice triggers pronounced changes in a valley peatland from northern India » (http://www.agu.org/pubs/crossref/2006/2006GL026704.shtml)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.agu.org/pubs/crossref/2006/2006GL026704.shtml) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.agu.org/pubs/crossref/2006/2006GL026704.shtml) • Archive.is (http://archive.is/http://www.agu.org/pubs/crossref/2006/2006GL026704.shtml) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.agu.org/pubs/crossref/2006/2006GL026704.shtml) • Que faire ?), 2006 (DOI 10.1029/2006GL026704 (https://dx.doi.org/10.1029%2F2006GL026704)), p. L15709.
96. (en) Anil Anand, Experts question theory on global warming (https://web.archive.org/web/20070213110851/http://www.hindustantimes.com/news/181_1925164,0008.htm), 11 février 2007, Hindustan Times.
97. (en) V. K. Raina, « Himalayan Glaciers : A State-of-Art Review of Glacial Studies, Glacial Retreat and Climate Change » (http://moef.nic.in/downloads/public-information/MoEF%20Discussion%20Paper%20_him.pdf), 2009 (consulté le 20 janvier 2010) ; « Il est prématuré d'affirmer que les glaciers himalayens reculent anormalement à cause du réchauffement climatique. Un glacier est influencé par tout un ensemble de facteurs physiques et par une interconnexion complexe des facteurs climatiques. ».
98. « Les causes de l'effondrement de deux glaciers au Tibet » (http://www.insu.cnrs.fr/node/8415), sur *http://www.insu.cnrs.fr*, 12 février 2018 (consulté le 30 avril 2018)
99. « Inde : inondations meurtrières après la rupture d'un glacier de l'Himalaya » (https://www.france24.com/fr/asie-pacifique/20210207-en-inde-la-rupture-d-un-glacier-de-l-himalaya-fait-craindre-des-dizaines-de-morts), sur *france24.com*, 8 février 2021 (consulté le 10 février 2021)
00. « Réchauffement climatique : un tiers des glaciers de l'Himalaya sont condamnés » (https://www.franceinter.fr/environnement/rechauffement-climatique-un-tiers-des-glaciers-de-l-himalaya-condamne), sur *franceinter.fr*, 4 février 2019 (consulté le 10 février 2020)
01. (en) P. Wester, A.Mishra, A. Mukherji,A. Bhakta Shrestha, *The Hindu Kush Himalaya Assessment : Mountains, Climate Change, Sustainability and People*, Springer open, 2019 (ISBN 978-3-319-92287-4, DOI 10.1007/978-3-319-92288-1 (https://dx.doi.org/10.1007%2F978-3-319-92288-1))
02. Le spectaculaire recul des glaciers andins depuis 30 ans (http://www.ird.fr/la-mediatheque/fiches-d-actualite-scientifique/424-le-spectaculaire-recul-des-glaciers-andins-depuis-30-ans), Institut de recherche pour le développement, février 2013
03. La Paz assoiffée par la fonte glaciaire ? (http://www.ird.fr/content/download/4782/41170/version/1/file/sas48_actu.pdf), Institut de recherche pour le développement, Science au Sud n°48, janvier/février/mars 2009
04. « L'Islande pleure son premier glacier disparu à cause du réchauffement climatique » (https://sciencepost.fr/lislande-pleure-son-premier-glacier-disparu-a-cause-du-rechauffement-climatique/), sur *sciencepost.fr*, 24 juillet 2019
05. Katey Walter Anthony, *Méthane, un péril fait surface*, *Pour la Science*, 390, avril 2010, p. 73-79.
06. Anny Cazenave et Etienne Berthier, « La montée des océans : jusqu'où ? », *Pour la Science*, nº 388, février 2010, p. 20-27 (lire en ligne (https://www.pourlascience.fr/sd/environnement/la-montee-des-oceans-jusquou-2984.php)).

07. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), « Changements climatiques 2014 : rapport de synthèse. Résumé à l'intention des décideurs » (https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM_fr.pdf)(Archive (http://web.archive.org/web/*/https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM_fr.pdf) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM_fr.pdf) • Archive.is (http://archive.is/https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM_fr.pdf) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM_fr.pdf) • Que faire ?), 2014, p. 4.
08. (en) Union internationale pour la conservation de la nature, *Explaining Ocean Warming : Causes, scale, effects and consequences*, 2016 (lire en ligne (https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2016-046_0.pdf) [PDF]), p. 19.
09. (en) WCRP Global Sea Level Budget Group, « Global sea-level budget 1993–present », *Earth System Science Data*, vol. 10, nº 3, 28 août 2018, p. 1551–1590 (ISSN 1866-3508 (http://worldcat.org/issn/1866-3508&lang=fr), DOI https://doi.org/10.5194/essd-10-1551-2018 (https://dx.doi.org/https%3A%2F%2Fdoi.org%2F, lire en ligne (https://www.earth-syst-sci-data.net/10/1551/2018/), consulté le 27 février 2020).
10. SHOM, « Application marégraphque : niveau moyen des mers » (http://refmar.shom.fr/applications_maregraphiques/niveaux_moyens_des_mers), REFMAR (consulté le 23 janvier 2014).
11. « L'élévation du niveau de la mer » (http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/biblio/pigb14/01_elevation.htm)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/biblio/pigb14/01_elevation.htm) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/biblio/pigb14/01_elevation.htm) • Archive.is (http://archive.is/http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/biblio/pigb14/01_elevation.htm) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/biblio/pigb14/01_elevation.htm) • Que faire ?) (consulté le 26 mars 2013).
12. Service météorologique du Canada, « Élévation du niveau de la mer au Nouveau-Brunswick » (http://atlantic-web1.ns.ec.gc.ca/slr/default.asp?lang=Fr&n=61BB75EF-1)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://atlantic-web1.ns.ec.gc.ca/slr/default.asp?lang=Fr&n=61BB75EF-1) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://atlantic-web1.ns.ec.gc.ca/slr/default.asp?lang=Fr&n=61BB75EF-1) • Archive.is (http://archive.is/http://atlantic-web1.ns.ec.gc.ca/slr/default.asp?lang=Fr&n=61BB75EF-1) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://atlantic-web1.ns.ec.gc.ca/slr/default.asp?lang=Fr&n=61BB75EF-1) • Que faire ?), Environnement Canada (consulté le 30 juillet 2008).
13. « Voir sur *ifremer.fr.* » (http://www.ifremer.fr/institut/actualites/communiques/2007/argo_le_reseau_d_observation_global_de_l_ocean_a_franchi_le_cap_des_3000_flotteurs_de_nouveaux_defis_l_attendent)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.ifremer.fr/institut/actualites/communiques/2007/argo_le_reseau_d_observation_global_de_l_ocean_a_franchi_le_cap_des_3000_flotteurs_de_nouveaux_defis_l_attendent) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.ifremer.fr/institut/actualites/communiques/2007/argo_le_reseau_d_observation_global_de_l_ocean_a_franchi_le_cap_des_3000_flotteurs_de_nouveaux_defis_l_attendent) • Archive.is (http://archive.is/http://www.ifremer.fr/institut/actualites/communiques/2007/argo_le_reseau_d_observation_global_de_l_ocean_a_franchi_le_cap_des_3000_flotteurs_de_nouveaux_defis_l_attendent) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.ifremer.fr/institut/actualites/communiques/2007/argo_le_reseau_d_observation_global_de_l_ocean_a_franchi_le_cap_des_3000_flotteurs_de_nouveaux_defis_l_attendent) • Que faire ?).
14. Courbe de la quantité de chaleur (http://www.nodc.noaa.gov/OC5/3M_HEAT_CONTENT/), National Oceanic and Atmospheric Administration.
15. M.-E. Perga, E. Prévost, J.-L. Baglinière, « Préserver la richesse des milieux aquatiques », *Pour la science*, n° 437, mars 2014, p. 82-85.
16. « Le climat met la recherche scientifique en ébullition » (https://www.lesechos.fr/2015/07/le-climat-met-la-recherche-scientifique-en-ebullition-267759), *Les Échos* du 8 juillet 2015.
17. (en) T. Sato, J. Okuno, J. Hinderer, D.S. MacMillan, H.P. Plag, O. Francis, R. Falk et Y. Fukuda, « A geophysical interpretation of the secular displacement and gravity rates observed at Ny-°Alesund, Svalbard in the Arctic–effects of post-glacial rebound and present-day ice melting », *Geophys. J. Int.*, vol. 165, 2006, p. 729–743.

18. (en) Wahr J. & DaZhong H. (1995) *Predictions of vertical uplift caused by changing polar ice volumes on a viscoelastic earth*, Geophys. Res. Let., 22, nº 8, p. 977–980.

19. Rerolle T., Florsh N., Llubes M., Boudin F. & Longuevergne L. (2006) : L'inclinométrie, un nouvel outil pour le suivi temporel des aquiferes ?, C. R. Geoscience, 338, p. 775–786.
20. (en) Sjöberg L.E., Pan M., Erlingsson S., Asenjo E. & Arnason K. (2004) *Land uplift near Vatnaj¨okull, Iceland, as observed by GPS in 1992, 1996 and 1999*, Geophys. J. Int., 159, p. 943–948.
21. (en) Tamtsiea, M. E., Mitrovica, J. X., Davis, J. L., & Milne, G. A. (2003). II: Solid earth physics : Long Wavelength Sea Level and Solid Surface Perturbations Driven by Polar Ice Mass Variations : Fingerprinting Greenland and Antarctic Ice Sheet Flux. Space Science Reviews, 108(1-2), p. 81-93.
22. (en) Ditmar, P., & Hashemi Farahani, H. (2012). *Added value of GOCE data to the recovery of linear trends in natural mass re-distribution in the Earth's system*. In EGU General Assembly Conference Abstracts (vol. 14, p. 9085), avril 2012 (résumé (http://adsabs.harvard.edu/abs/2012EGUGA..14.9085D)).
23. Ivins, E. R., Wu, X., Raymond, C. A., Yoder, C. F., & James, T. S. (2002). *Temporal geoid of a rebounding Antarctica and potential measurement by the GRACE and GOCE satellites*. In Gravity, Geoid and Geodynamics 2000, p. 361-366). Springer Berlin Heidelberg.
24. Goiginger, H., Rieser, D., Mayer-Gürr, T., & Höck, E. (2011) « Global combination gravity field model based on GOCE and GRACE data » *(http://www.ovg.at/uploads/media/04_goiginger_.pdf)*(*Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.ovg.at/uploads/media/04_goiginger_.pdf)* • *Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.ovg.at/uploads/media/04_goiginger_.pdf)* • *Archive.is (http://archive.is/http://www.ovg.at/uploads/media/04_goiginger_.pdf)* • *Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.ovg.at/uploads/media/04_goiginger_.pdf)* • *Que faire ?)* Vermessung & Geoinformation, 2, p. 79-88.
25. (en) J.L Chen, T Pekker C.R. Wilson, B. D. Tapley, A. G. Kostianoy, J.-F. Cretaux & E. S. Safarov (2017) Long-term Caspian Sea level change (http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2017GL073958/pdf) | Geophys. Res. Lett. | 44, 6993-7001 | doi:10.1002/2017GL07395)
26. (en) Sasgen, I., Konrad, H., Ivins, E. R., Van den Broeke, M. R., Bamber, J. L., Martinec, Z., & Klemann, V. (2013) *Antarctic ice-mass balance 2003 to 2012: regional reanalysis of GRACE satellite gravimetry measurements with improved estimate of glacial-isostatic adjustment based on GPS uplift rates*. The Cryosphere, 7(5), p. 1499-1512.
27. Rummel, R., Horwath, M., Yi, W., Albertella, A., Bosch, W., & Haagmans, R. (2011) *GOCE, satellite gravimetry and Antarctic mass transports.* Surveys in geophysics, 32(4-5), 643-657 (résumé (https://link.springer.com/article/10.1007/s10712-011-9115-5)).
28. Zlotnicki, V., Bettadpur, S., Landerer, F. W., & Watkins, M. M. (2013). Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE): Detection of Ice Mass Loss, Terrestrial Mass Changes, and Ocean Mass Gains. In Earth System Monitoring (pp. 123-152). Springer New York (résumé (https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-5684-1_7)).
29. Sasgen, I., Martinec, Z., & Fleming, K. (2007). *Regional ice-mass changes and glacial-isostatic adjustment in Antarctica from GRACE (https://scholar.google.fr/scholar?hl=fr&q=goce+grace+antarctic+smelting+ice&btnG=&lr=)*. Earth and Planetary Science Letters, 264(3), p. 391-401 (résumé (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012821X07005961)).
30. Lee, H., Shum, C. K., Howat, I. M., Monaghan, A., Ahn, Y., Duan, J., … & Wang, L. (2012) *Continuously accelerating ice loss over Amundsen Sea catchment, West Antarctica, revealed by integrating altimetry and GRACE data*. Earth and Planetary Science Letters, 321, p. 74-80.
31. Fukuda, Y., Hiraoka, Y., & Doi, K. (2007, January). *An experiment of precise gravity measurements on ice sheet, Antarctica*. In Dynamic Planet (pp. 88-93). Springer Berlin Heidelberg (résumé (https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-49350-1_16)).
32. Métivier, L., Collilieux, X., & Altamimi, Z. (2012). *ITRF 2008 contribution to glacial isostatic adjustment and recent ice melting assessment (http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2011GL049942/full)*. Geophysical Research Letters, 39(1).

33. Mitrovica, J. X., & Vermeersen, B. L. (2002) « Glacial isostatic adjustment and the Earth system » (http://www.agu.org/books/gd/v029/GD029p0001/GD029p0001.pdf)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.agu.org/books/gd/v029/GD029p0001/GD029p0001.pdf) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.agu.org/books/gd/v029/GD029p0001/GD029p0001.pdf) • Archive.is (http://archive.is/http://www.agu.org/books/gd/v029/GD029p0001/GD029p0001.pdf) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.agu.org/books/gd/v029/GD029p0001/GD029p0001.pdf) • Que faire ?). *Geodynamics Series*, 29, 1-2.
34. Zwally, H. J., Giovinetto, M. B., Li, J., Cornejo, H. G., Beckley, M. A., Brenner, A. C., … & Yi, D. (2005) « Mass changes of the Greenland and Antarctic ice sheets and shelves and contributions to sea-level rise: 1992–2002 » (http://folk.uib.no/abo007/share/greenland/zwally_giovinetto05.jog.pdf)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://folk.uib.no/abo007/share/greenland/zwally_giovinetto05.jog.pdf) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://folk.uib.no/abo007/share/greenland/zwally_giovinetto05.jog.pdf) • Archive.is (http://archive.is/http://folk.uib.no/abo007/share/greenland/zwally_giovinetto05.jog.pdf) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://folk.uib.no/abo007/share/greenland/zwally_giovinetto05.jog.pdf) • Que faire ?). *Journal of Glaciology*, 51(175), p. 509-527.
35. (en) Deline P., Jaillet S., Rabatel A., Ravanel L. (2008) *Ground-Based LiDAR data on permafrost-related rock fall activity in the Mont-Blanc massif*. In Kane D.L., Hinkel K.M. (Eds.): *Proceedings of the 9th International Conference on Permafrost 2008*, Institute of Northern Engineering, university of Alaska Fairbanks, 349-354.
36. (en) Fischer L., Kääb A., Huggel C., Noetzli J. (2006), « Geology, glacier changes, permafrost and related slope instabilities in a high-mountain rock wall: Monte Rosa east face, Italian Alps ». *Natural Hazards and Earth System Sciences* 6, 761-772.
37. (en) Gruber S., Hoelzle M., Haeberli W. (2004) « Permafrost thaw and destabilization of Alpine rock walls in the hot summer 2003 ». *Geophysical Research Letters* 31, L13504.
38. Beniston M. (2005) « Changement climatique et impacts possibles dans la région alpine ». *Revue de géographie alpine*, 93, 13-32.
39. Cossart E., Braucher R., Fort M., Bourlès D.L., Carcaillet J. (2008) *Slope instability in relation to glacial debuttressing in alpine areas (Upper Durance catchment, southeastern France): evidence from field data and 10Be cosmic ray exposure ages*. Geomorphology 95, 3-26.
40. Evans S.G., Clague J.J. (1994) « Recent climatic change and catastrophic geomorphic processes in mountain environments ». *Geomorphology* 10, 107-128.
41. « Les Alpes s'écroulent, déstabilisées par le réchauffement climatique ». (http://lci.tf1.fr/science/environnement/le-rechauffement-climatique-fait-aussi-s-ecrouler-les-montagnes-8655456.html)
42. Ravanel, L., & Deline, P. (2009). « La face ouest des Drus (massif du Mont-Blanc) : évolution de l'instabilité d'une paroi rocheuse dans la haute montagne alpine depuis la fin du petit âge glaciaire ». *Géomorphologie : relief, processus, environnement* (4/2008), 261-272.
43. (en) Parmesan & Yohe, *A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems*, vol. 401, Nature, 2003 (lire en ligne (http://www.nature.com/nature/journal/v421/n6918/abs/nature01286.html)), p. 37.
44. (en) Perry et al., *Climate Change and Distribution Shifts in Marine Fishes*, vol. 308, Science, 2005 (lire en ligne (http://www.sciencemag.org.gate1.inist.fr/content/308/5730/1912.full)), p. 1912.
45. (en) Shawn M. Crimmins, Solomon Z. Dobrowski, Jonathan A. Greenberg, John T. Abatzoglou et Alison R. Mynsberge, « Report Changes in Climatic Water Balance Drive Downhill Shifts in Plant Species' Optimum Elevations », dans *Science*, vol. 331, nº 6015, 21 janvier 2011, p. 324-327 DOI:10.1126/science.1199040 (https://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.1199040).

46. Projet Global Observation Research Initiative In Alpine Environments (http://www.gloria.ac.at/) (GLORIA) et publication : (en) Michael Gottfried *et al.*, « Continent-wide response of mountain vegetation to climate change », *Nature Climate Change*, nº 2, mars 2012, pages111–115 (DOI 10.1038/nclimate1329 (https://dx.doi.org/10.1038%2Fnclimate1329), lire en ligne (https://www.nature.com/articles/nclimate1329), consulté le 26 mars 2013), résumé sur « Le réchauffement climatique bouleverse la flore de haute montagne » (http://www.tela-botanica.org/actu/article4866.html), sur *Tela Botanica*, 1er février 2012.
47. (en) V.A. Barber, G.P. Juday et B.P. Finney, « Reduced growth of Alaskan whitespruce in the twentieth century from temperature-induced drought stress », *Nature*, vol. 405, 2000, p. 668–673.
48. Hervé Le Guyader, « Quand les plantes gravissent les montagnes », *Pour la science*, nº 503, septembre 2019, p. 92-94.
49. (en) « Over 1000 Sea Turtles Rescued by Volunteers in Southern Texas » (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http%3A%2F%2Fresearchmatters.noaa.gov%2Fnews%2FPages%2FOver1000SeaTurtlesRescuedbyTexasVolunteers.aspx), NOAA, 1er mars 2011.
50. (en) « Cold Snaps and Stunned Sea Turtles » (https://www.fisheries.noaa.gov/feature-story/cold-snaps-and-stunned-sea-turtles), sur *NOAA*, 14 juin 2018 (consulté le 29 janvier 2020).
51. (en-US) « Frigid Weather Threatened Thousands of Our State's Sea Turtles, But These Texans Saved Them » (https://www.houstoniamag.com/travel-and-outdoors/2018/02/texas-green-turtles-threatened-cold-weather-2018), *Houstonia* (en), 7 février 2018 (consulté le 29 janvier 2020).
52. Forêts et réchauffement climatique : des chenilles qui ne perdent pas le nord (http://www.inra.fr/Grand-public/Rechauffement-climatique/Tous-les-dossiers/Forets-et-rechauffement-climatique/Forets-et-rechauffement-climatique), INRA.
53. « Suivi temporel des oiseaux communs (STOC) » (http://www.vigienature.fr/fr/suivi-temporel-des-oiseaux-communs-stoc), sur *www.vigienature.fr*.
54. Frédéric Jiguet, « Les oiseaux, révélateurs du réchauffement », *Pour la science*, nº 379, mai 2009 (résumé (https://www.pourlascience.fr/sd/environnement/les-oiseaux-revelateurs-du-rechauffement-963.php)).
55. « Les cigognes espagnoles ne migrent plus », *Courrier International (traduction de El Independiente (Madrid)*, nº 1511, 17-23 octobre 2019
56. (en) Lomolino, M. V., Sax, D. F., Palombo, M. R., & van der Geer, A. A., « *Of mice and mammoths: evaluations of causal explanations for body size evolution in insular mammals (http://www.brown.edu/Research/Sax_Research_Lab/Documents/PDFs/Lomolino%20et%20al.%202012%20-%20of%20mice%20and%20mammoths.pdf)* », *Journal of Biogeography*, nº 39, vol. 5, 2012 [PDF], p. 842-854.
57. (en) Orcutt, J. D., & Hopkins, S. S., « *Oligo-Miocene climate change and mammal body-size evolution in the northwest United States: a test of Bergmann's Rule* ». *Paleobiology*, 39(4), 2013, p.648-661. (« résumé » (http://www.psjournals.org/doi/abs/10.1666/13006)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.psjournals.org/doi/abs/10.1666/13006) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.psjournals.org/doi/abs/10.1666/13006) • Archive.is (http://archive.is/http://www.psjournals.org/doi/abs/10.1666/13006) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.psjournals.org/doi/abs/10.1666/13006) • Que faire ?)).
58. J.L. Gardner, A. Peters, M.R. Kearney, L. Joseph et R. Heinsohn, « Declining body size: a third universal response to warming ? », *Trends Ecol. Evol.*, vol. 26, 2011, p. 285–291 (lire en ligne (http://www.zoology.ubc.ca/~sunday/bdg/pdfs_bdg/2015%20Spring/Gardner%20et%20al.%202011.pdf) [PDF])
59. (en) Jennifer A. Sheridan1 & David Bickford1, « Shrinking body size as an ecological response to climate change », *Nature Climate Change*, 2011 (DOI 10.1038/nclimate1259 (https://dx.doi.org/10.1038%2Fnclimate1259), lire en ligne (http://sa.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/ecological%20response%20to%20Climate.pdf) [PDF]).

60. (en) ScienceDaily, « *Global warming led to dwarfism in mammals -- twice* », University of Michigan, 2 novembre 2013.

Étude menée sur la base de travaux financés par la National Science Foundation, la Société américaine de géologie, la société paléontologique des États-Unis et la Société Sigma Xi.

61. (en) Smith, J. J., Hasiotis, S. T., Kraus, M. J. & Woody, D. T., « *Transient dwarfism of soil fauna during the Paleocene–Eocene Thermal Maximum (http://www.pnas.org/content/106/42/17655.full)* », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, nº 106, 2009, p. 17655–17660.
62. (en) Daufresne, M., Lengfellner, K. & Sommer, U, « *Global warming benefits the small in aquatic ecosystems* », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 2009, p. 12788–12793.
63. (en) Shi, D., Xu, Y., Hopkinson, B. M. & Morel, F. M. M., « *Effect of ocean acidification on iron availability to marine phytoplankton* », *Science*, nº 327, 2010, p. 676–679.
64. Le dernier siècle de l'ours polaire (http://abonnes.lemonde.fr/biodiversite/article/2014/11/26/le-dernier-siecle-de-l-ours-polaire_4529842_1652692.html), *Le Monde*, 26 novembre 2014
65. (en) L. Scott Mills, Marketa Zimova, Jared Oyler, Steven Running, John T. Abatzoglou et Paul M. Lukacs, Camouflage mismatch in seasonal coat color due to decreased snow duration (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3645584/), *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2013 Apr 30; 110(18): 7360–7365. Published online 2013 Apr 15. doi: 10.1073/pnas.1222724110
66. (en) *Climate change could eventually claim a sixth of the world's species (http://news.sciencemag.org/climate/2015/04/climate-change-could-eventually-claim-sixth-world-s-species)*, *Science*, DOI: 10.1126/science.aab2576.
67. (en) Shawn M. Crimmins, Solomon Z. Dobrowski, Jonathan A. Greenberg, John T. Abatzoglou et Alison R. Mynsberge, « Report Changes in Climatic Water Balance Drive Downhill Shifts in Plant Species' Optimum Elevations », *Science*, vol. 331, nº 6015, 21 janvier 2011, p. 324-327 (DOI 10.1126/science.1199040 (https://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.1199040)).
68. P. Debaeke, S. Pellerin, J. Le Gouis, A. Bispo, T. Eglin et A. Trévisol, « Les défis de l'agriculture », *Pour la Science*, nº 437, mars 2014, p. 70-73.
69. Selon Jean-Marc Touzard, économiste à l'INRA, les dates des vendanges ont avancé de deux à trois semaines depuis 1960, (revue *Pour la science*, n°451, mars 2015, p.34)
70. « Les dates de vendanges : un indicateur du climat du passé » (http://www2.cnrs.fr/presse/communique/589.htm), *Communiqué de presse*, CNRS, 18 novembre 2004 (consulté le 30 juillet 2008).
71. (en) CNRS, « Grape ripening as a past climate indicator » (http://www.cefe.cnrs.fr/fe/pdf/2004_Nature_432_289_290.pdf)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.cefe.cnrs.fr/fe/pdf/2004_Nature_432_289_290.pdf) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.cefe.cnrs.fr/fe/pdf/2004_Nature_432_289_290.pdf) • Archive.is (http://archive.is/http://www.cefe.cnrs.fr/fe/pdf/2004_Nature_432_289_290.pdf) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.cefe.cnrs.fr/fe/pdf/2004_Nature_432_289_290.pdf) • Que faire ?) [PDF], *Nature*, 18 novembre 2004 (consulté le 30 juillet 2008).
72. (en) Holli Riebeek et Robert Simmon, « Paléoclimatologie : enregistrement des données provenant de l'étude des carottes glaciaires. » (http://earthobservatory.nasa.gov/Study/Paleoclimatology_IceCores/), *Observatoire de la Terre*, NASA, 19 décembre 2005 (consulté le 30 juillet 2008).
73. « EPICA fait parler les carottes glaciaires de l'Antarctique » (http://www.enviscope.com/14666-carottage-Antarctique-climat-glaciologie.html), 13 mars 2008.
74. (en) Joseph D. Ortiz, « Ancient ice-sheet collapse », *Nature Geoscience*, vol. 13, nº 5, mai 2020, p. 328–329 (ISSN 1752-0894 (http://worldcat.org/issn/1752-0894&lang=fr) et 1752-0908 (http://worldcat.org/issn/1752-0908&lang=fr), DOI 10.1038/s41561-020-0572-7 (https://dx.doi.org/10.1038%2Fs41561-020-0572-7), lire en

DOI 10.1038/s41561-020-0572-7 (https://dx.doi.org/10.1038%2Fs41561-020-0572-7), lire en ligne (http://www.nature.com/articles/s41561-020-0572-7), consulté le 8 mai 2020).

75. Lee Kump, « Le dernier grand réchauffement », *Pour la science*, nº 408, 23 juillet 2011, p. 40-46 (lire en ligne (http://www.pourlascience.fr/ewb_pages/a/article-le-dernier-grand-rechauffement-27979.php)).
76. Emmanuel Le Roy Ladurie, *Histoire humaine et comparée du climat, Canicules et glaciers, du XIIIe au XVIIIe siècle*, Fayard, 2004, p. 8-9 :

> « Laissons de côté, ou du moins considérons avec prudence, la notion de *petit optimum médiéval* (POM). On a voulu le faire durer du IXe siècle au XIIIe siècle et l'étendre au monde entier ! [...] Je veux me borner ci-après à une constatation essentiellement séculaire : il y a bien en tout état de cause au XIIIe siècle, *en Europe occidentale*, une longue série d'étés secs, vraisemblablement chauds, qui se montrent dans l'ensemble plutôt favorables aux agriculteurs, et par voie de conséquence, aux consommateurs »

77. M. Garnier, « Les hivers de 1400 à 1800 » (http://www.alertes-meteo.com/vague_de_froid/hiver1400-1800.htm), *Mémorial de la météorologie nationale*, AlerteMétéo.com, 1967 (consulté le 21 septembre 2019).
78. (en) MARGO Project Members, Constraints on the magnitude and patterns of ocean cooling at the Last Glacial Maximum (http://www.nature.com/ngeo/journal/v2/n2/abs/ngeo411.html), *Nature Geosciences* février 2009.
79. (en) GIEC, *Quatrième rapport d'évaluation du GIEC, Synthesis Report, Summary for Policymakers*, 2007, PDF (lire en ligne (http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf)), p. 5.
80. (en) Karl TR, Trenberth KE, « Modern Global Climate Change », *Science*, vol. 302, nº 5651, 2003, p. 1719–23 (PMID 14657489 (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14657489), DOI 10.1126/science.1090228 (https://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.1090228), lire en ligne (http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/302/5651/1719)).
81. (en) Le Treut H, Somerville R, Cubasch U, Ding Y, Mauritzen C, Mokssit A, Peterson T and Prather M, « Historical Overview of Climate Change Science In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M and Miller HL, editors) » (http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter1.pdf)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter1.pdf) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter1.pdf) • Archive.is (http://archive.is/http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter1.pdf) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter1.pdf) • Que faire ?) [PDF], Cambridge University Press, 2007 (consulté le 14 décembre 2008).
82. (en) « NASA Science Mission Directorate article on the water cycle » (http://nasascience.nasa.gov/earth-science/oceanography/ocean-earth-system/ocean-water-cycle)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://nasascience.nasa.gov/earth-science/oceanography/ocean-earth-system/ocean-water-cycle) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://nasascience.nasa.gov/earth-science/oceanography/ocean-earth-system/ocean-water-cycle) • Archive.is (http://archive.is/http://nasascience.nasa.gov/earth-science/oceanography/ocean-earth-system/ocean-water-cycle) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://nasascience.nasa.gov/earth-science/oceanography/ocean-earth-system/ocean-water-cycle) • Que faire ?), sur *nasascience.nasa.gov*, NASA (consulté le 16 octobre 2010).
83. J.-M. Guehl, J.-F. Soussana, « L'adaptation au changement climatique », *Pour la Science*, nº 436, février 2014, p. 17.
84. Alexandre-Reza Kokabi, « Le niveau de CO_2 dans l'atmosphère n'a jamais été aussi élevé depuis trois millions d'années » (https://reporterre.net/Le-niveau-de-CO2-dans-l-atmosphere-n-a-jamais-ete-aussi-eleve-depuis-trois), Reporterre, 23 novembre 2018 : « À titre de comparaison, à l'époque préindustrielle, la teneur moyenne en dioxyde de carbone de

comparaison, à l'époque préindustrielle, la teneur moyenne en dioxyde de carbone de l'atmosphère terrestre était d'environ 278 ppm. »

85. Stéphane Fouks, « 2015, année de tous les records climatiques », *Le Monde*, 9 novembre 2015 (lire en ligne (https://www.lemonde.fr/cop21/article/2015/11/09/2015-annee-de-tous-les-records-climatiques_4806136_4527432.html)).
86. Nathalie Mayer, « Le taux de CO_2 dans l'atmosphère atteint un record jamais vu depuis 3 millions d'années ! » (https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/climatologie-taux-co2-atmosphere-atteint-record-jamais-vu-depuis-3-millions-annees-19695/), Futura, 14 mai 2019 : « L'observatoire de Mauna Loa, à Hawaï (États-Unis), a une fois de plus enregistré une concentration record de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère de la Terre : 415,26 parties par million (ppm). »
87. « Réchauffement climatique : nouveaux records des gaz à effet de serre en 2014 », *Le Parisien.fr*, 9 novembre 2015 (lire en ligne (http://www.leparisien.fr/environnement/rechauffement-climatique-nouveaux-records-des-gaz-a-effet-de-serre-en-2014-09-11-2015-5261693.php))
88. « http://contreinfo.info/article.php3?id_article=1970 » (http://contreinfo.info/article.php3?id_article=1970)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://contreinfo.info/article.php3?id_article=1970) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://contreinfo.info/article.php3?id_article=1970) • Archive.is (http://archive.is/http://contreinfo.info/article.php3?id_article=1970) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://contreinfo.info/article.php3?id_article=1970) • Que faire ?).
89. Francois Jarrige et Thomas Le Roux, *La Contamination du monde : une histoire des pollutions à l'âge industriel*, Le Seuil, 2017, 480 p. (lire en ligne (https://books.google.com/books?id=6nI3DwAAQBAJ)), p. 153
90. Durand F. Le réchauffement climatique en débats, 2007. [source insuffisante]
91. « Arrhenius et l'effet de serre », *Pour La Science* nº 164, juin 1991, p. 8-9.
92. (en-GB) Zoe Applegate, « Global warming discovery marked », *BBC News*, 26 avril 2013 (lire en ligne (https://www.bbc.com/news/uk-england-norfolk-22283372), consulté le 19 mars 2020)
93. (en) « The carbon dioxide theory of Gilbert Plass » (http://www.realclimate.org/index.php/archives/2010/01/the-carbon-dioxide-theory-of-gilbert-plass/), sur *RealClimate* (consulté le 19 mars 2020).
94. (en) « University of California » (http://earthguide.ucsd.edu/globalchange/keeling_curve/01.html)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://earthguide.ucsd.edu/globalchange/keeling_curve/01.html) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://earthguide.ucsd.edu/globalchange/keeling_curve/01.html) • Archive.is (http://archive.is/http://earthguide.ucsd.edu/globalchange/keeling_curve/01.html) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://earthguide.ucsd.edu/globalchange/keeling_curve/01.html) • Que faire ?) (consulté le 26 mars 2013).
95. (en) *Carbon Dioxide Information Analysis Center* (http://cdiac.ornl.gov/new/keel_page.html).
96. Valérie Masson-Delmotte, « L'humanité modifie le climat », *Pour la science*, nº 481, novembre 2017, p. 94-97.
97. « Événements marquants » (http://www.wmo.ch/pages/about/milestones_fr.html)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.wmo.ch/pages/about/milestones_fr.html) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.wmo.ch/pages/about/milestones_fr.html) • Archive.is (http://archive.is/http://www.wmo.ch/pages/about/milestones_fr.html) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.wmo.ch/pages/about/milestones_fr.html) • Que faire ?), OMM, 2007 (consulté le 30 juillet 2008) entrée pour l'année 1979.
98. Anne-Sophie Boutaud, « Comment la carotte a révolutionné la climatologie » (https://lejournal.cnrs.fr/articles/comment-la-carotte-a-revolutionne-la-climatologie), sur *lejournal.cnrs.fr*, CNRS, 11 mars 2020 (consulté le 18 mars 2020).
99. CNRS, « Claude Lorius médaillé d'or du CNRS 2002 » (https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/terre-claude-lorius-medaille-or-cnrs-2002-1380/), sur *Futura* (consulté le 19 mars 2020)
00. Sean Bailly, *La formation des aérosols à la loupe de Cloud*, *Pour la Science*, nº 470, décembre 2016, p. 6-7.
01. Eimear Dunne *et al.*, *Global atmospheric particle formation from CERN Cloud measurements*

(http://science.sciencemag.org/content/early/2016/11/21/science.aaf2649), *Science*, 27 octobre 2016.

02. (en) Working Group I, *TAR Climate Change 2001: The Scientific Basis*, GIEC, 2001, 893 p. (présentation en ligne (https://www.ipcc.ch/report/ar3/wg1/), lire en ligne (https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf) [PDF]), p. 731.

> « *Most of the discussion in this section has been concerned with evidence relating to a human effect on late 20th century climate. The observed global mean surface temperature record shows two main periods of warming. Some studies detect a solar influence on surface temperature over the first five decades of the century, with perhaps a small additional warming due to increases in greenhouse gases. One study suggests that the early warming could be due to a combination of anthropogenic effects and a highly unusual internal variation. Thus the early century warming could be due to some combination of natural internal variability, changes in solar irradiance and some anthropogenic influence. The additional warming in the second half-century is most likely to be due to a substantial warming due to increases in greenhouse gases, partially offset by cooling due to aerosols, and perhaps by cooling due to natural factors towards the end of the period.* »

03. (en) « The IPCC 4th Assessment Report is coming out A picture of climate change the current state of understanding » (http://www.ipcc.ch/pdf/press-ar4/ipcc-flyer-low.pdf) [PDF], GIEC (IPCC en anglais), 2007 (consulté le 30 juillet 2008).
04. « Les deux modèles de climat français s'accordent pour simuler un réchauffement prononcé » (http://www.cnrs.fr/en/node/4087), sur *CNRS*, 17 septembre 2019 (consulté le 20 janvier 2020).
05. (en) GIEC, « Understanding and Attributing Climate Change », dans *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 2018, 663-745 p. (lire en ligne (https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter9-1.pdf) [PDF]), p. 684 (Figure 9.5).
06. GIEC, « Changements climatiques 2013 Les éléments scientifiques » (https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_FRENCH.pdf)(Archive (http://web.archive.org/web/*/https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_FRENCH.pdf) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_FRENCH.pdf) • Archive.is (http://archive.is/https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_FRENCH.pdf) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_FRENCH.pdf) • Que faire ?) [PDF], p. 60, Figure RT.9.
07. Voir Évolution temporelle du dioxyde de carbone (http://www-lgge.ujf-grenoble.fr/axes/equipes/gaz/co2.shtml) par le Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement.
08. Kate Marvel, « Les nuages, amplificateurs du réchauffement », *Pour la science*, nº 484, février 2018, p. 50-56.
09. (en) Peter A. Stott, S. F. B. Tett, G. S. Jones et M. R. Allen, « External Control of 20th Century Temperature by Natural and Anthropogenic Forcings », *Science*, vol. 290, nº 5499, 15 décembre 2000, p. 2133–2137 (ISSN 0036-8075 (http://worldcat.org/issn/0036-8075&lang=fr) et 1095-9203 (http://worldcat.org/issn/1095-9203&lang=fr), PMID 11118145 (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11118145), DOI 10.1126/science.290.5499.2133 (https://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.290.5499.2133), lire en ligne (https://science.sciencemag.org/content/290/5499/2133), consulté le 20 juillet 2020)
10. rapport de 2001 (http://www.ipcc.ch/index.htm).
11. (en) American Geophysical Union, « AGU Position Statement » (http://www.agu.org/sci_pol/positions/climate_change2008.shtml), décembre 2003 (consulté le 26 décembre 2009).

12. *Déclaration commune des Académies des sciences sur la réponse globale au changement climatique*, 8 juin 2005 (présentation en ligne (https://www.academie-sciences.fr/archivage_site/presse/communique/G8_2005.pdf), lire en ligne (https://www.academie-sciences.fr/archivage_site/activite/rapport/avis0605a.pdf) [PDF]), traduction de :
(en) *Joint sciences academies' statement : Global response to climate change*, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (en), 7 juin 2005 (présentation en ligne (https://royalsociety.org/topics-policy/publications/2005/global-response-climate-change/), lire en ligne (https://sites.nationalacademies.org/cs/groups/internationalsite/documents/webpage/international_080877.pdf) [PDF]).
13. « Urgence climatique », *Le Nouvel Observateur*, nº 2247, 23 novembre 2007, p. 119 reprenant Science.
14. "France Culture, décembre 2018, "Consommation de charbon : les bons et mauvais élèves dans le monde" (https://www.franceculture.fr/ecologie-et-environnement/consommation-de-charbon-les-bons-et-mauvais-eleves-dans-le-monde)
15. "Connaissance des énergies, 2014: capture et stockage du Co2" (https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/capture-et-stockage-du-co2-csc), connaissancedesenergies.org
16. "Comment la start-up américaine NET Power capture le gaz carbonique pour le valoriser en énergie" (https://www.usinenouvelle.com/article/avec-son-demonstrateur-net-power-capture-le-gaz-carbonique-pour-le-valoriser-en-energie.N701519), Usine nouvelle, 2018.
17. (en)"Holy Grail of Carbon Capture Continues to Elude Coal Industry (http://ieefa.org/wp-content/uploads/2018/11/Holy-Grail-of-Carbon-Capture-Continues-to-Elude-Coal-Industry_November-2018.pdf), p. 26/34, ieefa.org [PDF]
18. "L'avenir de la capture et de la séquestration du carbone, p43/93" (https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais_2013/Stephenne_K__2013-06-30_.pdf), usherbrooke.ca [PDF], fig 2.
19. "Nouvelle édition d'Un Monde d'Énergie by ENGIE : l'essentiel du contexte énergétique mondial" (https://www.engie.com/breves/un-monde-energie-2017-contexte-energetique-mondial/)
20. "L'avenir de la capture et de la séquestration du carbone, p84/93" (https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais_2013/Stephenne_K__2013-06-30_.pdf)
21. "Allemagne-Energie, 2018:Selon la Cour des comptes allemande la transition énergétique est au bord de l'échec" (https://allemagne-energies.com/2018/09/28/selon-la-cour-des-comptes-allemande-la-transition-energetique-est-au-bord-de-lechec/)
22. "Cinq cartes qui montrent l'impact du charbon en Europe" (https://www.lemonde.fr/energies/article/2015/09/10/cinq-cartes-qui-montrent-l-impact-du-charbon-en-europe_4752060_1653054.html), Le Monde, 10 septembre 2015.
23. "2014: le top 30 des centrales à charbon les plus polluantes d'Europe" (https://www.sortirdunucleaire.org/Le-top-30-des-centrales-a-charbon), Sortir du nucléaire, 2014.
24. (en) DUKES 2018 Chapter 5 Electricity (https://www.gov.uk/government/statistics/electricity-chapter-5-digest-of-united-kingdom-energy-statistics-dukes), Département des Affaires, de l'Énergie et des Stratégies industrielles (voir page 137), 26 juillet 2018 [PDF].
25. "Journal de l'environnement,Avril 2018:Le captage du CO2 grâce à une enzyme biologique" (http://www.journaldelenvironnement.net/article/le-captage-du-co2-grace-a-une-enzyme-biologique,91336).
26. "Les Echos, 2017:CCSL et Veolia vont capter le CO2 à grande échelle" (https://www.lesechos.fr/30/03/2017/LesEchos/22415-105-ECH_ccsl-et-veolia-vont-capter-le-co2-a-grande-echelle.htm)
27. "opportunités techno, 2018: Le cycle d'Allam, potentiel great de la capture de CO2" (https://en

27. "opportunites technos, 2018: Le cycle d'Allam, potentiel graal de la capture de CO2" (https://opportunites-technos.com/le-cycle-allam-potentiel-graal-de-la-capture-de-co2/).

28. "2017 Demonstration of the Allam Cycle: An Update on the Development Status of a High Efficiency Supercritical Carbon Dioxide Power Process Employing Full Carbon Capture" (https://www.researchgate.net/publication/319196020_Demonstration_of_the_Allam_Cycle_An_Update_on_the_Development_Status_of_a_High_Efficiency_Supercritical_Carbon_Dioxide_Power_Process_Employing_Full_Carbon_Capture).
29. "2018:This Natural Gas Plant Has Achieved Zero Emissions" (https://www.youtube.com/watch?v=1zDZmlDbDO0).
30. "Quels sont les pays qui consomment le plus de-charbon" (https://www.connaissancedesenergies.org/quels-sont-les-pays-qui-consomment-le-plus-de-charbon-140620), Connaissance des énergies, 2013.
31. **[PDF]** Changements climatiques 2014 - Rapport de synthèse (https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf), GIEC, 2014.
32. climatologues du Laboratoire national de Lawrence Livermore, du département de l'Énergie des États-Unis (DoE) et de seize autres organisations
33. Lawrence Livermore National Laboratory (https://www.llnl.gov/).
34. **(en)** Anne Stark, *A human-caused climate change signal emerges from the noise (http://www.ornl.gov/info/news/pulse/no378/story1.shtml)* ; DOE Pulse (Revue du ministère américain de l'énergie), nº 378, 2012-12-17 ; Animation vidéo (https://www.llnl.gov/news/video/orbit.mov).
35. Académie des sciences (France), « Rapport 2010 » (http://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/rapport261010.pdf) **[PDF]** (consulté le 23 août 2015) :

> « Plusieurs indicateurs indépendants montrent une augmentation du réchauffement climatique de 1975 à 2003. Cette augmentation est principalement due à l'augmentation de la concentration du CO_2 dans l'atmosphère et, à un moindre degré, des autres gaz à effet de serre, incontestablement due à l'activité humaine. Elle constitue une menace pour le climat et, de surcroît, pour les océans en raison du processus d'acidification qu'elle provoque. »

36. **(en)** « summary for policy makers ; Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change », *IPCC*, 2013
37. **(en)** Seok-Woo Son et al., « Ozone hole and Southern Hemisphere climate change », *Geophysical Research letter*, 11 aout 2009
38. **(en)** Kevin Michael Grise, « Understanding the varied influence of the mid-latitude jet on clouds and cloud-radiative effects in observations and global climate models. », *Journal of Climate Science*, 2016
39. **(en)** Ph. Ciais, « Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003 », *nature*, septembre 2005
40. **(en)** *Climate Change 2014 : Synthesis Report* (lire en ligne (http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_Annexes.pdf)), « Annex II: Glossary », p117-130
41. {*Annexe B - Glossaire du Troisième Rapport d'Évaluation du GIEC* (http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-fr.pdf), GIEC **[PDF]**.
42. Ed Hawkins et Rowan Sutton, « The Potential to Narrow Uncertainty in Regional Climate Predictions », *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 90, nº 8, 1er août 2009, p. 1095–1107 (ISSN 0003-0007 (http://worldcat.org/issn/0003-0007&lang=fr), DOI 10.1175/2009BAMS2607.1 (https://dx.doi.org/10.1175%2F2009BAMS2607.1), lire en ligne (http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2009BAMS2607.1), consulté le 14 novembre 2016)

43. Karl E. Taylor, Ronald J. Stouffer et Gerald A. Meehl, « An Overview of CMIP5 and the Experiment Design », *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 93, 7 octobre 2011, p. 485–498 (ISSN 0003-0007 (http://worldcat.org/issn/0003-0007&lang=fr), DOI 10.1175/BAMS-D-11-00094.1 (https://dx.doi.org/10.1175%2FBAMS-D-11-00094.1), lire en ligne (http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/BAMS-D-11-00094.1), consulté le 21 septembre 2016)
44. « La modélisation numérique du climat : un outil en pleine évolution » (http://sawww.epfl.ch/SIC/SA/publications/FI98/fi-sp-98/sp-98-page103.html)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://sawww.epfl.ch/SIC/SA/publications/FI98/fi-sp-98/sp-98-page103.html) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://sawww.epfl.ch/SIC/SA/publications/FI98/fi-sp-98/sp-98-page103.html) • Archive.is (http://archive.is/http://sawww.epfl.ch/SIC/SA/publications/FI98/fi-sp-98/sp-98-page103.html) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://sawww.epfl.ch/SIC/SA/publications/FI98/fi-sp-98/sp-98-page103.html) • Que faire ?) (consulté le 26 mars 2013).
45. Aline Robert, « Des chercheurs français prévoient un réchauffement climatique plus accentué » (https://www.euractiv.fr/section/monde/news/des-chercheurs-francais-prevoient-un-rechauffement-climatique-plus-accentue/), sur *euractiv.com*, 17 septembre 2019 (consulté le 23 septembre 2019)
46. (en) Nebojsa Nakicenovic, et al., « Special report on Emission Scenarios » (http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/), Programme des Nations unies pour l'environnement (consulté le 1er août 2008).
47. (en) Bjørnæs, C., *A guide to Representative Concentration Pathways.*, CICERO. Center for International Climate and Environmental Research., 2013 (lire en ligne (https://www.sei-international.org/mediamanager/documents/A-guide-to-RCPs.pdf))
48. (en) Detlef P. van Vuuren, Jae Edmonds, Mikiko Kainuma et Keywan Riahi, « The representative concentration pathways: an overview », *Climatic Change*, vol. 109, nos 1-2, 5 août 2011, p. 5 (ISSN 0165-0009 (http://worldcat.org/issn/0165-0009&lang=fr) et 1573-1480 (http://worldcat.org/issn/1573-1480&lang=fr), DOI 10.1007/s10584-011-0148-z (https://dx.doi.org/10.1007%2Fs10584-011-0148-z), lire en ligne (https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-011-0148-z), consulté le 15 novembre 2016)
49. « Foire aux questions » (http://www.cics.uvic.ca/scenarios/index.cgi?F_Infos), Projet canadien de répercussions climatiques (consulté le 1er août 2008).
50. (en) Nebojsa Nakicenovic, et al., « IPCC Special Report on Emissions Scenarios, Chapter 4: An Overview of Scenarios / 4.2. SRES Scenario Taxonomy / Table 4- 2: Overview of SRES scenario quantifications. » (http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/091.htm#4.2.1.), Programme des Nations unies pour l'environnement (consulté le 1er août 2008).
51. (en) Nebojsa Nakicenovic, et al., « Figure 2.11: Schematic illustration of SRES scenarios (IPCC) » (http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg3/081.htm), Programme des Nations unies pour l'environnement (consulté le 1er août 2008).
52. (en) « assessment report 4, working group 1, du GIEC » (http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html) • Archive.is (http://archive.is/http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html) • Que faire ?) (consulté le 26 mars 2013).
53. « Le climatologue James E. Hansen prédit un sombre avenir à la Terre », *Le Monde* du 28 septembre 2006.
54. Le réchauffement climatique stoppé depuis 1998 ? (http://sciences.blogs.liberation.fr/home/2014/02/le-r%C3%A9chauffement-climatique-stopp%C3%A9-depuis-1998-.html), site Sciences.blogs.Libération, 4 février 2014.
55. (en) Climate change prediction: Erring on the side of least drama? (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378012001215), Global Environmental Change (Elsevier), vol.23

(fév.2013), Brysse et al.

56. (en) Climate Scientists Erring on the Side of Least Drama (http://skepticalscience.com/climate-scientists-esld.html), sur le site Skeptical Science -Getting skeptical about global warming skepticism (http://skepticalscience.com/).
57. (en) Global Carbon Budget - Media Summary Highlights (compact) (http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/14/hl-compact.htm), Global carbon project, 21 septembre 2014.
58. Émissions de CO_2 en 2014: vers un record à 37 milliards de tonnes (http://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/energie-environnement/20140922trib3fda25905/emissions-de-co2-en-2014-vers-un-record-a-37-milliards-de-tonnes.html), La Tribune, 22 septembre 2014.
59. Seulement 5 % de chances de limiter le réchauffement climatique à 2 °C (https://www.lemonde.fr/planete/article/2017/08/01/seulement-5-de-chances-de-limiter-le-rechauffement-climatique-a-2-c_5167201_3244.html), *Le Monde*, 1er août 2017.
60. Climat : l'ONU exhorte les Etats à quintupler leurs ambitions (https://www.lesechos.fr/monde/enjeux-internationaux/climat-lonu-exhorte-les-etats-a-quintupler-leurs-ambitions-1150811), *Les Échos*, 26 novembre 2019.
61. Selon le rapport L'eau à l'horizon 2025 (http://infos-eau.blogspot.com/2008/09/leau-lhorizon-2025.html) publié en août 2008 par l'association des entreprises pour l'environnement.
62. Characterising dangerous climate change (http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/ccrg/events/leeds/NArnell.pdf). Nigel Arnell. Tyndall Centre (en) for Climate Change Research. 2007.
63. « Réchauffement : Un siècle foudroyant » (Selon la dernière étude publiée dans le magazine Sciences, le réchauffement climatique devrait accroître de 50% le nombre d'impacts de foudre au cours du XXIe siècle.), *Journal de l'Environnement*, novembre 2014 (lire en ligne (http://www.meteorage.fr/content/download/1004/7107/file/2014-11%20Journal%20de%20l'Environnement%20-%20Réchauffement%20%20un%20siècle%20foudroyant.pdf))
64. INERIS, Qualité de l'air et climat : quelles synergies ? Double page (PDF) sur le thème des synergies entre polluants de l'air et climat (http://www.ineris.fr/centredoc/fiche-ong-climat-air-2014-v3-1410854073.pdf).
65. Trois documents (projet 2010 et rapports 2011 de SALUTAIR téléchargeables ici (http://www.lmd.polytechnique.fr/~menut/projet-Salutair.php) [PDF].
66. Ineris (2009) *Interactions entre pollution atmosphérique et changement climatique (http://www.ineris.fr/centredoc/Dp_air_climat.pdf)*, 23 juin 2009 ; 13 pages (PDF).
67. Bertrand Bessagnet, Jean-Marc Brignon, Anne-Christine Le Gall, Frédérik Meleux, Simone Schucht, Laurence Rouïl (2009) *Politiques combinées de gestion de la qualité de l'air et du changement climatique (partie 1): enjeux, synergies et antagonismes (http://www.ineris.fr/centredoc/Mesures_synergies-PA-CC_mai2009-2.pdf)*, Rapport d'étude /2009 nº DRC-09-103681-02123A 91 pages, INERIS, réalisé pour MEEDDAT/DGEC [PDF].
68. Programme de recherche inter-organisme pour une meilleure qualité de l'air (http://primequal.suhali.net/) (Portail Web, page d'accueil).
69. « Les calottes polaires sont-elles en train de fondre » (http://parrenin.frederic.free.fr/PRO/popularization/download/parrenin-ritz-PLS2007-v1-1-FP.pdf), Frédéric Parrenin et Catherine Ritz, 2007 (consulté le 28 décembre 2009).
70. « Oceanography: The Atlantic heat conveyor slows » (http://www.nature.com/nature/journal/v438/n7068/full/438565a.html)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.nature.com/nature/journal/v438/n7068/full/438565a.html) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.nature.com/nature/journal/v438/n7068/full/438565a.html) • Archive.is (http://archive.is/http://www.nature.com/nature/journal/v438/n7068/full/438565a.html) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.nature.com/nature/journal/v438/n7068/full/438565a.html) • Que faire ?) (consulté le 26 mars 2013).
71. (en) Richard Seager, « Climate mythology : The Gulf Stream, European climate and Abrupt Change » (http://www.ldeo.columbia.edu/res/div/ocp/gs/), Lamont-Doherty Earth Observatory, université Columbia, 7 juin 2007 (consulté le 3 août 2008).

72. (en) *The Impact of a Changing Southern Hemisphere Annular Mode on Antarctic Peninsula Summer Temperatures* (http://ams.allenpress.com/perlserv/?request=get-pdf&doi=10.1175%2FJCLI3844.1).
73. (en) Alister Doyle, « Antarctic Ice Collapse Linked to Greenhouse Gases » (http://www.commondreams.org/headlines06/1016-07.htm), Reuters, 16 octobre 2006 (consulté le 3 août 2008).
74. (en) Peter T. Doran *et al.*, « Antarctic climate cooling and terrestrial ecosystem response », *Nature*, nº 415, 31 janvier 2002, p. 517-520 (DOI 10.1038/nature710 (https://dx.doi.org/10.1038%2Fnature710), lire en ligne (http://climate.weather.com/blog/9_14644.html?cm_ven=one_deg_blog&cm_ite=one_deg_commentary&from=one_deg_commentary)).
75. Théo Mercadier, « Pourquoi le verdissement de la Terre n'est pas qu'une bonne nouvelle » (https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2019/06/21/pourquoi-le-verdissement-de-la-terre-n-est-pas-qu-une-bonne-nouvelle_5479913_4355770.html), sur *lemonde.fr*, 21 juin 2019 (consulté le 2 juillet 2019)
76. Les poumons océaniques et maritimes sont au bord de l'asphyxie (https://www.lesechos.fr/thema/COP21-sciences-climat/021178267390-les-poumons-oceaniques-et-maritimes-sont-au-bord-de-lasphyxie-1135800.php), Les Échos du 8 juillet 2015.
77. « Polar bear (Ursus maritimus) » (https://ecos.fws.gov/speciesProfile/profile/speciesProfile.action?spcode=A0IJ), Endangered Species Program, 15 mai 2008 (consulté le 1er janvier 2010).
78. (en) « 'Sleeping giant' Arctic methane deposits starting to release, scientists find » (https://www.theguardian.com/science/2020/oct/27/sleeping-giant-arctic-methane-deposits-starting-to-release-scientists-find) [« Le "géant endormi" des dépôts de méthane de l'Arctique commence à se libérer, selon les scientifiques »], sur *The Guardian*, 27 octobre 2020.
79. (rapport INERIS intitulé *Impact du changement climatique sur la stabilité des cavités souterraines* (http://www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getFile&id=4047) daté du mardi 30 mars 2010), 12 pages.
80. (en) James Hansen et al., « Target Atmospheric CO_2: Where should Humanity Aim? » (http://www.columbia.edu/~jeh1/2008/TargetCO2_20080407.pdf), Université Columbia, 7 avril 2008 : « Cité par Stéphane Foucart dans *Le Monde* du 11 avril 2008 ».
81. Anne Gouyon et Maximilien Rouer, *« Réparer la planète : la révolution dans l'économie positive : les solutions existent »* ; Lattès et Becitizen - octobre 2007).
82. « *Le plus noir des scénarios climatiques se profile* » article du Monde, 13 mars 2009 Lire l'article (https://www.lemonde.fr/planete/article/2009/03/13/le-plus-noi).
83. George Monbiot, Climat : il est temps de cesser de parler de « changement » pour décrire une catastrophe (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http%3A%2F%2Fcontreinfo.info%2Farticle.php3%3Fid_article%3D2585), traduction d'un article intitulé Time to change 'climate change' (https://www.theguardian.com/commentisfree/2009/mar/12/climate-change-copenhagen-monbiot), paru dans *The Guardian* le 12 mars.
84. Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO_2 emissions scenarios (http://www.sciencemag.org/content/349/6243/aac4722.abstract), *Science*, 3 juillet 2015.
85. http://www.inra.fr/sia2003/effet-serre-CO2.html.
86. « L'arctique : un monde en pleine évolution » (http://www2.cnrs.fr/sites/communique/fichier/dossier_de_presse_api_23janv08.pdf), CNRS / IPEV, janvier 2008 (consulté le 10 janvier 2009).
87. « Zoom sur l'Espace Presse du CNRS » (http://recherchespolaires.veille.inist.fr/spip.php?rubrique15), CNRS / inist, 2005-2008.
88. (en) L.C. Smith, G.M. MacDonald, A.A. Velichko *et al.*, « Siberian Peatlands a Net Carbon Sink and Global Methane Source Since the Early Holocene », *Science*, vol. 303, 16 janvier 2004 (lire en ligne (http://www.sscnet.ucla.edu/geog/downloads/297/158.pdf)).

89. Forêts tropicales : l'énigme persiste (http://sciences.blogs.liberation.fr/home/2014/12/for%C3%AAts-tropicales-l%C3%A9nigme-persiste.html), Sciences blog, 23 décembre 2014.

90. Travail coordonné par Paul Leadley, professeur à l'Université Paris-Sud et président du comité de pilotage du programme phare FRB « modélisation et scénarios de biodiversité ».

91. CDB, 2010, Cahier technique de la CDB « Scénarios de biodiversité : projection des changements de la biodiversité et des services écosystémiques pour le XXIe siècle ».

92. Le cahier est téléchargeable sur le site de la FRB (http://www.fondationbiodiversite.fr) (rubrique « dernières publications »).

93. « Assessment Report » (http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-ts.pdf), GIEC groupe II, 4e rapport, p. 37, 2007.

94. « Actes de l'audition publique *La biodiversité : l'autre choc* » (http://www.senat.fr/opecst/actes_biodiversite/actes_biodiversite0.html), *Les apports de la science et de la technologie au développement durable*, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 28 mars 2007 (consulté le 4 août 2008).

95. (en) Chris D. Thomas et al., « Extinction risk from climate change which populations of a species currently persist in the face of », *Nature*, vol. 427, 8 janvier 2004 (lire en ligne (http://www.mnp.nl/bibliotheek/digitaaldepot/20040108nature.pdf) [PDF]).

96. (en) G.F. Midgley, L. Hannah, D. Millar, M.C. Rutherford et L.W. Powrie, « Assessing the vulnerability of species richness to anthropogenic climate change in a biodiversity hotspot », *Global Ecology and Biogeography*, Wiley, vol. 11, nº 6, 11 décembre 2002, p. 445-451 (DOI 10.1046/j.1466-822X.2002.00307.x (https://dx.doi.org/10.1046%2Fj.1466-822X.2002.0030).

97. (en) Jay R. Malcolm, Canran Liu, Ronald P. Neilson, Lara Hansens et Lee Hannah, « Global Warming and Extinctions of Endemic Species from Biodiversity Hotspots », *Conservation Biology*, vol. 20, nº 2, 24 février 2006, p. 538-548 (DOI 10.1111/j.1523-1739.2006.00364.x (https://dx.doi.org/10.1111%2Fj.1523-1739.2006.0036).

98. (en) Arpat Ozgul, Dylan Z. Childs, Madan K. Oli, Kenneth B. Armitage, Daniel T. Blumstein, Lucretia E. Olson, Shripad Tuljapurkar & Tim Coulson ; Coupled dynamics of body mass and population growth in response to environmental change ; : Nature 466, p. 482-485, 22 juillet 2010 ; doi:10.1038/nature09210 ; reçu le 11 février 2010 ; accepté le 28 mai 2010.

99. (en) V. Ramanathan, « The greenhouse theory of climate change: a test by an inadvertent global experiment », *Science*, vol. 240, nº 4850, 15 avril 1988, p. 293-299 (résumé (http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/240/4850/293)).

00. Le blanchissement corallien perturbe la structuration des peuplements de poissons (http://www.ird.fr/content/download/4367/39485/version/2/file/fas305.pdf).

01. (en) Paul Reiter, « Dangers of disinformation » (http://www.iht.com/bin/print.php?id=4171294), 11 janvier 2007 (consulté le 4 août 2008).

02. (en) Chambre des lords, « Government Response to the Economics of Climate Change » (https://publications.parliament.uk/pa/ld200506/ldselect/ldeconaf/71/71.pdf), *Select Committee on Economic Affairs*, Gouvernement britannique, novembre 2005 (consulté le 4 août 2008).

03. (fr) « Le Passage du Nord-Ouest devient navigable » (http://www.rfi.fr/actufr/articles/093/article_56506.asp), RFI, 15 septembre 2007 (consulté le 4 août 2008).

04. Guo Y, Gasparrini A, Li S, Sera F, Vicedo-Cabrera AM, de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho M, et al. (2018) Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios: A multicountry time series modelling study. PLoS Med 15(7): e1002629. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002629 (CC-BY-SA)

05. (en) Committee on Abrupt Climate Change, National Research Council, *Abrupt Climate Change : Inevitable Surprises*, Washington, The National Academies Press, 2002, 230 p. (ISBN 0-309-07434-7 et 978-0-309-07434-6, lire en ligne (http://www.nap.edu/books/0309074347/html)), p. 244.

06. Global risk of deadly heat (https://www.nature.com/nclimate/journal/v7/n7/full/nclimate3322.html), Nature Climate Change, 19 juin 2017

07. Tristan Castel, « Vous pensez avoir chaud ? Des vagues de chaleur mortelles frapperont les 3/4 de l'humanité dès 2100 », *Daily Geek Show*, 2017 (lire en ligne (http://dailygeekshow.com/rechauffement-climatique-2100-chaleur-mortelle/), consulté le 3 juillet 2017)

08. (en) Increasing risk over time of weather-related hazards to the European population: a data-driven prognostic study (https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196(17)30082-7/fulltext#seccestitle160), The Lancet, août 2017.

09. (en) Denise Lu et Christopher Flavelle, «Rising Seas Will Erase More Cities by 2050, New Research Shows» (https://www.nytimes.com/interactive/2019/10/29/climate/coastal-cities-underwater.html), *The New York Times*, 29 octobre 2019.

10. Par exemple, une étude du conservatoire du littoral (http://www.conservatoire-du-littoral.fr/tmp/Actes%20Atelier%20Chaud%20&%20Froid.pdf).

11. (en) A.L. Perry, P.J. Low et J.R. Reynolds, « Climate Change and Distribution Shifts in Marine Fishes » (http://www.sciencemag.org.gate1.inist.fr/content/308/5730/1912.full.html), *Science*, 24 juin 2005, p. 1912-1915.

12. (en) G. Beaugrand et R.R. Kirby, « Climate, Plankton and Cod » (http://onlinelibrary.wiley.com.gate1.inist.fr/doi/10.1111/j.1365-2486.2009.02063.x/abstract), *Global Change Biology*, Wiley, avril 2010, p. 1268–1280.

13. (en) G. Beaugrand, S. Lenoir, F. Ibañez et C. Manté, « A new model to assess the probability of occurrence of a species based on presence-only data » (http://www.int-res.com/abstracts/meps/v424/p175-190/), *MEPS*, 1er mars 2011, p. 175-190.

14. (en) K. Drinkwater, « The response of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to future climate change » (http://icesjms.oxfordjournals.org/content/62/7/1327.full), *ICES Journal of Marine Science*, 2005, p. 1327-1337.

15. (en) S. Lenoir, G. Beaugrand et E. Lécuyer, « Modelled spatial distribution of marine fish and projected modifications in the North Atlantic Ocean » (http://onlinelibrary.wiley.com.gate1.inist.fr/doi/10.1111/j.1365-2486.2010.02229.x/abstract), *Global Change Biology*, Wiley, 2011, p. 115-129.

16. S.V. Kumar et P.A. Wigge, H2A.Z-containing nucleosomes mediate the thermosensory response in Arabidopsis (http://www.cell.com/abstract/S0092-8674(09)01418-4), Cell, vol. 140, p. 136-147, 2010.

17. Jean-Jacques Perrier, Une protéine thermomètre chez les plantes (http://www.pourlascience.fr/ewb_pages/a/actualite-une-proteine-thermometre-chez-les-plantes-24153.php), Pour la science, 25 octobre 2010.

18. « Climat : le GIEC redoute de voir la planète affamée par la vitesse du réchauffement » (https://www.lesechos.fr/monde/enjeux-internationaux/climat-le-giec-redoute-de-voir-la-planete-affamee-par-la-vitesse-du-rechauffement-1122948), *Les Échos*, 8 août 2019.

19. Rapport du GIEC du 8 aout 2019 (https://www.ipcc.ch/srccl-report-download-page/).

20. « Rapport spécial du GIEC sur les liens entre le changement climatique et les surfaces continentales » (https://www.ipsl.fr/Actualites/Actualites-scientifiques/Rapport-special-du-GIEC-sur-les-liens-entre-le-changement-climatique-et-les-surfaces-continentales), sur *IPSL*, 8 août 2019.

21. « La consommation de viande, principale cause du réchauffement climatique » (https://www.cnews.fr/monde/2018-08-21/la-consommation-de-viande-principale-cause-du-rechauffement-climatique-725924), sur *CNews* (consulté le 5 décembre 2019).

22. *Avis du Comité économique et social européen sur les « Rapports entre changement climatique et agriculture à l'échelon européen »* (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2009:027:0059:0065:FR:PDF) (2009/C 27/14), adopté dans la 446e session plénière des 9 et 10 juillet 2008, publié le 3 février 2009 [PDF].

23. Dossier thématique « Klimaschutz und Öko-Landbau » [« Protection du climat et agriculture

biologique »], *Ökologie und Landbau*, nº 1/2008.

24. Réponse du gouvernement fédéral à l'interpellation orale du groupe Alliance 90 / Les Verts sur le thème « Agriculture et protection du climat », document 16/5346, point 13.
25. (en) Greenpeace, *Cool farming : Climate impacts of agriculture and mitigation potential* [« Une agriculture rafraîchissante : les retombées de l'agriculture pour le climat et son potentiel d'atténuation du changement climatique »], décembre 2007.
26. (en) Paul Crutzen, « N2O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels » [« Les émissions de N2O issues de la production de biodiesel annulent les effets climatiques positifs du remplacement des combustibles fossiles »], *Atmospheric Chemestry and Physics Discussion*, nº 7, 2007, p. 11191-11205.
27. Avis du CESR européen, *op. cit.*, Paragraphe 3.30 .
28. Empa, « Rouler « climatiquement neutre » n'est pas forcément écologique » (http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/72386/---/Empa-News%20No.%2021%202008), 2008 (consulté le 3 avril 2009).
29. (en) Rosa Sánchez-Lucas, *The effect of increasing temperature on olive trees (*Olea europaea *L. subsp.* europaea*) biology : An integrated morphological, phenological and biomolecular study* (thèse de doctorat en agronomie), Université de Cordoue, 2019 (lire en ligne (http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/19160))
30. (en) Jedediah Brodie, Eric Post et William Laurance, « How to conserve the tropics as they warm », *Nature*, vol. 468, 2 décembre 2010, p. 634 (DOI 10.1038/468634c (https://dx.doi.org/10.1038%2F468634c), lire en ligne (http://www.nature.com/nature/journal/v468/n7324/full/468634c.html)).
31. (fr) « Mortalité alarmante des grandes forêts de l'ouest américain » (http://www.rfi.fr/sciencefr/articles/109/article_77757.asp), 27 janvier 2009 (consulté le 25 juillet 2010).
32. Pauline Gaudin Betsch, thèse intitulée *Les relations hydriques chez le hêtre (Fagus sylvatica L.) : résistances au transfert de l'eau, régulation de la transpiration et contribution des réserves d'eau échangeable en réponse à la sécheresse* soutenue (http://www4.versailles-grignon.inra.fr/egc/Actualites/Soutenance-these-Pauline-Gaudin-Betsch) le 9 décembre 2010.
33. de Bohan C., 2006 : « Climat : comment s'adapter au réchauffement ? », *Forêts de France (revue de la Fédération nationale des syndicats de propriétaires forestiers sylviculteurs)*, nº 491, mars 2006, p. 29-33.
34. (en) Romain Bertrand, Jonathan Lenoir, Christian Piedallu, Gabriela Riofrío-Dillon, Patrice de Ruffray, Claude Vidal, Jean-Claude Pierrat, Jean-Claude Gégout, « Changes in plant community composition lag behind climate warming in lowland forests », *Nature*, 19 octobre 2011, p. 517–52 (DOI 10.1038/nature10548 (https://dx.doi.org/10.1038%2Fnature10548), lire en ligne (http://www.nature.com/nature/journal/v479/n7374/full/nature10548.html), consulté le 26 mars 2013) (résumé : « Changement climatique : les forêts de plaine menacées » (http://www.tela-botanica.org/actu/article4812.html), sur *Tela botanica*, Service Presse INRA, janvier 2012).

    Il s'agit d'une étude conjointement menée par AgroParisTech, l'INRA et le CNRS, l'IFN et l'université danoise d'Aarhus à partir de l'observation des assemblages de plantes, observés en plaine et en montagne via 76 634 inventaires effectués sur une période de 43 ans en France, de 1965 à 2008.
35. F. Lefèvre, D. Loustau, B. Marçais, *Vers une gestion adaptative des forêts*, Pour la science, **437**, mars 2014, p. 78-81.
36. Erik Kirschbaum, *Reuter : Le changement climatique ouvre une voie maritime en Arctique*, lexpress.fr, 22/08/2009 [lire en ligne (http://www.lexpress.fr/actualites/2/le-changement-climatique-ouvre-une-voie-maritime-en-arctique_781756.html)].
37. « La ruée vers les pôles », *Courrier International*, nº 1444, 5 juillet 2018, p. 30-34.
38. (en) Le rapport Stern, par chapitres (http://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.ht

38. (fr) « Le rapport Stern, par chapitres » (http://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm) (consulté le 31 décembre 2009).

39. Le coût du réchauffement, une bombe financière pour la planète (https://www.lesechos.fr/idees-debats/sciences-prospective/021338376522-le-cout-du-rechauffement-une-bombe-financiere-pour-la-planete-1163913.php), Les Échos du 9 octobre 2015.
40. Yves Hulmann, "2016, l'année de l'essor des obligations vertes (https://www.letemps.ch/economie/2016/12/20/2016-lannee-lessor-obligations-vertes)", Le temps, 20 décembre 2016.
41. « L'augmentation du stress thermique pourrait entraîner une perte de productivité équivalant à 80 millions d'emplois », *Actualités de l'OIT*, 1er juillet 2019 (lire en ligne (http://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_712008/lang--fr/index.htm), consulté le 29 juillet 2019).
42. « Le réchauffement climatique met en péril des millions d'emplois, alerte l'OIT » (http://www.lefigaro.fr/conjoncture/le-rechauffement-climatique-met-en-peril-des-millions-d-emplois-alerte-l-oit-20190702), sur *lefigaro.fr*, 2 juillet 2019 (consulté le 29 juillet 2019).
43. *Impacts sanitaires du changement climatique : quels enjeux pour l'InVS ? Note de position*, Institut de veille sanitaire, 2010, 2 p. (lire en ligne (http://archive.wikiwix.com/cache/display2.php/note_position_changement_climatique.pdf?url=http%3A%2F%2Fwww.invs.sante.fr%2Fpublications%2F2010%2Fnote_changement_climatique%2Fnote_position_changement_climatique.pdf) [PDF]).
44. Brownstein John S., Holford Theodore R. et Fish Durland, « Effect of Climate Change on Lyme Disease Risk in North America », *EcoHealth*, vol. 2, 2005, p. 38-46.
45. *Impacts sanitaires du changement climatique en France. Quels enjeux pour l'InVS ?*, Institut de veille sanitaire, 1er janvier 2010, 80 p. (présentation en ligne (https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/climat/changement-climatique/documents/rapport-synthese/impacts-sanitaires-du-changement-climatique-en-france.-quels-enjeux-pour-l-invs), lire en ligne (https://www.santepubliquefrance.fr/content/download/186141/2318047) [PDF]).
46. E. Casalino, C. Choquet, M. Wargon,S. Curac, F. X. Duchateauet R. Hellmann, *Changement climatique: proposition d'une cartographie des risques pour la santé et la médecine d'urgence en France* (https://www.researchgate.net/profile/Eric_Revue2/publication/311748926), *Annales françaises de médecine d'urgence*, 7(1), 2017, p. 22-29.
47. (en) Valuing the Global Mortality Consequences of Climate Change Accounting for Adaptation Costs and Benefits (https://www.nber.org/papers/w27599), National Bureau of Economic Research, juillet 2020.
48. La hausse des températures plus mortelle que les maladies infectieuses (https://www.lesechos.fr/idees-debats/editos-analyses/la-hausse-des-temperatures-plus-mortelle-que-les-maladies-infectieuses-1228437), *Les Échos*, 4 août 2020.
49. (en) Rising temperatures will cause more deaths than all infectious diseases – study (https://www.theguardian.com/us-news/2020/aug/04/rising-global-temperatures-death-toll-infectious-diseases-study), *The Guardian*, 4 août 2020.
50. (en) « Power structures over gender make women more vulnerable to climate change » (https://www.climatechangenews.com/2020/03/08/power-structures-gender-make-women-vulnerable-climate-change/), sur *Climate Home News*, 8 mars 2020 (consulté le 9 mars 2020)
51. « Pourquoi le changement climatique menace-t-il les droits humains ? » (https://www.amnesty.fr/focus/pourquoi-le-changement-climatique-menace-les-droits), sur *Amnesty France* (consulté le 21 juin 2020).
52. (en) Solomon M. Hsian, Marshall Burke et Edward Miguel, « Quantifying the Influence of Climate on Human Conflict », *Science*, vol. 341, nº 6151, 13 septembre 2013 (lire en ligne (http://science.sciencemag.org/content/341/6151/1235367)).
53. « Plus le mercure grimpe, plus on devient violent » (https://www.sciencesetavenir.fr/sciences/la-violence-augmente-avec-les-temperatures_1862), sur *Sciences et Avenir*, 2 août 2013 (consulté le 22 septembre 2018).
54. (en) Peter Schwartz and Doug Randall, « Abrupt Climate Change » (http://www.ghbc.com/pensu

54. (en) Peter Schwartz and Doug Randall, « Abrupt Climate Change » (http://www.gbn.com/consulting/article_details.php?id=53), GBN, octobre 2003 (consulté le 16 février 2010).

55. (en) R. Schubert, H. J. Schellnhuber, N. Buchmann, A. Epiney, R. Grießhammer, M. Kulessa, D. Messner, S. Rahmstorf et J. Schmid, « Climate Change as a Security Risk » (http://www.wbgu.de/wbgu_jg2007_engl.pdf) [PDF], www.wbgu.de, 2007 (consulté le 10 décembre).
56. Tel est l'objet du programme Changement environnemental et scénarios de migration forcée (EACH-FOR) (http://www.each-for.eu), mené par la Commission européenne.
57. Alex de Sherbinin, Koko Warner, Charles Ehrhart, *Les victimes du changement climatique*, *Pour la science*, nº 403, mai 2011, p. 70-75.
58. Résolution des Nations unies sur le changement climatique de juin 2009 (http://www.undp-adaptation.org/undpcc/publications/details.php?id=1052&t=1314717879).
59. Badie, p. 70 à 76.
60. La lutte climatique mobilise les militaires (http://www.liberation.fr/planete/2015/10/13/la-lutte-climatique-mobilise-les-militaires_1403385), Libération, 13 octobre 2015.
61. Le réchauffement climatique n'est pas susceptible de causer des guerres (https://www.letemps.ch/monde/2016/09/21/rechauffement-climatique-nest-susceptible-causer-guerres), article du journal *Le Temps*.
62. Nature; enquête d'experts (K. J. Mach et al.) « Le climat en tant que facteur de risque pour les conflits armés » (https://www.nature.com/articles/s41586-019-1300-6), *Nature*, 2019
63. *How 11 experts spent 2 days trying to find consensus on climate and conflict ; Expert elicitation draws on diverse specialists to synthesize conflicting views and evidence* (https://www.nature.com/articles/d41586-019-01830-2) Editorial ; *Nature* 570, 12 juin, 137 (2019) ; doi: 10.1038/d41586-019-01830-2 Stanford University ; Ce travail a été financée par la Fondation Alexander von Humboldt, l'Institut pour l'environnement de Stanford Woods, et le Conseil européen de la recherche (nº 648291), le « *German Science Foundation Clusters of Excellence CliSAP and CliCCS* », l'Initiative interdisciplinaire en sciences sociales comportementales de la National Science Foundation et le programme Mistra Geopolitics de la Fondation suédoise pour la recherche stratégique en environnement.
64. Changement climatique et sécurité : le point de vue aux USA (http://www.greenetvert.fr/2013/02/12/changement-climatique-et-securite-le-point-de-vue-aux-usa/71675), sur le site Green et vert (http://www.greenetvert.fr/).
65. Communiqué de presse, lors du World Energy Outlook 2009 (http://www.iea.org/press/pressdetail.asp?PRESS_REL_ID=294), présenté à Londres le 10 novembre 2009.
66. World Energy Outlook website (http://www.worldenergyoutlook.org/).
67. (en) Sir Stern Nicolas, *Review on the economics of climate change*, Gouvernement britannique, novembre 2006 (lire en ligne (http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm)).
68. (en) Reuters, « Climate Expert Stern Says Underestimated Problem » (http://www.planetark.com/dailynewsstory.cfm?newsid=48012&newsdate=17-Apr-2008)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.planetark.com/dailynewsstory.cfm?newsid=48012&newsdate=17-Apr-2008) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.planetark.com/dailynewsstory.cfm?newsid=48012&newsdate=17-Apr-2008) • Archive.is (http://archive.is/http://www.planetark.com/dailynewsstory.cfm?newsid=48012&newsdate=17-Apr-2008) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.planetark.com/dailynewsstory.cfm?newsid=48012&newsdate=17-Apr-2008) • Que faire ?), Planetark.com, 17 avril 2008 (consulté le 12 août 2008).
69. (en) *Atelier international de travail sur les polluants à courte durée de vie et le climat de l'Arctique*, Oslo, Institut norvégien de recherche sur l'air (NILU), 5-7 novembre 2007 (lire en ligne (http://www.nilu.no)).

    Il est conclu que réduire les polluants à courte durée de vie (méthane en particulier) serait quasi immédiatement efficace sur la fonte de l'arctique.

70. Observatoire Mondial de l'action climatique non-étatique, *Rapport annuel 2018* (https://www.climate-chance.org/observatoire-de-laction/rapport2018/), Climate Chance.
    Rapport reposant sur près de 1 000 documents et rapports mondiaux de *think tanks*, ONGs et OIG, de bases de données, de littérature scientifique et de presse spécialisée.
71. (en) Ken Caldeira (Department of Global Ecology, Carnegie Institution), Kerry Emanuel (Massachusetts Institute of Technology), James Hansen (Columbia University Earth Institute), Tom Wigley (University of East Anglia et National Center for Atmospheric Research),To Those Influencing Environmental Policy But Opposed to Nuclear Power (http://dotearth.blogs.nytimes.com/2013/11/03/to-those-influencing-environmental-policy-but-opposed-to-nuclear-power/?_r=0).
72. Sans nucléaire on fait comment ? (http://www.manicore.com/documentation/articles/metro_EPR.html), Manicore.
73. GIEC, « Synthesis Report » (http://www.ipcc.ch/languages/french.htm)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.ipcc.ch/languages/french.htm) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.ipcc.ch/languages/french.htm) • Archive.is (http://archive.is/http://www.ipcc.ch/languages/french.htm) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.ipcc.ch/languages/french.htm) • Que faire ?) (consulté le 26 mars 2013).
74. « Assessment Report (4e rapport) » (http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-ts.pdf) [PDF], GIEC groupe II, 2007, p. 37.
75. « Arrêter les émissions de gaz à effet de serre ne suffira pas à stopper le changement climatique » (https://reporterre.net/Arreter-les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-ne-suffira-pas-a-stopper-le-changement-climatique), Reporterre, 12 novembre 2020.
76. Texte de la Convention (http://unfccc.int/essential_background/convention/background/items/1353.php), UNFCC.
77. Article 4.2 (b) : Article 4 de la Convention (http://unfccc.int/essential_background/convention/background/items/1362txt.php), UNFCC.
78. Les parties s'engagent seulement à prendre les mesures nécessaires pour les atteindre (Article 4.2 (a), ces engagements devant être révisés par la 1re conférence des parties (Article 4.2 (d)).
79. Le Protocole de Kyoto (http://unfccc.int/portal_francophone/essential_background/kyoto_protocol/items/3274.php), UNFCC (consulté le 6 janvier 2014).
80. État de la ratification (http://unfccc.int/portal_francophone/essential_background/kyoto_protocol/status_of_ratification/items/3346.php), UNFCC (consulté le 6 janvier 2014).
81. (en)Kyoto Protocol, Status of ratification (http://unfccc.int/files/essential_background/kyoto_protocol/application/pdf/kpstats.pdf), UNFCC [PDF].
82. « Les émissions de CO_2 ont encore augmenté de 3 % en 2007 » (http://www.greenunivers.com/2008/09/les-emissions-de-co2-ont-encore-augmente-de-3-en-2007010/), Greenunivers (consulté le 24 novembre 2008).
83. L'Australie ratifie le protocole de Kyoto (https://www.lesechos.fr/info/inter/300223180.htm), *Les Échos*.
84. Développement durable: le CESE répond au mandat donné par le Conseil européen par la création d'un Observatoire (http://www.eesc.europa.eu/?i=portal.fr.press-releases.2437), Commission européenne.
85. « Livre vert de la commission « Adaptation au changement climatique en Europe : les possibilités d'action de l'Union européenne » (http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/green_paper_fr.pdf)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/green_paper_fr.pdf) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/green_paper_fr.pdf) • Archive.is (http://archive.is/http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/green_paper_fr.pdf) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/green_paper_fr.pdf) • Que faire ?) [PDF], sur *Ministère de l'écologie* (consulté le 26 mars 2013) (EC(2007) 849)

(EC(2007) 340).
86. Source : AIEA.

87. *Le Changement climatique - S'adapter pour survivre* (http://ec.europa.eu/environment/news/efe/climate/070717_climadapttn_fr.htm), Commission européenne, 22 février 2008.
88. « Les enjeux du changement climatique. Quelle gouvernance pour le climat ? » (http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/D4E_LettreEvaluation_HS06_mai2007v2.pdf)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/D4E_LettreEvaluation_HS06_mai2007v2.pdf) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/D4E_LettreEvaluation_HS06_mai2007v2.pdf) • Archive.is (http://archive.is/http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/D4E_LettreEvaluation_HS06_mai2007v2.pdf) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/D4E_LettreEvaluation_HS06_mai2007v2.pdf) • Que faire ?) (consulté le 26 mars 2013) mai 2007.
89. http://www.vie-publique.fr/actualite/alaune/changement-climatique-plan-national-adaptation.html.
90. [5] (http://www.accaf.inra.fr/).
91. Emissions aériennes: la commission de l'environnement adopte une ligne dure (http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?language=FR&type=IM-PRESS&reference=20080526IPR29898), europa.eu, 27 mai 2008 (consulté le 5 août 2020).
92. *Limites d'émissions de CO_2 des voitures neuves*, Europa.eu, 25 mars 2008 (http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/motor_vehicles/interactions_industry_policies/l28200_fr.htm).
93. *Proposition de réglement du parlement européen et du conseil* (http://ec.europa.eu/prelex/detail_dossier_real.cfm?CL=fr&DosId=196572), ec.europa.eu.
94. Conférence des maires américains (http://www.usmayors.org), usmayors.org.
95. Climat : Washington et Pékin envoient un signal de bonne volonté (https://www.lesechos.fr/monde/asie-pacifique/0203930284328-climat-washington-et-pekin-envoient-un-signal-de-bonne-volonte-1063391.php), *Les Échos*, 12 novembre 2014.
96. « L'accord fait le pari de la confiance et de la transparence » (https://www.lesechos.fr/paris-climat-2015/actualites/021554648499-laccord-fait-le-pari-de-la-confiance-et-de-la-transparence-1184351.php), *Les Échos*, 14 décembre 2015.
97. *Accord de Paris* (http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/fre/l09r01f.pdf) [PDF], Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, article 2, p. 24/40 (consulté le 2 novembre 2016).
98. Climat : accord historique sur la fin des gaz HFC pour faire baisser l'effet de serre (https://www.lesechos.fr/monde/enjeux-internationaux/0211399244437-climat-accord-historique-sur-la-fin-des-gaz-hfc-pour-faire-baisser-leffet-de-serre-2035339.php), *Les Échos*, 16 octobre 2016.
99. Climat : accord historique pour éliminer les gaz HFC, 14 000 fois plus puissant que le CO_2 (https://www.lemonde.fr/planete/article/2016/10/15/premier-pas-vers-la-suppression-des-hydrofluorocarbones-supergaz-a-effet-de-serre_5014205_3244.html), *Le Monde*, 15 octobre 2016.
00. (en) Cecelia Smith-Schoenwalder, « What's behind the climate emergency declarations » (https://www.usnews.com/news/the-report/articles/2019-08-16/whats-behind-the-climate-emergency-declarations), *U.S. News & World Report*.
01. (en) Aidt Mik, Climate emergency declarations in 987 jurisdictions and local governments cover 212 million citizens (https://climateemergencydeclaration.org/climate-emergency-declarations-cover-15-million-citizens/), Climate Emergency Declaration, 4 septembre 2019.
02. (en) « Has Climate News Coverage Finally Turned a Corner? » (https://www.desmogblog.com/2019/11/09/has-climate-news-coverage-finally-turned-corner), sur *DeSmog* (consulté le 12 novembre 2019).
03. (en) « Act now and avert a climate crisis », *Nature*, vol. 573, 15 septembre 2019, p. 309–309 (DOI 10.1038/d41586-019-02734-x (https://dx.doi.org/10.1038%2Fd41586-019-02734-x), lire en ligne (https://www.nature.com/articles/d41586-019-02734-x), consulté le 12 novembre 2019)

04. « Les émissions de CO_2 ont encore augmenté de 3 % en 2007 » (http://www.greenunivers.com/2008/09/les-emissions-de-co2-ont-encore-augmente-de-3-en-2007010/)(Archive (http://web.archive.org/web/*/http://www.greenunivers.com/2008/09/les-emissions-de-co2-ont-encore-augmente-de-3-en-2007010/) • Wikiwix (http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.greenunivers.com/2008/09/les-emissions-de-co2-ont-encore-augmente-de-3-en-2007010/) • Archive.is (http://archive.is/http://www.greenunivers.com/2008/09/les-emissions-de-co2-ont-encore-augmente-de-3-en-2007010/) • Google (https://www.google.fr/search?q=cache:http://www.greenunivers.com/2008/09/les-emissions-de-co2-ont-encore-augmente-de-3-en-2007010/) • Que faire ?) (consulté le 26 mars 2013).
05. Charles-Elie Guzman, « Exxon accusé de crime contre la barrière de corail » (https://up-magazine.info/index.php/planete/climat/6065-exxon-accuse-de-crime-contre-la-barriere-de-corail/), sur *up-magazine.info*, 23 août 2016.
06. (en) Kyoto protocolstatus of ratification (http://unfccc.int/files/essential_background/kyoto_protocol/application/pdf/kpstats.pdf), UNFCCC, 10 juillet 2006 [PDF].
07. (en) *Greenhouse Gases Threaten Public Health and the Environment / Science overwhelmingly shows greenhouse gas concentrations at unprecedented levels due to human activity* (http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/bd4379a92ceceeac8525735900400c27/08d11a451131bca585257685005bf252!OpenDocument), EPA.
08. (en) The Game Changer: New York's Clean Energy Standard and Nuclear Energy (http://www.huffingtonpost.com/carol-browner/the-game-changer-new-york_b_11803042.html), *Huffington Post*, 31 août 2016.
09. (en) The New York Clean Energy Standard – A 360 View (http://marketintelligence.spglobal.com/our-thinking/ideas/the-new-york-clean-energy-standard-a-360-view), S&P Global Market Intelligence, 8 septembre 2016.
10. (en) "Democrats Establish a New House 'Climate Crisis' Committee", *The Atlantic*, 28 decembre 2018.
11. (en) IAEA - PRIS - Country statistics - People's republic of China - 25/03/2014 (http://www.iaea.org/pris/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=CN).
12. EurObserv'ER, Baromètre éolien 2013 (http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro-jde14_fr.asp), février 2014.
13. Observ'ER La production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde - 15e inventaire - édition 2013 - chapitre 2 - aperçu des dynamiques régionales par filière (http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/html/inventaire/charge.asp?inv=15&doc=15e-inventaire-Chap02.pdf) (consulté le 5 février 2014) [PDF].
14. (en) A Snapshot of Global PV 1992-2013 (http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/PVPS_report_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2013_-_final_3.pdf), IEA-PVPS, mars 2014.
15. (en) Solar Heat Worldwide (http://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2014.pdf), IEA, juin 2014 [PDF], p. 9.
16. Alexis Brézet, « Méchants Chinois ! », *Le Figaro*, 24 décembre 2009 (lire en ligne (http://www.lefigaro.fr/lefigaromagazine/2009/12/24/01006-20091224ARTFIG00637--mechants-chinois-.php)).
17. http://www.aujourdhuilachine.com/actualites-chine-l-avenir-de-l-electricite-en-chine-passe-par-les-ampoules-basse-consommation-13176.asp?1=1.
18. L'électrique revient au premier plan en Chine (http://www.journalauto.com/lja/article.view/13926/l-electrique-revient-au-premier-plan-en-chine/6/services), sur journalauto.com, 2 mai 2012 (consulté le 17 juin 2019).
19. (en) Decarbonizing Development: Planning Ahead for a Future with Zero Emissions (https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/21887/Decarbonizing000with0zero0emissions.pdf?sequence=1), Banque mondiale, 2015.
20. « La Chine, premier pollueur mondial devant les Etats-Unis » (http://www.latribune.fr/actualites/

economie/international/20080926trib000174928/la-chine-premier-pollueur-mondial-devant-les-etats-unis.html), *La Tribune*, 26 septembre 2008.

21. PIB en parité de pouvoir d'achat 2014 (http://databank.worldbank.org/data/download/GDP_PPP.pdf), Banque Mondiale.
22. (en) Agence internationale de l'énergie, *Key World Energy Statistics 2016* (https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf), 16 octobre 2016 [PDF], p. 15 et 51.
23. (en) Michael Casey, « China: US should take lead on climate » (http://usatoday30.usatoday.com/money/economy/2007-12-07-258935157_x.htm), *Associated Press*, 12 juillet 2007.
24. Yves Miserey, « CO_2 : les statistiques chinoises sont fausses » (http://www.lefigaro.fr/sciences/2012/06/10/01008-20120610ARTFIG00189-co2-les-statistiques-chinoises-sont-fausses.php), *Le Figaro*, 10 juin 2012.
25. (en) Somini Sengupta, « Glaciers in Retreat » (https://www.nytimes.com/2007/07/17/science/earth/17glacier.html?pagewanted=all), *The New York Times*, 17 juillet 2007.
26. (en) « Chinese object to climate draft » (http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/6610653.stm), BBC, 1er mai 2007.
27. (en) Steven Mufson, « In Battle for U.S. Carbon Caps, Eyes and Efforts Focus on China » (https://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2007/06/05/AR2007060502546_pf.html), *The Washington Post*, 6 juin 2007.
28. À quoi ressemblerait un monde « énergétiquement vertueux » ? (http://www.manicore.com/documentation/sobriete.html)
29. *Une vérité qui dérange*, film documentaire tiré de conférences d'Al Gore (site (http://www.crisec limatique.fr/)).
30. *L'Allemagne, les vacances et le CO_2*, Cécile Calla, Le Monde (https://www.lemonde.fr/) du 10 mars 2007, citant Manfred Stock (http://www.pik-potsdam.de/~stock/).
31. Faut-il souhaiter la croissance du trafic aérien ? (http://www.manicore.com/documentation/aeroport.html)
32. « Car Labelling Ademe : Comparateur des véhicules neufs (énergie, CO_2, polluants ...) » (http://carlabelling.ademe.fr/), sur *ADEME* (consulté le 11 juillet 2015)
33. http://www.iddri.org/Projets/Club-d-ingenierie-prospective-energie-et-environnement-%5BCLIP%5D.
34. http://www.iddri.org/Publications/Les-cahiers-du-CLIP/Clip21_modes%20de%20vie%20prospective%202050.pdf.
35. Emmanuelle Raynaud, Florence Depoers, Caroline Gauthier, Jean-Pascal Gond, Grégory Schneider-Maunoury, *Le développement durable au cœur de l'entreprise : pour une approche transversale du développement durable*.
36. La croissance économique « fait-elle de l'effet de serre » ? paragraphe Que peut-on espérer de la « dématérialisation de l'économie » ? (http://www.manicore.com/documentation/serre/croissance.html)
37. (en) "Chiefs of State and Cabinet members of foreign governments" (https://www.cia.gov/library/publications/world-leaders-1/AF.html), CIA.
38. Encyclique Laudato si' sur la sauvegarde de la maison commune (http://w2.vatican.va/content/francesco/fr/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si.html).
39. Laudato si', nº 9.
40. Un temps pour la Création 2016 (http://www.protestants.org/index.php?id=23&tx_ttnews%5Btt_news%5D=3619&tx_ttnews%5Byear%5D=2016&tx_ttnews%5Bmonth%5D=08&cHash=52182720c6).
41. Conseil œcuménique des Églises, Jeûne pour le climat (https://www.oikoumene.org/fr/press-centre/events/fast-for-the-climate).
42. « 90 entreprises sont responsables de 50 % du réchauffement climatique » (https://up-magazin

e.info/index.php/planete/climat/6928-90-entreprises-sont-responsables-de-50-du-rechauffement-climatique/), sur *UP' Magazine*, 12 septembre 2017 (consulté le 2 juin 2020).

43. (en) New report shows just 100 companies are source of over 70% of emissions (https://www.cdp.net/en/articles/media/new-report-shows-just-100-companies-are-source-of-over-70-of-emissions), cdp.net, le 10 juillet 2017 (consulté le 19 novembre 2019).
44. Diadji Niang (doctorant en droit), *Etude comparative de la législation de l'Economie Sociale et Solidaire dans les pays d'Europe, d'Amérique latine, du centre (Honduras), du Nord (Québec), d'Afrique (Maghreb, OHADA) et d'Asie (Inde, Japon, Corée du Sud)*, Université Cheikh-Anta-Diop, Laboratoire de Recherches sur les Transformations Economiques et sociales, octobre 2014, 45 p. (lire en ligne (http://www.lartes-ifan.org/pdf/Etude_comparative_legislations_ESS_FR.pdf) [PDF]).
45. Comment j'ai essayé de me passer de Google pour de bon (et pourquoi c'est si difficile) (https://www.lemonde.fr/pixels/article/2019/10/27/comment-j-ai-essaye-de-me-passer-de-google-pour-de-bon-et-pourquoi-c-est-si-difficile_6017066_4408996.html), *Le Monde*, 27 octobre 2019 (consulté le 19 novembre 2019).
46. Nantes. My Boo Company continue sa route et ses brosses à dents en bambou (https://www.ouest-france.fr/pays-de-la-loire/nantes-44000/nantes-my-boo-company-continue-sa-route-et-ses-brosses-a-dents-en-bambou-ece39c4b-22ef-30d2-b80b-ae4569536b83), *Ouest-France*, 31 juillet 2018 (consulté le 19 novembre 2019).
47. « Une recherche Google a un coût... énergétique », *Le Monde*, 12 janvier 2009 (lire en ligne (https://www.lemonde.fr/technologies/article/2009/01/12/une-recherche-google-a-un-cout-energetique_1140651_651865.html)).
48. Futura avec l'AFP-Relaxnews, « Google annonce un investissement record dans les énergies renouvelables » (https://www.futura-sciences.com/planete/breves/energie-renouvelable-google-annonce-investissement-record-energies-renouvelables-1205/), sur *Futura*, 20 septembre 2019 (consulté le 29 mars 2020).
49. « Urgence climatique : le premier "éco-syndicat" va faire son entrée dans les entreprises françaises » (https://www.novethic.fr/actualite/environnement/climat/isr-rse/exclu-le-premier-eco-syndicat-de-france-printemps-ecologique-veut-revolutionner-les-entreprises-148259.html?), sur *www.novethic.fr* (consulté le 29 mars 2020).
50. (en) Will Kenton, Greenwashing (https://www.investopedia.com/terms/g/greenwashing.asp), investopedia.com, 29 septembre 2019 (consulté le 19 novembre 2019).
51. Le climat et l'État islamique en tête des inquiétudes (https://www.lesechos.fr/monde/enjeux-internationaux/030480676239-le-climat-et-letat-islamique-en-tete-des-inquietudes-2106532.php), Les Échos, 7 août 2017.
52. (en) James Lawrence Powell, « The Consensus on Anthropogenic Global Warming Matters », *Bulletin of Science, Technology & Society*, vol. 36, nº 3, 24 mars 2017 (lire en ligne (http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0270467617707079))
53. (en) Survey: Scientists Agree Human-Induced Global Warming is Real (http://tigger.uic.edu/htbin/cgiwrap/bin/newsbureau/cgi-bin/index.cgi?from=Releases&to=Release&id=2389), UIC News Release, 19 janvier 2009, consulté le 14 février 2010.
54. (en) IPCC : Organization (http://www.ipcc.ch/organization/organization.htm), Intergovernmental Panel on Climate Change, 21/1/2009.
55. Stéphane Foucart, « Les climatosceptiques qui valaient des milliards », *Le Monde*, 2 janvier 2014 (lire en ligne (https://www.lemonde.fr/planete/article/2013/12/31/les-climatosceptiques-qui-valaient-des-milliards_4341572_3244.html)).
56. Voir sur *business.timesonline.co.uk* (http://business.timesonline.co.uk/tol/business/law/corporate_law/article2633838.ece).
57. Vidéo de *Climat en crise* (http://video.google.fr/videoplay?docid=2544929433471871 62&q=Climat+en+crise&total=10&start=0&num=10&so=0&type=search&plindex=0).
58. [6] (http://www.allocine.fr/film/fichefilm_gen_cfilm=126366.html).

- 4e rapport de synthèse du GIEC, en anglais : (en) « Climate Change 2007: Synthesis Report » (http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf) [PDF], Giec, 2007 (les n° de page sont ceux du format pdf)

1. p. 12.
2. p. 8.
3. p. 15.
4. p. 36.
5. p. 17.
6. p. 95.
7. p. 23.
8. p. 24.
9. p. 48.

- 4e rapport de synthèse du GIEC, en français : « Changements climatiques 2007: Rapport de synthèse » (http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_fr.pdf) [PDF], Giec, 2007 (les n° de page sont ceux du format pdf)

1. p. 49 : « L'essentiel de l'élévation de la température moyenne du globe observée depuis le milieu du XXe siècle est *très probablement* attribuable à la hausse des concentrations de GES anthropiques. »

   Le rapport précédent employait encore le mot « probablement ». Le même texte, p. 37, précise les termes utilisés pour indiquer le degré de certitude estimé, selon les experts, d'une donnée ou d'un résultat : « pratiquement certain (probabilité supérieure à 99 %) ; extrêmement probable (probabilité supérieure à 95 %) ; très probable (probabilité supérieure à 90 %) ; probable (probabilité supérieure à 66 %) ; plus probable qu'improbable (probabilité supérieure à 50 %) ; à peu près aussi probable qu'improbable (probabilité de 33 à 66 %) ; improbable (probabilité inférieure à 33 %) ; très improbable (probabilité inférieure à 10 %) ; extrêmement improbable (probabilité inférieure à 5 %) ; exceptionnellement improbable (probabilité inférieure à 1 %). » Ainsi, l'évaluation de la part des activités humaines dans le changement climatique a augmenté entre 2001 et 2007, puisque dans le rapport de 2001, ce rôle n'était qualifié que de « probable » (*likely*). Voir le troisième rapport d'évaluation du GIEC.
2. p. 3 et 5.

- Rapport rédigé par le groupe de travail no 1 du GIEC, publié en 2007 (4e rapport) (les n° de page sont ceux du format pdf)

1. Chapitre 2, lire en ligne (http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf)), p. 139 :

> « *Thus, as shown in Prentice et al. (2001), when CO_2 from fossil fuel combustion enters the atmosphere, the 13C/12C isotopic ratio in atmospheric CO_2 decreases at a predictable rate consistent with emissions of CO_2 from fossil origin. Note that changes in the 13C/12C ratio of atmospheric CO_2 are also caused by other sources and sinks, but the changing isotopic signal due to CO_2 from fossil fuel combustion can be resolved from the other components (Francey et al., 1995). These changes can easily be measured using modern isotope ratio mass spectrometry, which has the capability of measuring 13C/12C in atmospheric CO_2 to better than 1 part in 105 (Ferretti et al., 2000). Data presented in Figure*

> *CO_2 to better than 1 part in 100 (Ferretti et al., 2000). Data presented in Figure*
>
> *2.3 for the 13C/12C ratio of atmospheric CO_2 at Mauna Loa show a decreasing ratio, consistent with trends in both fossil fuel CO_2 emissions and atmospheric CO_2 mixing ratios (Andres et al.,2000; Keeling et al., 2005).* »

2. Chapitre 7, lire en ligne (http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter7.pdf)), Frequently Asked Question 7.1, p. 512 *Are the Increases in Atmospheric Carbon Dioxide and Other Greenhouse Gases During the Industrial Era Caused by Human Activities? Yes, the increases in atmospheric carbon dioxide (CO_2) and other greenhouse gases during the industrial era are caused by human activities.*
3. « Summary for Policymakers », lire en ligne (http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf)), p. 16 :

> « *Since the TAR, there is an improving understanding of projected patterns of precipitation. Increases in the amount of precipitation are very likely in high latitudes, while decreases are likely in most subtropical land regions (by as much as about 20% in the A1B scenario in 2100, see Figure SPM.7), continuing observed patterns in recent trends.* »

- Frédéric Denhez, *Atlas du réchauffement climatique*, 2007 et son supplément : La France en 2100 (voir dans la bibliographie)

1. p. 40-41.
2. p. 54-55.
3. p. 52-53.
4. p. 60-61.

- « Climat, comment éviter la surchauffe ? » (dossier), *Pour la Science*, janvier-mars 2007

1. Fabrice Chauvin et Jean-François Royer, « L'intensité des cyclones augmente-t-elle ? », p. 35-38.
2. Christian Vincent et Delphine Six, « Les glaciers de montagne sont-ils menacés ? », p. 28-29.
3. Jérôme Weiss, « Recul des banquises et réchauffement climatique », p. 26-27.
4. Paul Epstein, « Les risques de prolifération des maladies », p. 40-45.
5. Besancenot J.P, « Chaud devant, nos organismes soumis au réchauffement », p. 46-47.

-
- Cet article est partiellement ou en totalité issu de l'article intitulé « Projection climatique (https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Projection_climatique&oldid=cur) » (voir la liste des auteurs (https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Projection_climatique&oldid=cur&action=history)).

Ce document provient de « https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Réchauffement_climatique&oldid=180563750 ».

La dernière modification de cette page a été faite le 5 mars 2021 à 10:02.

Droit d'auteur : les textes sont disponibles sous licence Creative Commons attribution, partage dans les mêmes conditions ; d'autres conditions peuvent s'appliquer. Voyez les conditions d'utilisation pour plus de détails, ainsi que les crédits graphiques. En cas de réutilisation des textes de cette page, voyez comment citer les auteurs et mentionner la

crédits graphiques. En cas de réutilisation des textes de cette page, voyez comment citer les auteurs et mentionner la licence.
Wikipedia® est une marque déposée de la Wikimedia Foundation, Inc., organisation de bienfaisance régie par le paragraphe 501(c)(3) du code fiscal des États-Unis.