

L'exposition « COP 21 » a été produite dans la suite de l'exposition « Les temps changent » présentée en 2009 à Poitiers, puis en itinérance, ainsi que de l'exposition « Le climat change, et nous ? » proposée au public de septembre 2014 à juin 2015.

Elles s'inscrivent dans la volonté de l'**Espace Mendès France** de présenter aux publics des données scientifiques fiables, actualisées et les plus ouvertes possibles aux discussions, afin de permettre un débat à la hauteur des enjeux à venir. Ces productions sont étroitement liées à la volonté de la région Poitou-Charentes de promouvoir une culture scientifique de qualité, inscrite dans la mutation de nos sociétés actuelles vers une croissance plus équitable.

COP21

le climat change, et nous ?

Ces expositions ont vocation à itinérer en partenariat avec **CANOPÉ** en France, et au-delà de nos frontières pour élargir l'audience que mérite un tel sujet.

Pour permettre ces réalisations, l'Espace Mendès France s'est appuyé sur les interventions de personnalités scientifiques de renom international. Ces contributions ont permis de construire un support accessible à tous.



Nous remercions chaleureusement :

- Francis Chateauraynaud, sociologue EHESS ;
- Jean-Baptiste Comby, maître de conférence, Institut français de presse, université Panthéon-Sorbonne ;
- Amy Dahan, directrice de recherche CNRS ;
- André de Herde, professeur ordinaire au département architecture, école polytechnique Louvain la Neuve ;
- Emmanuel Garnier, membre sénior de l'Institut universitaire de France, Directeur de recherche CNRS LIENSs UMR 7266 université de la Rochelle ;
- Hervé Le Treut, membre de l'académie des sciences, professeur à l'université Paris VI, directeur de l'Institut Pierre-Simon Laplace ;
- Valérie Masson-Delmotte, directeur de recherche au laboratoire des sciences du climat et de l'environnement de Gif sur Yvette (CEA/CNRS/UVSQ/IPSL) ;
- Alain Persuy, chargé de mission, Centre national de la propriété forestière, délégation de Poitou-Charentes ;
- Daniel Peyrusaubes, maître de conférences en géographie, directeur adjoint du laboratoire RURALITES EA 2252, université de Poitiers.

L'exposition a bénéficié pour son développement

des appuis de Science Po, Campus de Poitiers, de CANOPÉ, de l'Institut Français de Malaisie, du Maroc, du Chili, de l'AUF-Bureau du Moyen-Orient, de l'Université de Okayamah-Japon, du CDS laboratoire de l'Université de Brasilia-Brésil, de l'Institut des Mondes Asie&Pacifique, du Centre International de Louisiane, du réseau International Vertech, de la communauté de Victoriaville-Québec, de la Communauté Française de Wallonie et de NEW-Namur et de l'IIRPC, association présidée par Edgar Morin Sociologue et directeur de recherche émérite au CNRS/EHESS.

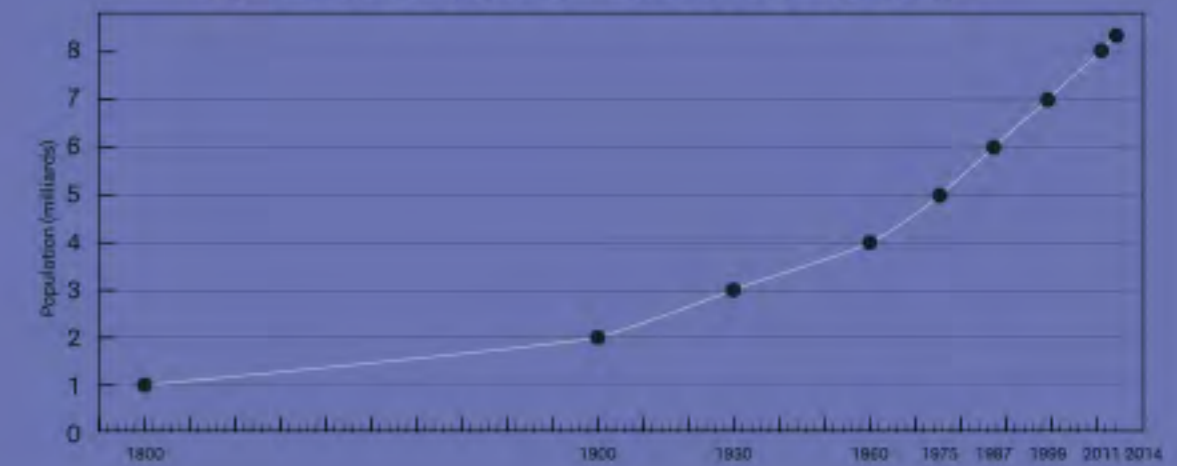
En partenariat également avec de nombreux intervenants de Météo-France, de l'Université de Poitiers, avec l'appui de l'association Wild-Touch et des équipes régionales de l'Institut National de Recherche Agricole (INRA).

Ces productions ont été rendues possibles avec l'appui financier de la **ville de Poitiers** et de **Grand Poitiers**, du **Conseil Régional Poitou-Charentes** pour la production et l'itinérance dans les lycées de la région, de l'**Université de Poitiers**.

L'Anthropocène, l'ère de la sixième extinction

Commencé à la fin de la dernière glaciation, il y a 11 700 ans, l'Holocène est officiellement la dernière époque du Quaternaire. Cependant pour Paul Crutzen, chimiste et météorologue néerlandais, prix Nobel de chimie en 1995, et pour d'autres scientifiques à sa suite, la Terre est entrée dans une nouvelle ère géologique : l'Anthropocène.

Augmentation de la population mondiale entre 1800 et 2014



Cette ère a débuté vers 1800, avec le commencement de la révolution industrielle, caractérisée par l'utilisation massive des énergies fossiles : pétrole, charbon et gaz naturel. La concentration atmosphérique en dioxyde de carbone produit par leur combustion n'a cessé d'augmenter depuis, passant de 280 ppm à 400 ppm en 2014, soit un niveau inégalé depuis 3 millions d'années.

L'homme a modifié en quelques décennies la composition de l'atmosphère. Le phénomène actuel dépasse par sa rapidité tout ce que l'on connaît des changements climatiques du passé.

Les continents de plastique
Vortex marins formés de déchets en tous genres produits par l'activité humaine. Celui du Pacifique, grand comme 6 fois la France, est surnommé le 8^{ème} continent.



La sixième extinction

Destruction et dégradation des habitats, pollution, surexploitation et introduction d'espèces envahissantes, le tout renforcé par les effets du changement climatique : la biodiversité est aujourd'hui menacée du fait des activités humaines. Le rythme de cette extinction et de ces changements est rapide à l'échelle des temps géologiques.



La liste rouge de l'IUCN
(Union internationale pour la conservation de la nature)
Espèces évaluées : 73 686
Espèces menacées d'extinction : 22 103

Les glaces, archives du climat



Les glaces polaires jouent un rôle important dans la dynamique du climat mondial. Actrices du climat, elles sont aussi les témoins de son évolution. Elles constituent les seules archives qui, sur les mêmes échantillons, donnent des informations à la fois sur les changements climatiques de la Terre et sur la composition de son atmosphère.

En forant à de grandes profondeurs la calotte glaciaire et en étudiant les glaces de plus en plus anciennes, il devient possible de reconstituer les climats du passé. L'analyse des carottes de glace extraites permet de remonter jusqu'à -130 000 ans au Groenland. Les forages les plus profonds en Antarctique ont permis d'analyser des bulles d'air prises dans les glaces depuis -800 000 ans.

Les informations contenues dans les glaces

Les glaces, riches en poussières, révèlent très précisément le détail des variations du méthane. Le sel marin transporté depuis les océans voisins, de même que le calcium venant des zones désertiques (pour le Groenland, depuis le désert de Gobi, en Chine) sont retrouvés et analysés.

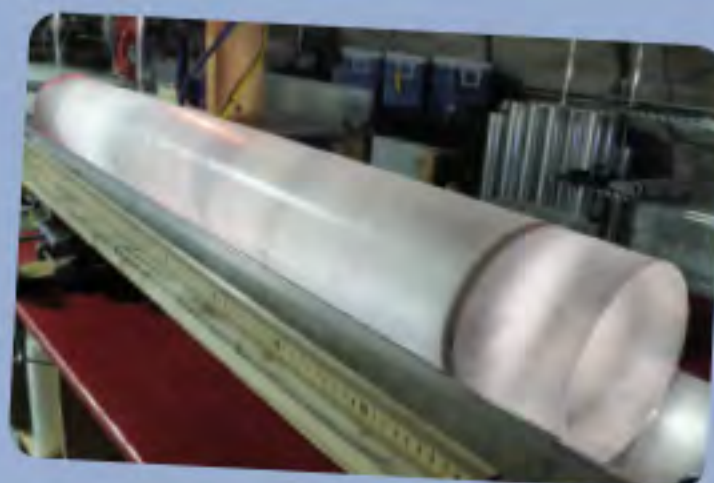
Les glaces contiennent des particules volcaniques, en provenance des volcans d'Islande ou bien des poussières, émises par le volcanisme tropical explosif et transportées tout autour du globe.

On retrouve également des composés formés par les chocs du flux de particules (vent solaire) dans la haute atmosphère, variant selon l'activité du soleil et le champ magnétique terrestre.

Connaître l'âge de la glace

En identifiant et en comptant les couches annuelles, on peut remonter sur 10 000 ans avec une incertitude de l'ordre de 100 ans, et sur 60 000 ans avec une incertitude de l'ordre de 1 000 ans.

Les traces d'éruptions volcaniques dont l'âge est connu peuvent servir de repères. Les variations de la composition atmosphérique permettent de synchroniser les forages du Groenland et de l'Antarctique.



L'étude des climats du passé

Pour connaître le fonctionnement du climat, il faut connaître son évolution. Grâce aux réseaux météorologiques, les observations du temps qu'il fait sont enregistrées depuis 1850. Avant cela, d'autres indices (écrits, peintures, fossiles...) sont utilisés pour reconstituer les climats du passé. La paléoclimatologie permet non seulement de comprendre comment le système fonctionne (glaciations, changements abrupts, variabilité) mais également de tester le réalisme des modèles de climat pour représenter les grands changements passés.

10 μ m

Pollen d'olivier (*Olea europaea*)
© PalDat, Photographe: H. Halbritter

Les différents indices pour étudier le passé

Les scientifiques disposent de nombreux indices laissés au fil du temps : les pollens, qui permettent de décrire la flore, les anneaux de croissance des arbres, les micro-organismes fossiles déposés dans les sédiments des lacs ou des océans, ou encore les glaces dont la composition et les gaz qu'elles renferment sont de précieux indicateurs de l'atmosphère des millénaires passés.

La connaissance de la position des plaques tectoniques est également utilisée puisque l'on sait que leur dérive a modifié l'emplacement des continents et donc leurs climats. L'analyse des roches sédimentaires apporte également des informations capitales pour la connaissance des climats anciens.

Taux de CO₂ et températures

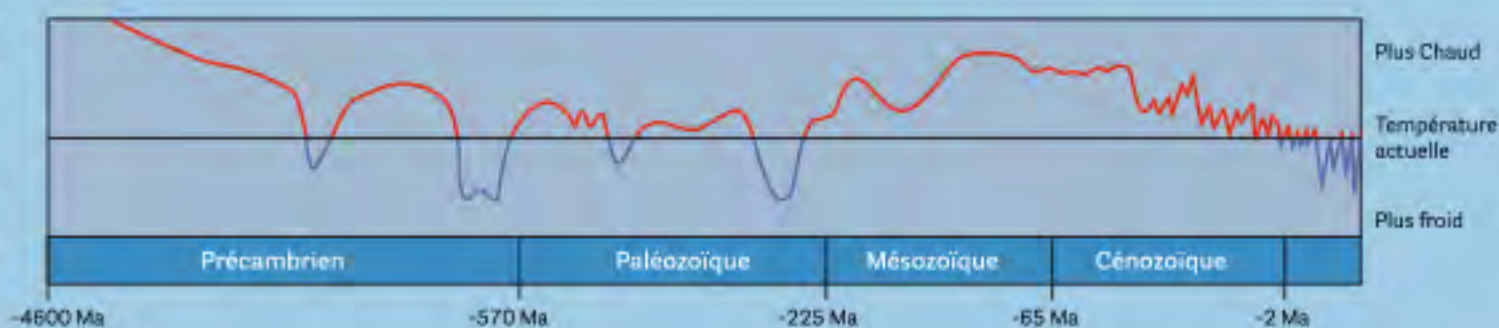
Les données géochimiques, et notamment la composition isotopique de certains fossiles, montrent qu'en 600 millions d'années, la courbe historique du CO₂ atmosphérique a toujours évolué en parallèle avec la courbe historique des températures.

Les périodes froides comme la fin du Carbonifère correspondent à des niveaux bas de CO₂ atmosphérique, les périodes chaudes comme le Crétacé correspondent à des niveaux élevés. L'étude des glaces a également permis de confirmer qu'il existe un lien entre la teneur en CO₂ des bulles d'air et l'évolution des températures au cours du temps.



La dendroclimatologie

La mesure des épaisseurs des anneaux de croissance des arbres permet, année après année, de déterminer les variations climatiques passées.



Les roches, les fossiles et d'autres éléments prouvent que les températures moyennes ont varié depuis la formation de la Terre il y a 4 600 millions d'années. Pendant la majeure partie de l'évolution géologique, il a fait plus chaud qu'aujourd'hui, mais les glaciations ont eu lieu au Précambrien et au Paléozoïque. Le Mésozoïque, ère des dinosaures, était une période chaude. Puis au cours du Cénozoïque, les températures ont chuté pour atteindre les phases les plus froides de la glaciation actuelle.

Un refroidissement historique



Entre le XIII^{ème} et le milieu du XIX^{ème} siècle, la Terre a connu une période durant laquelle la température s'est abaissée entre 0,2 et 1°C pour l'ensemble des continents de l'hémisphère Nord. Cette petite différence en apparence, a tout de même suffi pour que les glaciers avancent rapidement et que la banquise progresse vers le sud. Au cours de cette période, deux pics de plus grande intensité sont reconnus, le premier entre 1570 et 1640, le second entre 1815 et 1860.

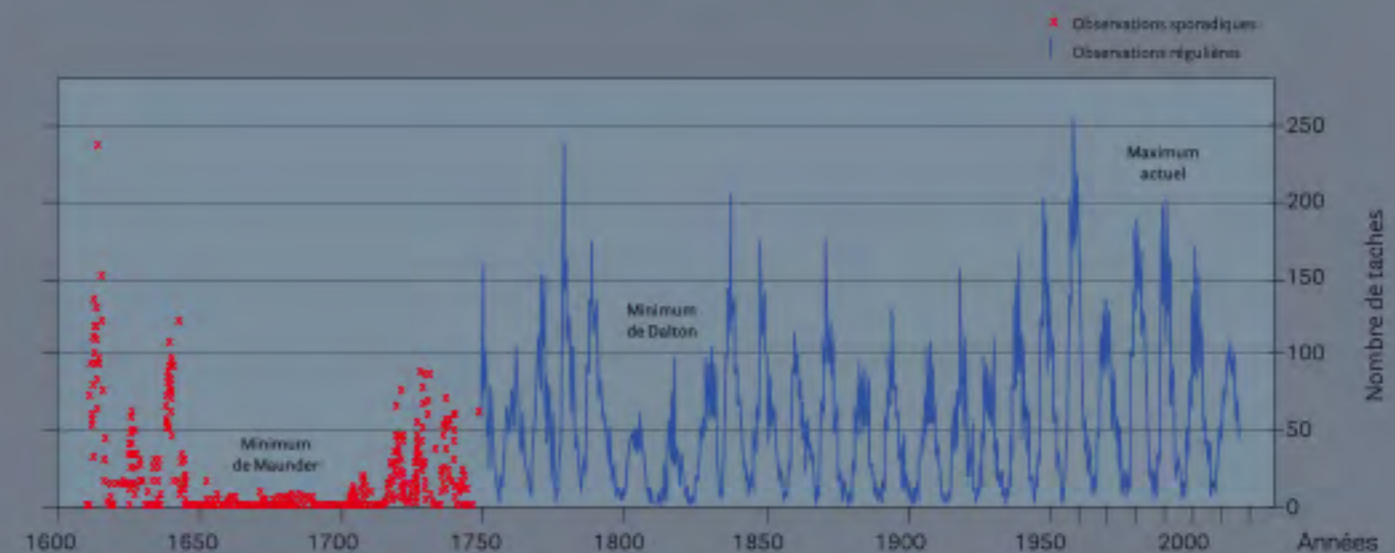
Le petit âge glaciaire en France

Les hivers sont décrits comme régulièrement très froids et neigeux. Durant l'hiver 1657-1658, la Seine est prise par les glaces durant trois semaines. Les printemps et les étés restent frais avec parfois même des gelées. 1745 est surnommée l'année des blés mouillés, 1816 l'année « sans été ».

L'hiver 1788-1789, très long et glacial, est suivi d'un printemps exceptionnellement sec. Ces phénomènes survenant après une année déjà catastrophique, les conséquences ont été fatales sur les productions agricoles. Ces conditions climatiques ont sans doute contribué largement à la Révolution française.

Malgré cela, on retrouve parfois indiqués des hivers doux sans gelées et même quelques étés avec canicule.

Hors de portée des mesures météorologiques, cet épisode est abondamment documenté par des sources historiques (dates de vendange, crues, gel sur les cours d'eaux, tableaux précis décrivant les glaciers) et par des enregistrements paléoclimatiques (coraux, sédiments de lacs, carottes de glace, cernes d'arbres...).



Evolution du nombre de taches solaires par an

Des fluctuations de l'activité du soleil ont été repérées par les astronomes sur des relevés anciens. Le minimum de Maunder correspond à un déficit du nombre de taches solaires entre 1645 et 1715. Une autre période appelée minimum de Dalton est signalée dans la première partie du XIX^{ème} siècle.

Pourquoi ?

Les hypothèses les plus vraisemblables pour expliquer ce refroidissement climatique sont liées au volcanisme et à une baisse d'activité solaire.

Une succession de fortes éruptions volcaniques aurait envoyé des quantités énormes de poussières dans l'atmosphère, réduisant ainsi le rayonnement solaire. L'intensité des éruptions volcaniques passées est estimée grâce aux dépôts de particules dans les glaces polaires.



L'éruption du Samalas sur l'île de Lombok en Indonésie en 1257 est considérée comme le point de départ du Petit Âge Glaciaire. Les traces de cette explosion colossale sont visibles dans les glaces des deux pôles. La caldeira issue de l'effondrement du volcan d'une longueur de 8 km est encore visible aujourd'hui.

La Terre : une serre naturelle



L'atmosphère de la Terre peut être comparée à une couverture qui retient en partie la chaleur rayonnée par la planète. Nous vivons ainsi sur Terre comme dans une serre. Notre atmosphère joue le rôle d'une vitre : les gaz dits à effet de serre, présents en très faible quantité dans l'atmosphère, empêchent une large part de l'énergie solaire (les rayonnements infrarouges) d'être renvoyée de la Terre vers l'espace. Ils captent et retiennent la chaleur. L'effet de serre est donc un phénomène physique naturel et il est la condition indispensable à la vie sur Terre. Sans lui, la température de notre planète serait de -18°C contre une moyenne actuelle de 15°C .

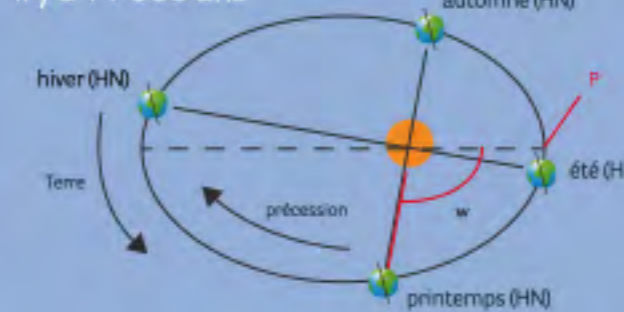
Le climat varie naturellement

Des phénomènes astronomiques expliquent l'alternance de périodes chaudes et de périodes glaciaires qui se succèdent sur de très longues durées.

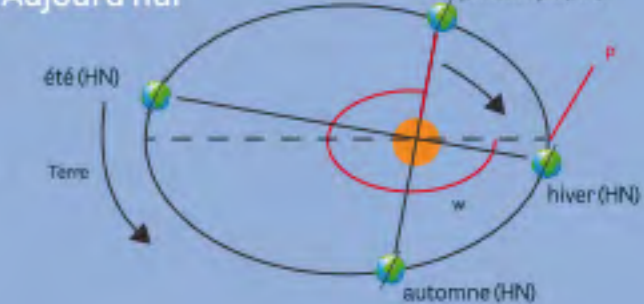
- Modification de la révolution de la Terre autour du Soleil. A certains moments de l'année, l'énergie solaire reçue par la Terre est plus importante.
- Léger changement de l'inclinaison de la Terre (tous les 40 000 ans environ). Les contrastes entre les saisons peuvent être modifiés.
- Variation régulière de la quantité d'énergie que nous envoie le soleil en fonction de ses périodes d'activité.

Des phénomènes géologiques peuvent également perturber le climat comme des éruptions volcaniques. Des volumes considérables de cendres et de poussières sont rejetés dans l'atmosphère, la quantité d'énergie solaire absorbée par la Terre est réduite.

Il y a 11 000 ans

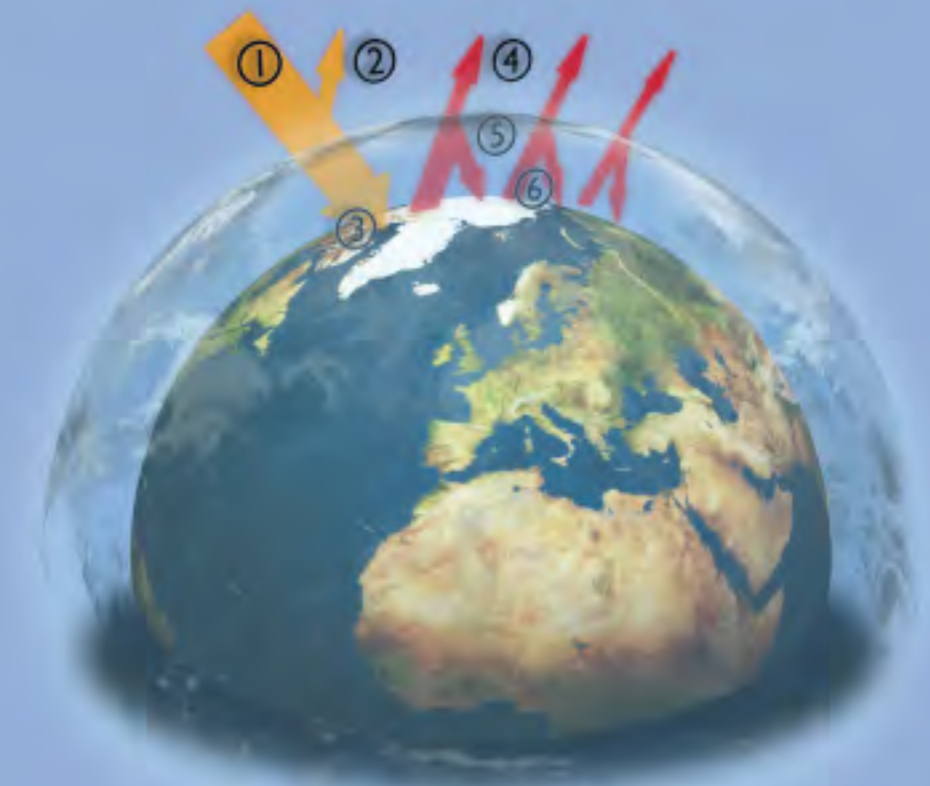


Aujourd'hui



L'effet de serre

1. Lumière venant du soleil.
2. Une partie est réfléchiée vers l'espace.
3. Le sol est chauffé par la lumière «visible» et émet du rayonnement infrarouge.
4. Une partie des infrarouges s'échappe vers l'espace.
5. L'essentiel est absorbé par des gaz à effet de serre.
L'atmosphère se réchauffe et réémet des infrarouges vers l'espace et le sol.
6. La surface se réchauffe, et émet des infrarouges..



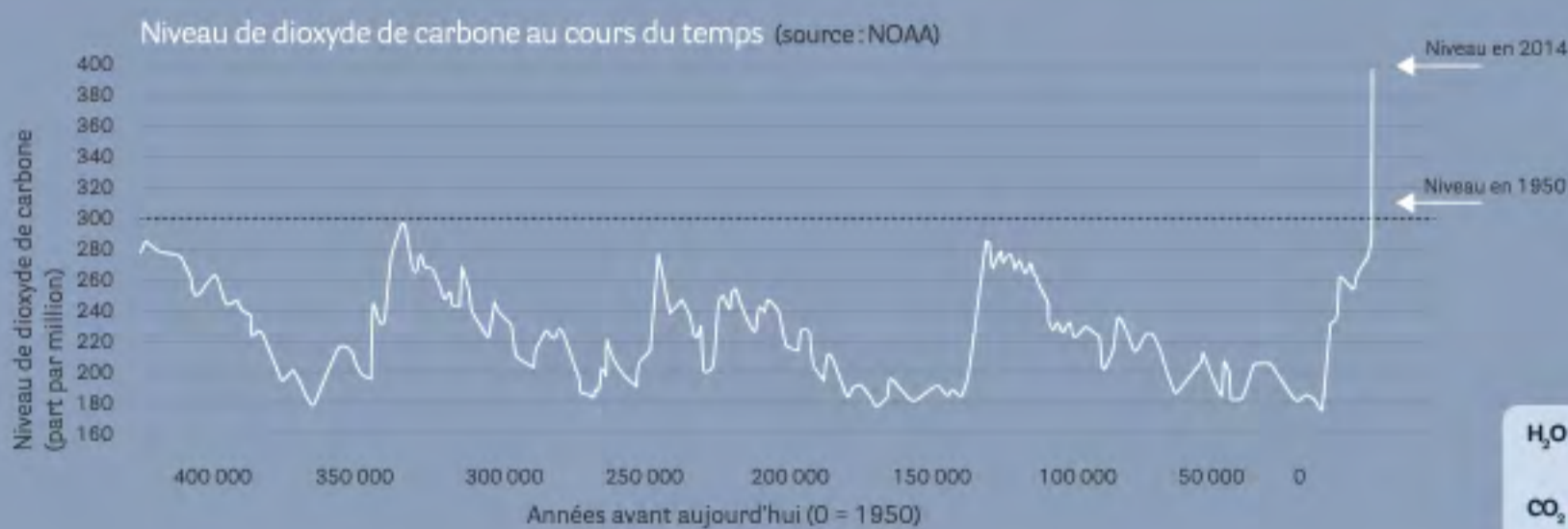
Pas de serre sans gaz

Répartition dans l'atmosphère des 4 principaux gaz à effet de serre liés à l'activité humaine.



Naturels ou artificiels, ce sont des constituants gazeux de l'atmosphère, qui absorbent et réémettent le rayonnement infrarouge terrestre, contribuant ainsi à maintenir la chaleur dans l'atmosphère terrestre.

Les principaux gaz à effet de serre (GES) sont : **H₂O** : la vapeur d'eau, **CO₂** : le dioxyde de carbone, **CH₄** : le méthane, **N₂O** : le protoxyde d'azote, **HFC, PFC, SF₆** : Les gaz fluorés



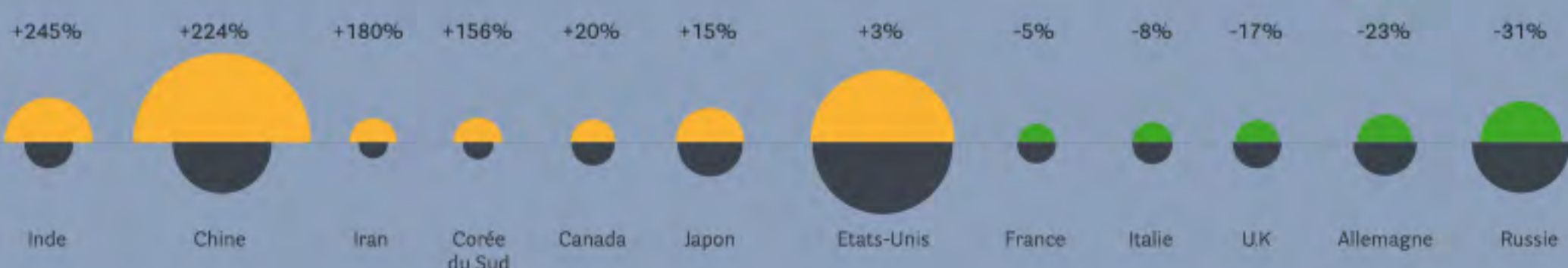
Liens entre gaz à effet de serre et climat

Par le passé, à chaque fois que le taux de CO₂ de l'atmosphère a été plus important, le climat a toujours été plus chaud, et plus froid quand le taux de CO₂ était plus faible.

Les activités humaines génèrent des GES dits anthropiques, par opposition aux GES naturellement présents dans l'atmosphère. Ces émissions de GES modifient la composition de l'atmosphère, provoquant une augmentation de l'effet de serre à l'origine du réchauffement planétaire.

- H₂O** - La vapeur d'eau présente dans l'atmosphère provoque la majeure partie de l'effet de serre naturel.
- CO₂** - Le dioxyde de carbone est un important gaz à effet de serre. Il entre dans l'atmosphère par le biais du cycle du carbone.
- CH₄** - Le méthane est issu de la décomposition de la matière organique. Il fait partie du cycle du carbone naturel. C'est un puissant gaz à effet de serre.
- N₂O** - Le protoxyde d'azote est 300 fois plus important que le CO₂ pour capter la chaleur dans l'atmosphère. Les émissions naturelles proviennent des océans et des bactéries décomposant l'azote dans les sols.
- HFC, PFC, SF₆** - Les gaz fluorés ne représentent que 2% des émissions, mais cette part modeste est contrebalancée par leur pouvoir réchauffant 1 300 à 24 000 fois supérieur à celui du CO₂, et une durée de vie très longue.

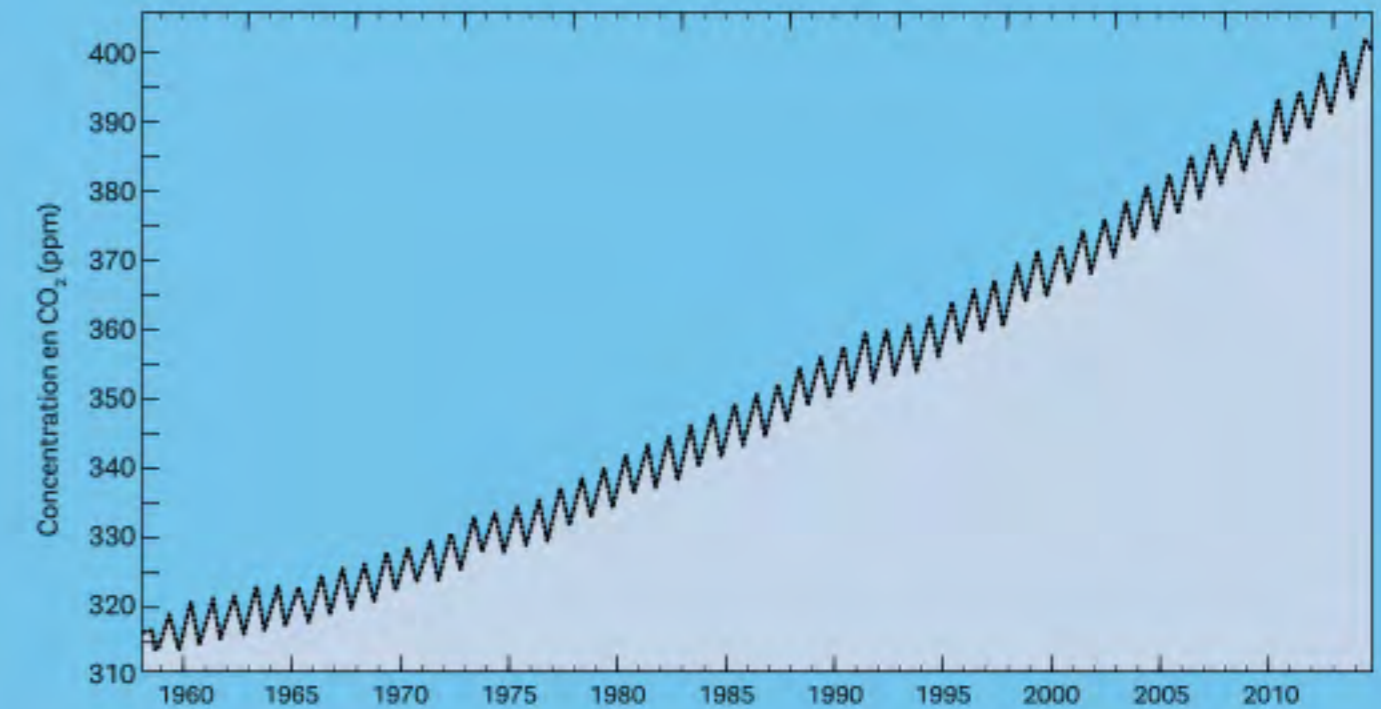
Evolution des émissions de CO₂ dues à la combustion de carburants fossiles entre 1990 et 2012 (source: Enerdata)



Pas de
vie

sans carbone

Concentration de dioxyde de carbone à l'observatoire de Mauna Loa (Hawaï)



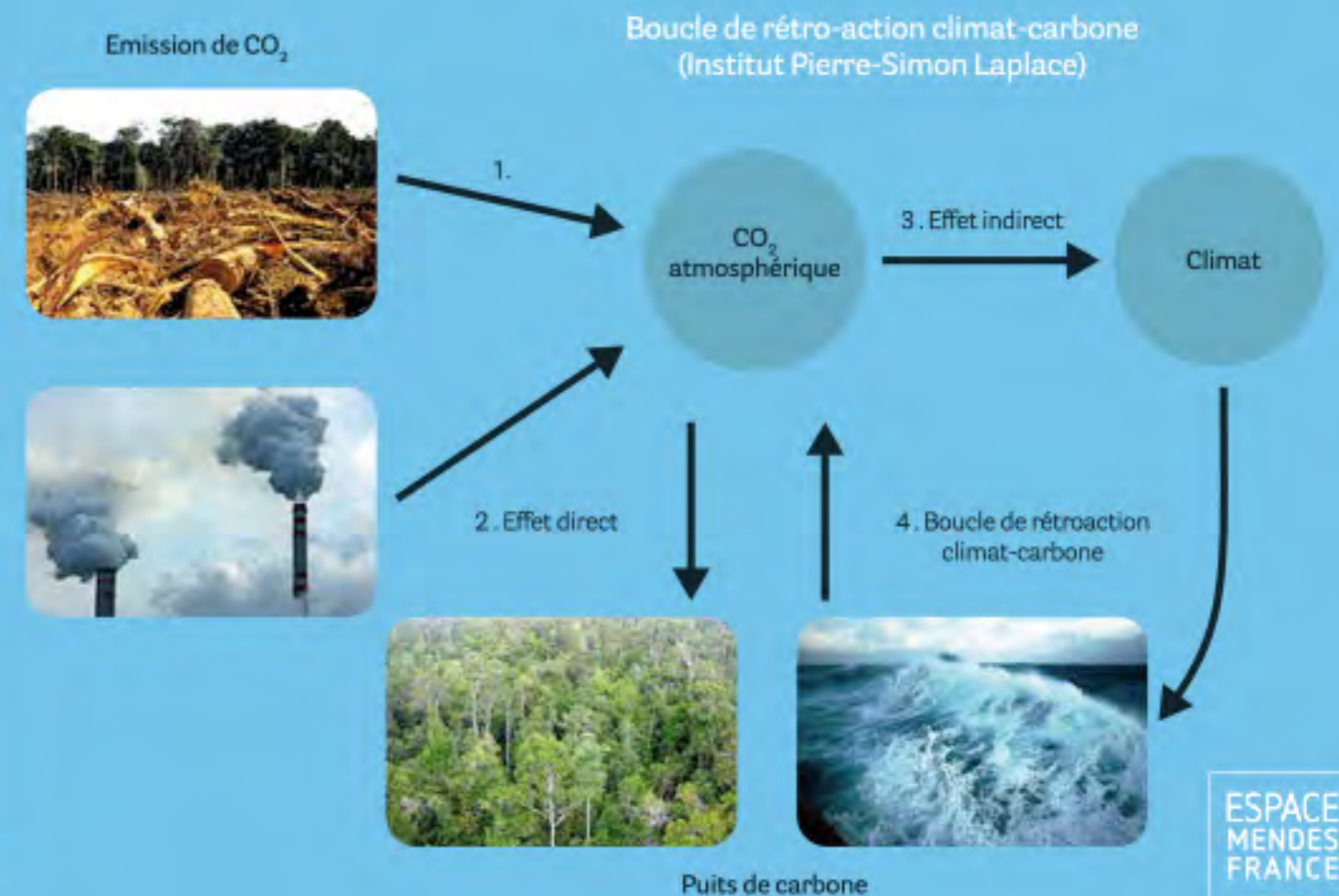
■ Un équilibre rompu

Depuis 1850, les émissions anthropiques augmentent chaque année. En 2013, elles ont atteint le taux record de 9,9 milliards de tonnes de carbone. En moyenne, la moitié est réabsorbée par les océans et les sols. Le reste rejoint l'atmosphère, augmentant la concentration de carbone dans l'air de 0,5% par an.

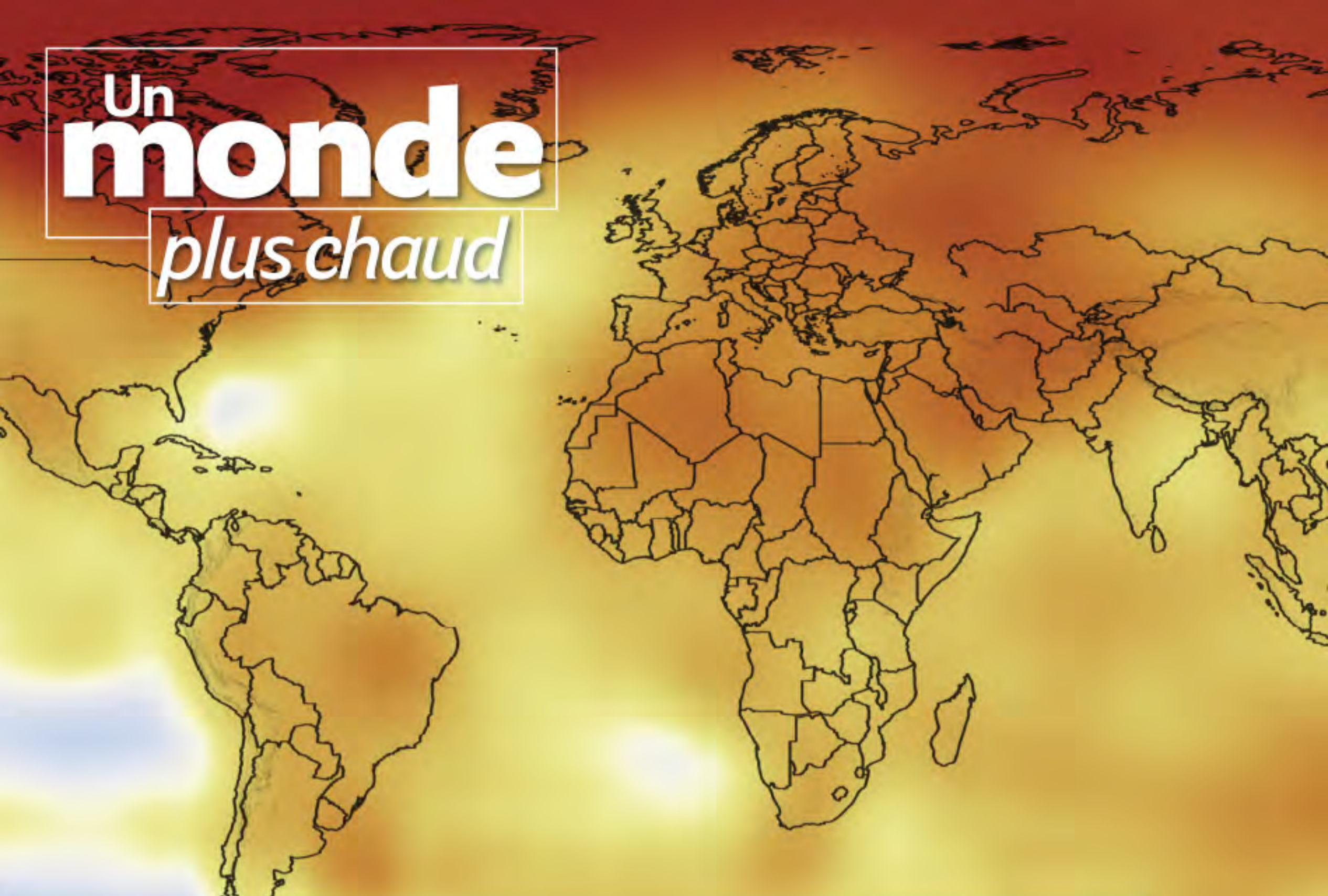
Les forêts, les océans, les sols et les sous-sols absorbent et constituent des réserves de carbone. Dans une perspective de lutte contre le changement climatique, l'amélioration d'un puits naturel de carbone pourrait s'ajouter à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Le carbone existe en grande quantité sur notre planète. Il est présent dans les roches sédimentaires. Il est dissous dans l'eau des océans. Il est contenu dans la matière organique de la biosphère et on trouve ses résidus enfouis dans les sols et dans les océans.

Certaines plantes ne se décomposent pas mais se transforment pendant des millions d'années en pétrole ou en charbon. En brûlant ces combustibles fossiles, nous émettons d'énormes quantités de carbone dans l'atmosphère sous forme de dioxyde de carbone. Ce CO₂ s'accumule dans l'atmosphère, augmentant ainsi l'effet de serre naturel.



Un monde plus chaud

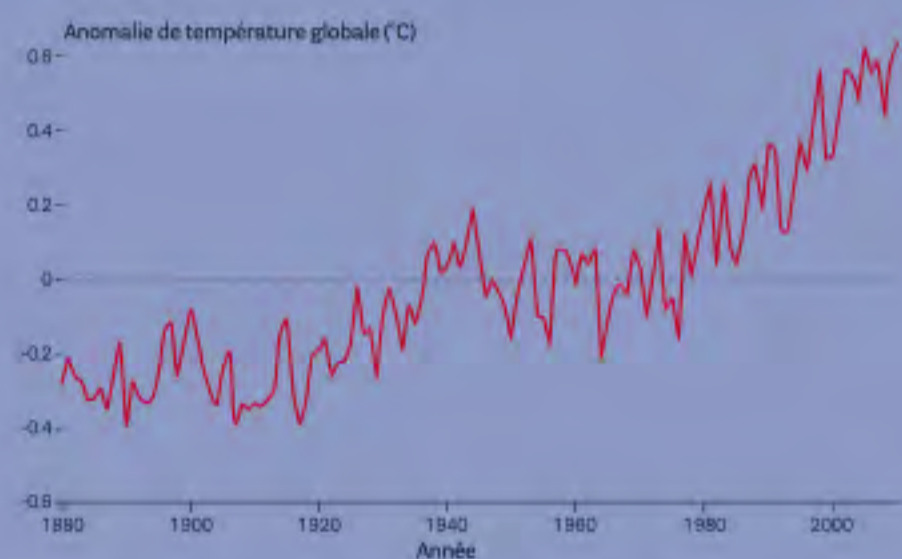


L'évolution des températures moyennes sur la surface de la planète indique clairement un changement climatique. La température moyenne mondiale a augmenté de 0,85°C entre 1880 et 2012. Chacune des trois dernières décennies a été plus chaude que la précédente et que toutes les autres décennies depuis 1850. La période 1983-2012 a probablement été la plus chaude depuis 1 400 ans. Depuis les années 1950, le nombre de journées et de nuits froides a diminué, le nombre de jours et de nuits chaudes a augmenté. La fréquence des vagues de chaleur a augmenté en Europe, en Asie ou encore en Australie.

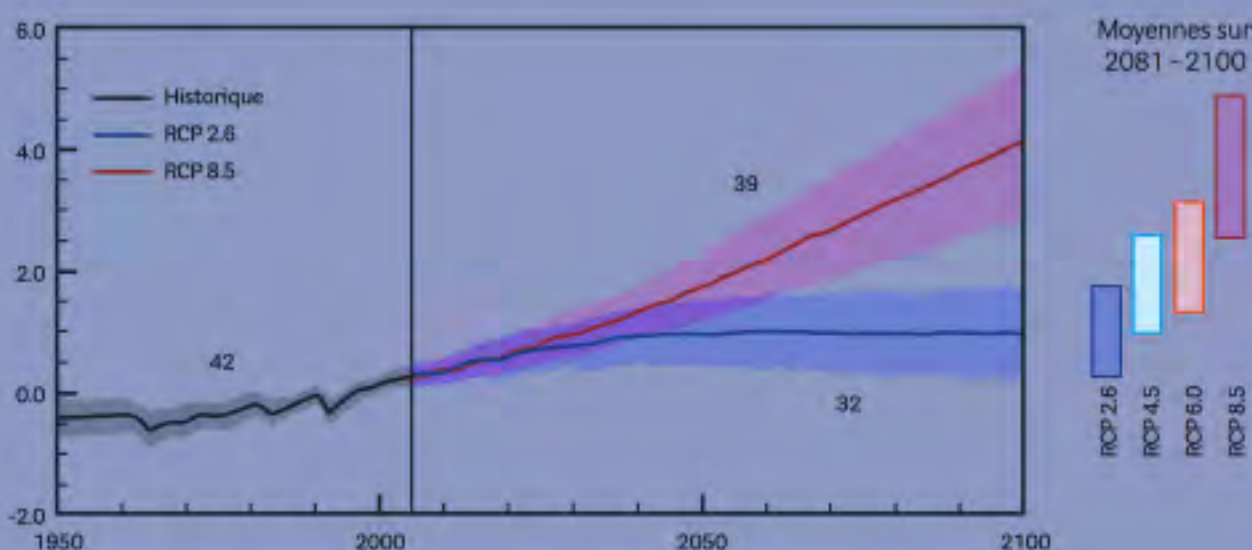
Dans le rapport du GIEC, les chiffres sont donnés par rapport aux moyennes constatées à la fin du XX^{ème} siècle (sur la période 1986-2005). Cependant entre le début de l'ère industrielle (1850) et 1986, les températures avaient déjà augmenté de 0,6 à 0,7°C. Il faut donc ajouter 0,7°C aux estimations du GIEC.

Le réchauffement des océans représente le plus grand changement dans le contenu énergétique de la Terre : les océans ont absorbé 90% de l'énergie accumulée sur Terre entre 1971 et 2010. Le réchauffement le plus marquant a lieu en surface (les 75 premiers mètres) : + 0,11°C par décennie entre 1971 et 2010, soit 0,44°C en moins de 40 ans.

Depuis 1998, la hausse des températures est moins claire, en partie parce que 1998 a été une année exceptionnellement chaude. Le réchauffement n'est pas un phénomène continu et linéaire et même si les températures augmentent moins vite que prévu, elles sont toujours en hausse, tandis que les autres indicateurs climatiques (niveau des mers, acidification des océans, fonte de la cryosphère) augmentent à toute vitesse.



Ecarts de température de surface (terres et océans) pour l'année 2010 par rapport à la moyenne réalisée sur les observations accumulées depuis 1880
© Nasa / Earth Observatory / Robert Simmon



Evolution simulée de l'anomalie de température annuelle moyenne du globe en surface de 1950 à 2100, par rapport à la période 1986-2005.

Les séries chronologiques des projections et une mesure de l'incertitude (parties ombrées) sont présentées pour les scénarios RCP2.6 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). Le noir (couleur grise) représente l'évolution historique modélisée. Les moyennes et incertitudes associées sur la période 2081-2100 sont fournies pour tous les scénarios RCP sous forme de bandes verticales de couleur. (Source : 5^e rapport du Giec, 2013).

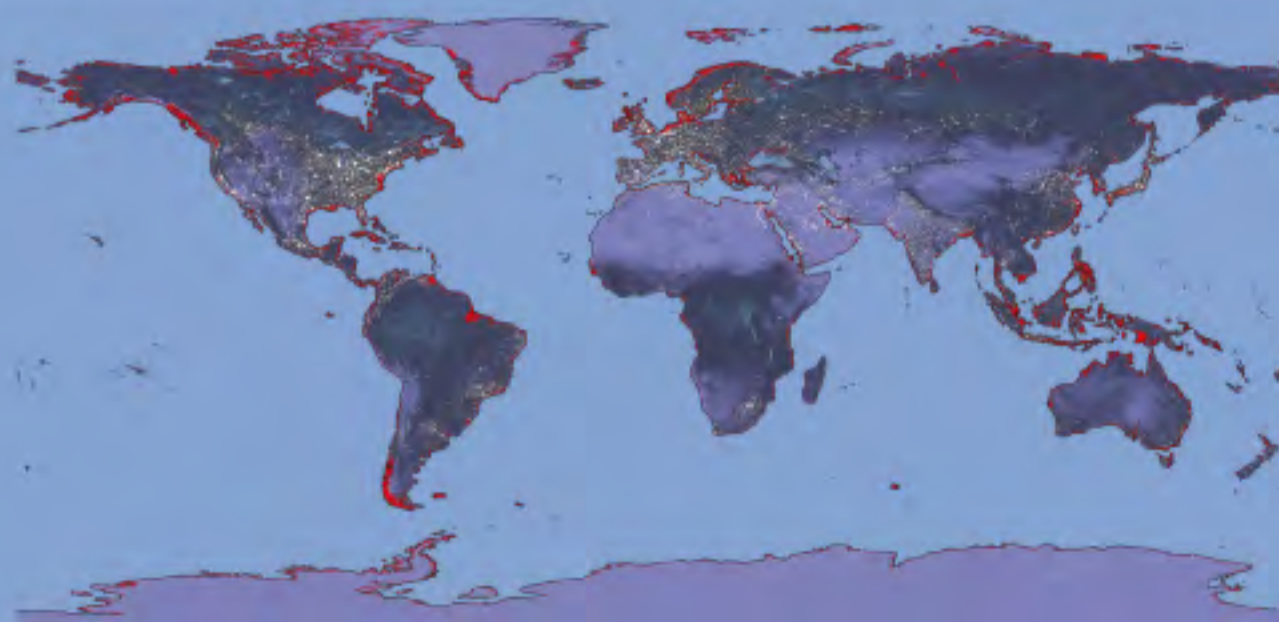
Des mers plus hautes

Les marégraphes et les données satellites montrent que la hausse du niveau des mers est un phénomène sans équivoque et qui s'accélère.

Sur la période 1901-2010, le niveau de la mer a augmenté de 19 cm en moyenne. Egalement sur cette période, la hausse moyenne était de 1,7 mm par an. Elle était de 3,2 mm par an entre 1993 et 2010. Par endroit, cette élévation est plus importante. A Tuvalu, depuis 1993 la mer s'élève de 5 mm par an.

La hausse du niveau des mers se situerait entre 29 cm (RCP 2.6) et 82 cm (RCP 8.5) d'ici la fin du XXI^{ème} siècle. De nouvelles modélisations et des observations récentes ont permis de revoir à la hausse l'impact de la fonte du Groenland et de l'Antarctique sur l'élévation des mers.

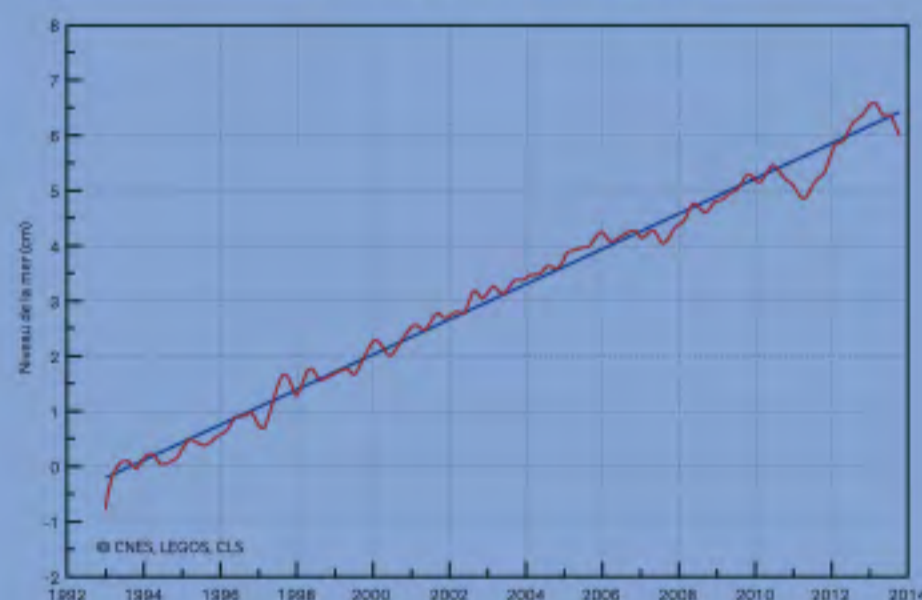
La surveillance des océans et des calottes polaires depuis l'espace, ainsi que la mise en place de réseaux in situ de mesures de paramètres climatiques, est d'importance cruciale pour mieux comprendre le système climatique et améliorer les modèles qui simulent son évolution future.



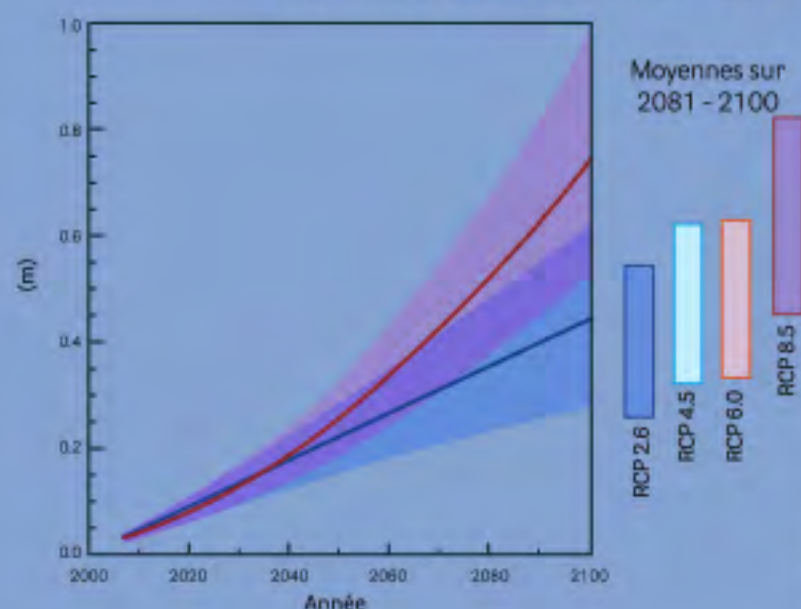
Montée du niveau des mers et océans de 1 mètre

Dans les prochaines décennies, la dilatation thermique de l'océan continuera d'être le facteur dominant. En effet, en raison de l'énorme capacité thermique de l'eau de mer, la chaleur accumulée dans l'océan au cours du temps causera une hausse inexorable du niveau de la mer.

Niveau de la mer de 1992 - 2014



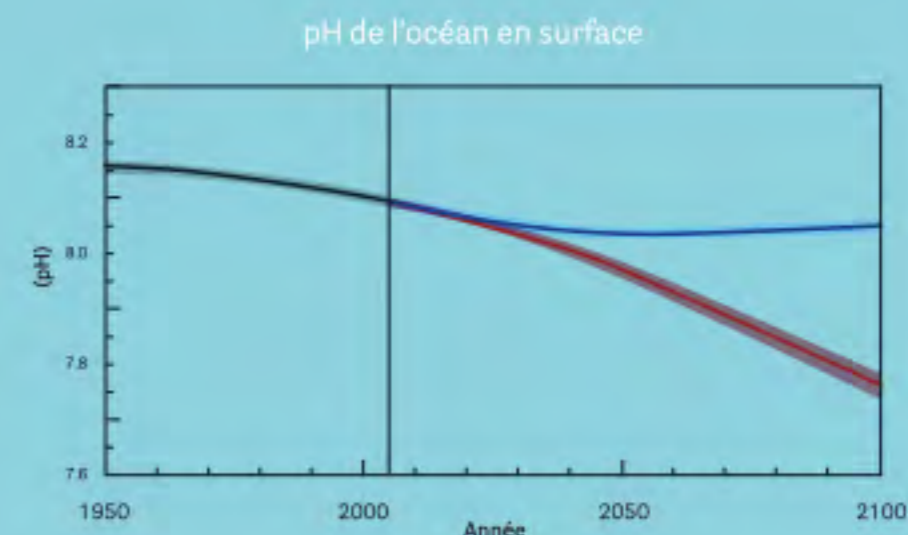
Projection de l'élévation moyenne mondiale du niveau des mers durant le 21^{ème} siècle



Des océans

plus acides

Les océans ont absorbé environ 30% des émissions anthropiques de dioxyde de carbone. Ce CO_2 se dissout dans l'eau pour former un acide, appelé acide carbonique. L'acide carbonique ainsi créé modifie l'équilibre chimique de l'eau de mer en rendant son pH moins basique. Ce processus est appelé « acidification des océans ». L'augmentation des niveaux de CO_2 dans les océans n'aboutira probablement jamais à obtenir une eau de mer acide. Mais des variations en apparence minimes sur l'échelle de pH provoquent des changements brutaux. Ainsi une diminution de 0,1 du pH représente une augmentation de 26 % de l'acidité, ce qui suffit à créer des impacts dévastateurs sur de nombreuses espèces marines.

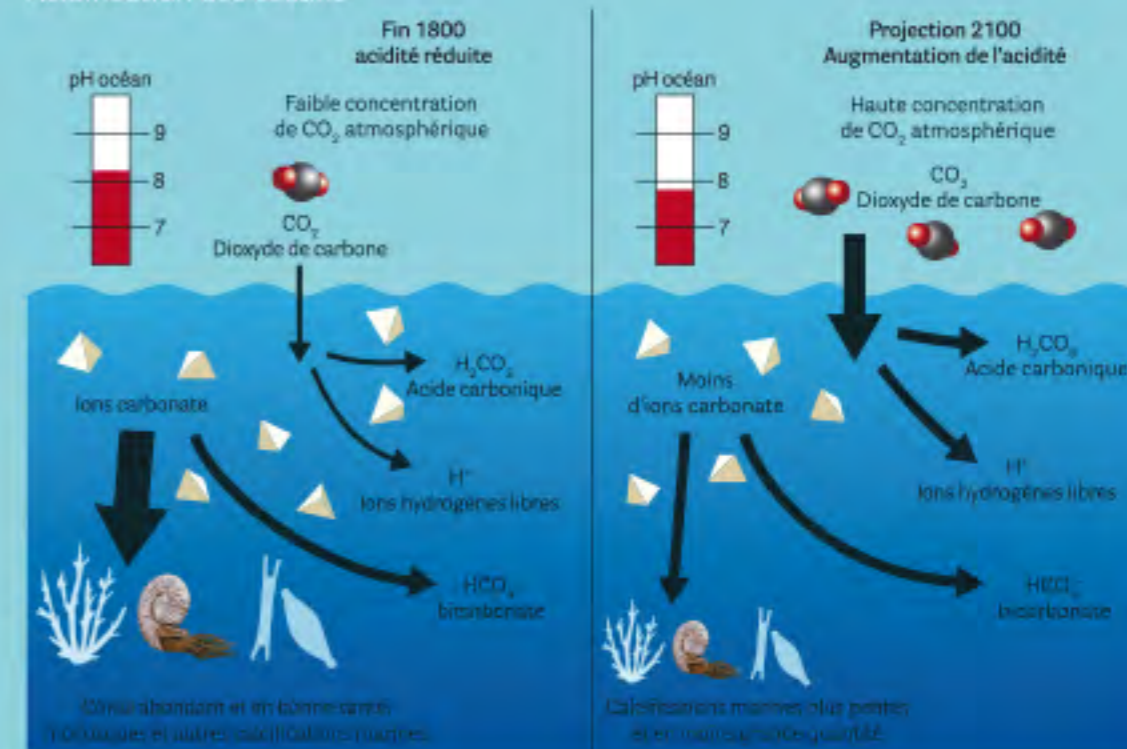


- L'acidification de l'océan est quantifiée par la diminution du pH. Ce pH a diminué de 0,1 depuis 1850, soit une augmentation de 26% de la concentration en ions hydrogène.

Le changement climatique affectera les processus liés au cycle du carbone d'une manière qui accélèrera l'accroissement du CO_2 atmosphérique. La poursuite de l'absorption du carbone par les océans augmentera leur acidification.

Les projections de modèles de système terrestre indiquent une augmentation de l'acidification des océans pour tous les scénarios RCP. Les intervalles de la baisse correspondante du pH de l'océan de surface vers la fin du XXI^{ème} siècle sont de 0,06 à 0,07 pour le scénario RCP 2.6 et de 0,30 à 0,32 pour le scénario RCP 8.5.

Acidification des océans



- Des effets irréversibles

Les recherches sur les effets de l'acidification des océans en sont à leurs débuts, on ne perçoit donc pas encore toutes ses conséquences. On sait cependant qu'un pH plus acide réduit la disponibilité des ions carbonate dans l'eau, nécessaires à la construction et à la conservation des coquillages et des squelettes. Ces micro-organismes sont à la base de la chaîne alimentaire de certaines d'espèces. Les coraux profonds sont eux aussi touchés par ce phénomène et se développent beaucoup plus lentement. Or, une espèce sur quatre dans les océans vit sur un récif corallien...

Des glaces qui fondent

La cryosphère désigne toutes les parties de la surface de la Terre où l'eau est à l'état solide (glace et neige). On y inclut les banquises, les lacs et rivières gelés, les régions recouvertes de neige, les glaciers et les sols gelés de façon temporaire ou permanente.

Sur les deux dernières décennies, la masse des calottes glaciaires a diminué, les glaciers ont continué à reculer et les étendues de la banquise arctique et du manteau neigeux de printemps de l'hémisphère nord ont diminué.

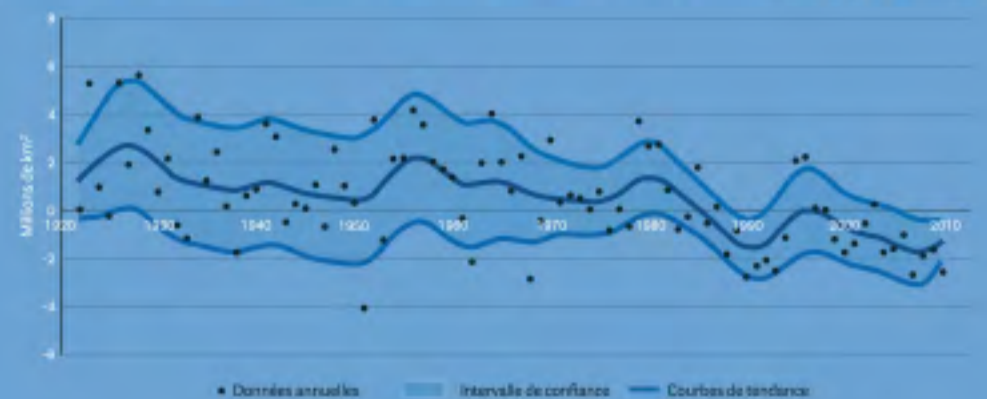


Les calottes glaciaires

Glaciers d'eau douce étendus sur la terre ferme, les deux calottes glaciaires les plus grandes sont le Groenland et l'Antarctique. Elles ont perdu en volume depuis les années 1990 et leur fonte est de plus en plus rapide.

Fonte glaciaire : évolution de la surface de la couverture neigeuse dans l'hémisphère Nord en avril par rapport à la moyenne 1971-2000

Source : Glac, 1er groupe de travail, 2013



La banquise

Couche de glace qui se forme sur l'eau, sur la mer mais aussi sur les lacs et les rivières.

Les observations montrent que l'extension de la banquise en Arctique fin septembre a diminué d'environ 11% (entre 9 et 13%) par décennie entre 1979 et 2012.

La couverture neigeuse

Ensemble de la surface de la terre couverte de neige. Les observations montrent une réduction significative dans l'hémisphère Nord depuis les années 1950, notamment au printemps, jusqu'à 11,7% au mois de juin par décennie.

Le pergélisol

Sol gelé et dont la température reste en dessous de 0°C pendant plus de deux ans consécutifs. Aujourd'hui il représente 20% de la surface de la Terre (Alaska, Canada, Sibérie et Groenland). Les températures dans les régions à pergélisol ont largement augmenté depuis trente ans. Entre les années 1980 et 2000, une hausse de 3°C a été constatée en Alaska et de 2°C au nord de la Russie.



Des régions polaires plus touchées



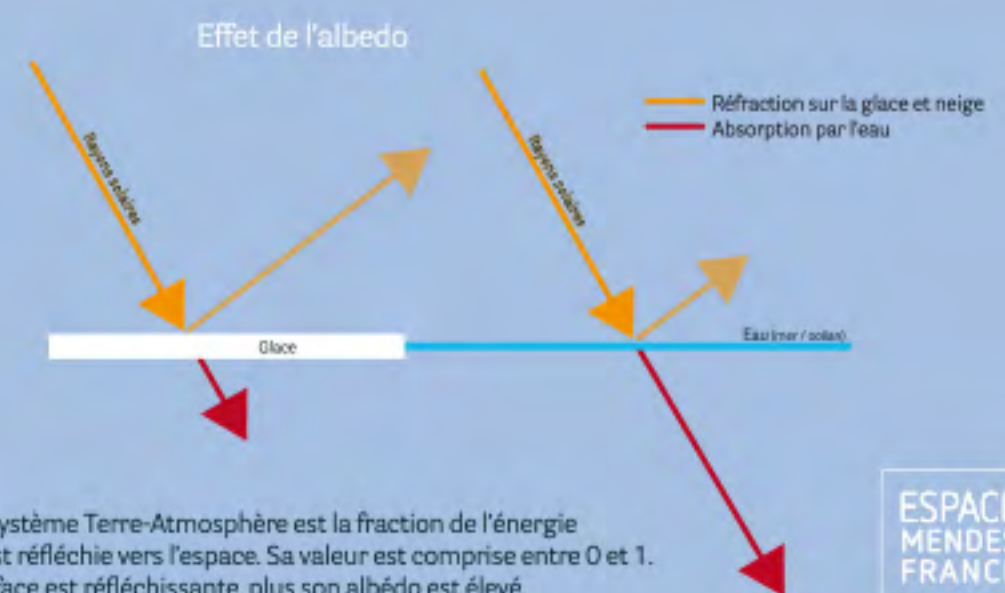
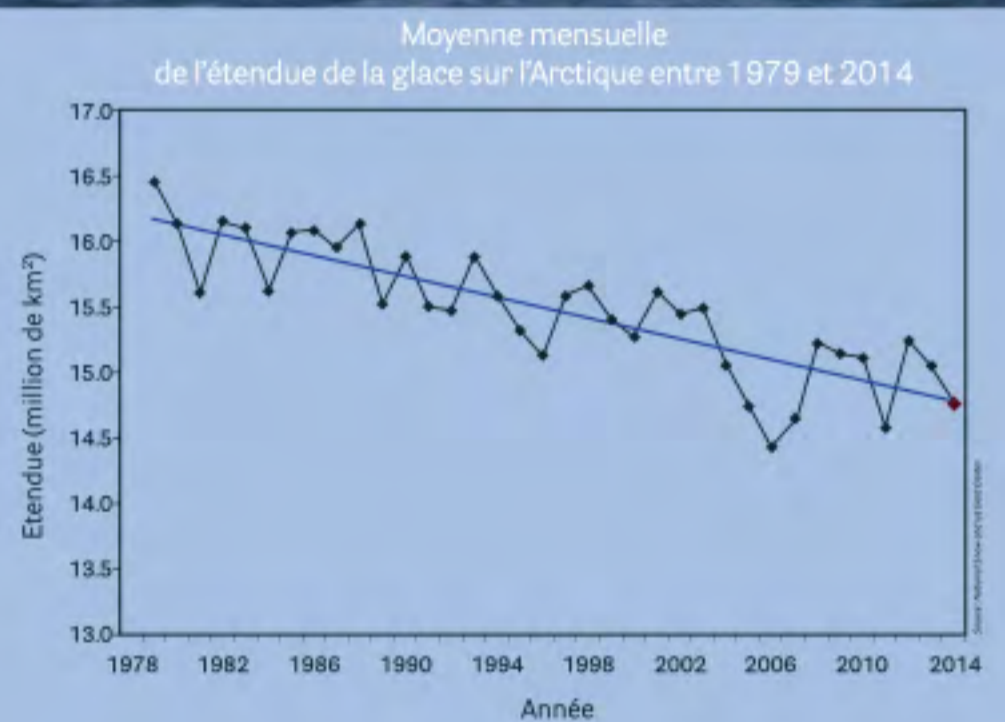
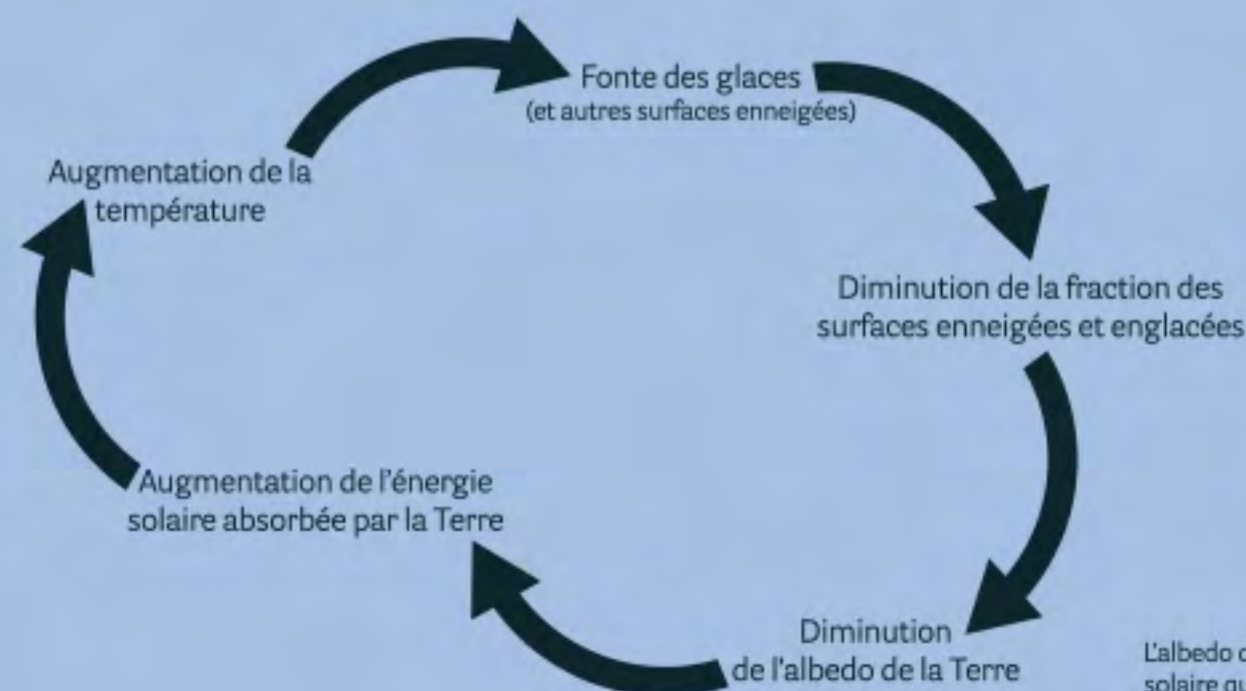
Le réchauffement climatique le plus important est observé en Antarctique et dans les régions du Grand Nord : Arctique, Alaska, territoires canadiens, Scandinavie et Russie. Ses conséquences ont des répercussions à l'échelle mondiale. Le changement climatique influencera l'accès aux ressources naturelles de l'Arctique telles que la faune – dont les baleines, les phoques, les oiseaux et le poisson vendu sur les marchés mondiaux – ainsi que le pétrole, le gaz naturel et les réserves minières.

1940

2005

Les changements se produisant dans l'Arctique peuvent influencer le climat au niveau mondial par le biais de trois mécanismes majeurs :

- La quantité d'énergie solaire renvoyée dans l'espace par réflexion diminue à mesure que la neige et la glace fondent, provoquant un réchauffement plus intense de la surface.
- La fonte des glaces de l'Arctique et l'augmentation locale des précipitations impliquent un apport d'eau douce dans les océans, qui pourrait perturber les courants océaniques dans l'Atlantique Nord.
- A mesure que le réchauffement s'intensifie, davantage de gaz à effet de serre pourraient être libérés dans l'atmosphère suite au dégel du permafrost.



L'albedo du système Terre-Atmosphère est la fraction de l'énergie solaire qui est réfléchiée vers l'espace. Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est élevé.

Sommet international climat

2099



Il y a 85 ans, le 5^{ème} rapport du GIEC alertait le monde entier sur la nécessité de mettre en place des décisions afin de réduire nos émissions de GES et ainsi limiter l'augmentation de la température de la Terre à 2°C maximum. A mesure que la température a augmenté, les événements extrêmes, comme les fortes pluies en Europe ou dans les régions tropicales, sont devenus plus intenses et se sont produits plus souvent. A l'inverse, les zones sèches ont vu une baisse de précipitation.

L'objectif n'a pas été atteint et la température moyenne de la Terre a augmenté de 5°C

Les vagues de chaleur sont devenues fréquentes.

L'an dernier à la fin de l'été, 90% de la banquise de l'Arctique avait fondu.

Presque tous les glaciers continentaux ont disparu.

Le niveau des mers a augmenté de 90 cm par rapport à celui du début du siècle.

La quasi totalité des coraux a disparu.

Les décès liés aux fortes chaleurs et aux maladies comme le paludisme sont en augmentation.

L'objectif +2°C a été atteint

Le changement climatique commencé au XX^{ème} siècle s'est poursuivi. Mais les effets ont été moins importants que prévus.

Les vagues de chaleur sont plus fréquentes qu'au XX^{ème} siècle mais restent exceptionnelles et de brève durée.

L'an dernier à la fin de l'été, 40% de la banquise de l'Arctique avait fondu.

Les mers ont augmenté en moyenne de 30 cm.

Beaucoup de récifs coralliens ont connu un blanchissement sévère.

Le paludisme est présent dans toutes les régions méditerranéennes.

Cop21

Tout peut changer



Au sommet de la Terre de Rio en 1992, l'Organisation des Nations Unies (ONU) s'est dotée d'un cadre d'action de lutte contre le réchauffement climatique : la CCNUCC, Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques. Cette convention réunit la quasi-totalité des pays du monde, désignés comme des «parties». Les représentants des parties, ainsi que des ONG et des scientifiques, se réunissent une fois par an depuis 1995 lors des « Conférences des Parties », les COP. La prochaine conférence a lieu à Paris du 30 novembre au 11 décembre 2015.



■ **L'enjeu** : aboutir, pour la première fois, à un accord universel qui devra traiter de l'atténuation – c'est-à-dire des efforts de baisse des émissions de gaz à effet de serre permettant de contenir le réchauffement global à 2°C - et de l'adaptation des sociétés aux dérèglements climatiques déjà existants.

■ Une opération diplomatique d'envergure

La France a été officiellement nommée pays hôte de la 21^{ème} conférence qu'elle présidera. Cette conférence doit aboutir après négociations à un accord international sur le climat en adoptant un ensemble de décisions :

- un accord qui s'appliquera à tous les pays,
- des contributions nationales qui représentent les efforts que chaque pays estime pouvoir réaliser pour réduire les émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2030,
- un volet financier,
- un engagement concret d'action de la part d'acteurs non gouvernementaux (« agenda des solutions »).

La France s'est engagée à aider certains pays en difficulté dans la préparation de leur contribution.



■ Fonds vert pour le climat

Les pays développés se sont engagés à mobiliser conjointement 100 milliards de dollars par an d'ici 2020 pour financer des actions d'adaptation et d'atténuation au changement climatique dans les pays en développement.

Les promesses de contribution de 32 pays s'élevaient fin 2014 à 10,2 milliards de dollars pour la première période de capitalisation (2015-2018).

Des négociations internationales



La 21^{ème} conférence des parties de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques représente une échéance cruciale puisqu'elle doit permettre d'aboutir à un accord international sur le climat. Applicable par toutes les « parties » à partir de 2020, cet accord a pour objectif de maintenir le réchauffement mondial des températures en dessous de +2°C. La conférence de Lima (COP 20, décembre 2014) et la session de Genève en février 2015 ont confirmé que tous les pays veulent aboutir à un accord universel sur le climat.

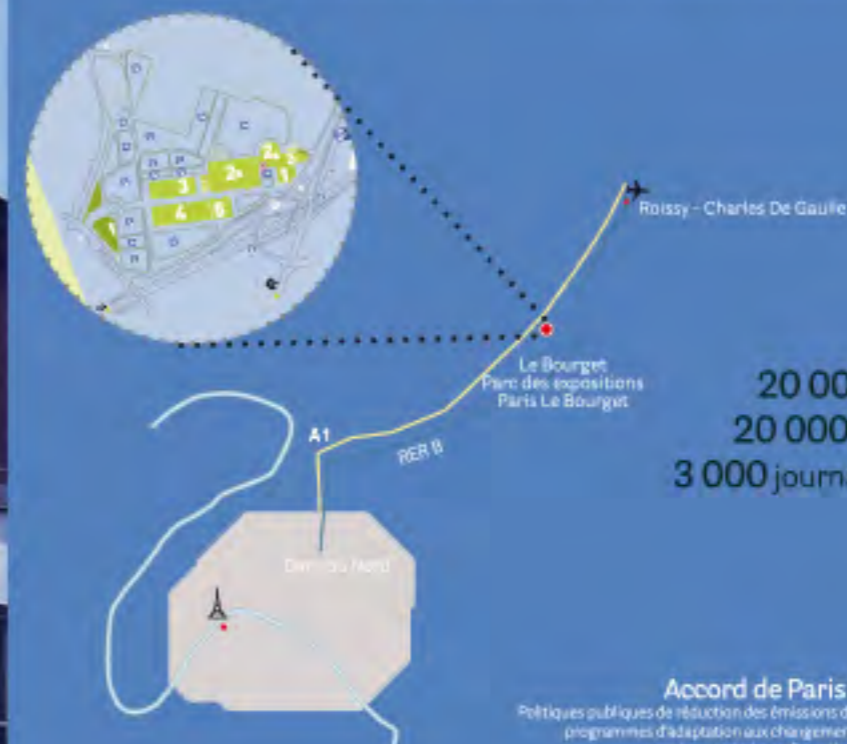
Avancées des négociations

Toutes les « parties » étaient réunies à Genève en février 2015 pour préparer un texte de négociation en vue de l'accord qui devra être adopté en décembre à Paris. Les négociateurs se retrouveront lors de trois sessions supplémentaires à Bonn en Allemagne, en juin, en septembre et en octobre.



Le texte validé en Suisse aborde :

- les objectifs généraux de l'accord,
- les questions d'atténuation,
- l'adaptation aux impacts des changements climatiques et les pertes et dommages,
- le financement,
- les technologies,
- le renforcement des capacités de lutte des pays les plus vulnérables,
- la transparence des actions menées et des soutiens apportés,
- les questions de calendrier liées aux engagements et à la vérification de l'application des mesures adoptées,
- la mise en œuvre et le contrôle du respect de l'accord.



La COP 21 en quelques chiffres

80 000 m² de surfaces déjà existantes
 80 000 m² de surfaces à construire
 Plus de 40 000 personnes attendues :
 20 000 accréditées par l'ONU dans la « zone bleue »
 20 000 accueillies dans le « village de la société civile »
 3 000 journalistes du monde entier couvriront l'événement.



cop21 makeitwork.com

Neuf mois avant la conférence de Paris, les étudiants de Sciences Po, campus de Poitiers, ont imaginé comment réussir ces négociations décisives pour la planète dans le cadre du projet «Paris Climat 2015 : Make It Work»



le GIEC,

c'est quoi, c'est qui?

ipcc

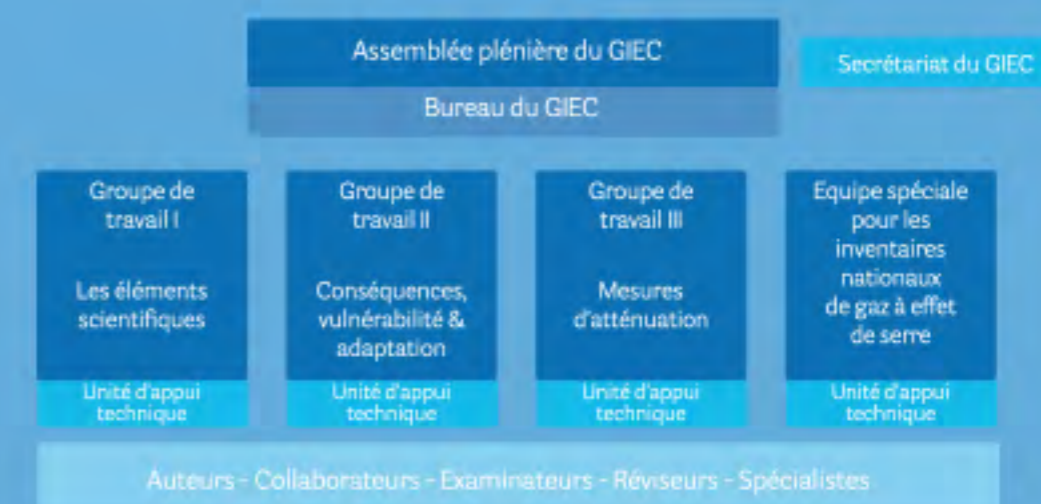
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON
climate change



Trois groupes de travail

Les missions du GIEC sont de fournir la meilleure évaluation de l'état des connaissances sur la base de la littérature scientifique dans trois grands domaines :

- les sciences du climat : processus, mécanismes, observations
- les conséquences et les possibilités d'adaptation
- les réductions ou atténuations des émissions de GES



Chaque année, un grand nombre d'articles scientifiques sont publiés sur le changement climatique. Pour un décideur politique, comment savoir ce qui est important ? Et ce qui est de bonne qualité ? Le GIEC, groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat a été fondé par les Nations Unies en 1988, pour faire le tri dans toutes ces informations, pour faire l'évaluation de l'état des connaissances, et pour fournir des informations solides sur lesquelles baser les décisions.

Des rapports pour alerter



Un rapport du GIEC se doit de faire l'état des lieux des connaissances à partir des travaux de recherche qui sont déjà publiés et de faire une évaluation critique de cette littérature scientifique. La qualité de ce rapport vient du fait qu'il s'agit d'un travail de groupe, une rédaction pour chaque chapitre par les auteurs nommés, des auteurs contributeurs supplémentaires. Ensuite ce rapport passe par le filtre de plusieurs étapes de relectures critiques.

Validation

Alors qu'un article donné est relu par 2 ou 3 scientifiques, le rapport du GIEC est relu par un nombre beaucoup plus grand de relecteurs de la communauté scientifique et typiquement pour un chapitre donné comme celui sur les climats passés, plus de 2 000 commentaires critiques ont été pris en compte et ont permis d'améliorer finalement à la fois la forme et le fond de l'état des connaissances qui est synthétisé dans ce rapport.

Calendrier du 5^{ème} rapport

Septembre 2013 - Volume 1
Changement climatique : Les éléments scientifiques

Mars 2014 - Volume 2
Changement climatique : Impacts, adaptation et vulnérabilité

Avril 2014 - Volume 3
Atténuation des changements climatiques

Octobre 2014
Rapport de synthèse

Les conclusions du GIEC au fil du temps

Le GIEC est devenu de plus en plus convaincu de la force du lien entre les émissions de GES et le réchauffement. Très probable (90% de chances) en 2007, ce lien est aujourd'hui estimé comme extrêmement probable (95%).

1^{er} rapport d'évaluation 1990

2^{ème} rapport « Changements climatiques 1995 »

3^{ème} rapport « Bilan 2001 des changements climatiques »

4^{ème} rapport « Changements climatiques 2007 »

5^{ème} rapport « Changements climatiques 2014 »



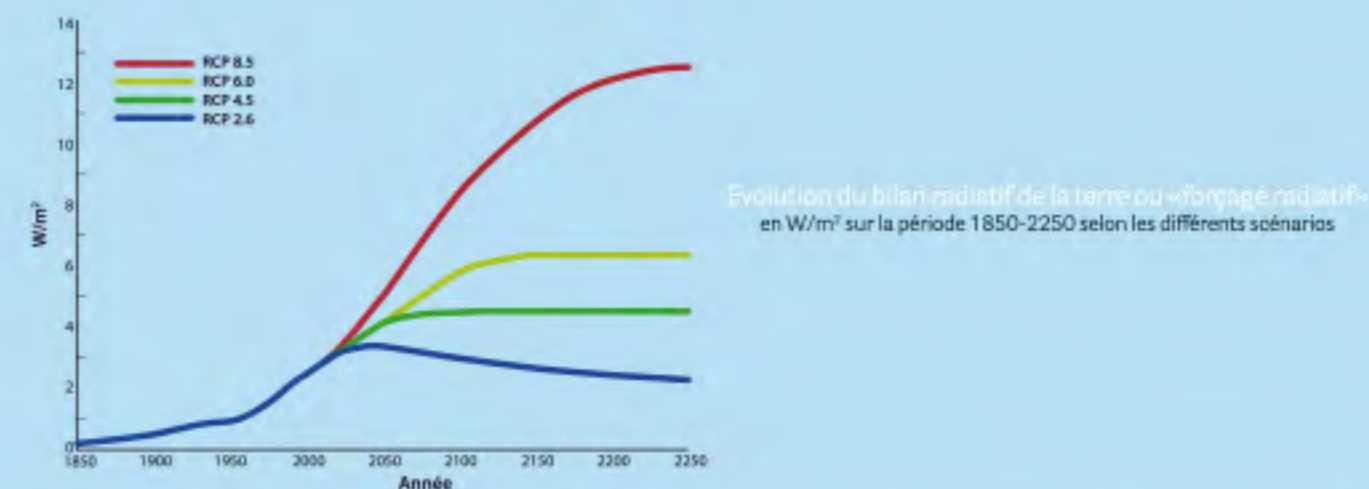
Quatre scénarios pour l'avenir



Il existe quatre scénarios dans ce rapport : RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 et RCP8.5

Le scénario RCP 2.6 est une nouveauté. Sa réalisation implique l'intégration des effets de politique de réduction des émissions susceptibles de limiter le réchauffement à 2°C.

Le RCP 8.5 est le plus pessimiste, mais c'est un scénario probable car il correspond à la prolongation des émissions actuelles.



Les nouveaux scénarios fixent a priori différents niveaux de déséquilibre énergétique et leur niveau de concentration en gaz à effet de serre compatible. A partir de ces concentrations, des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre sont déterminés, ce qui permet de calculer des scénarios socio-économiques compatibles.

4 trajectoires d'émissions et de concentrations de GES, d'ozone et d'aérosols ainsi que d'occupations des sols, intitulés RCP (representative concentration pathways ou profils représentatifs d'évolution de concentration). Ces RCP sont utilisés par tous les experts (climatologues, économistes, agronomes, hydrologues...) qui travaillent en parallèle.

Le 5^{ème} rapport du GIEC présente plusieurs nouveautés en termes de méthodologie ou d'attribution des responsabilités des phénomènes climatiques. Il réaffirme aussi que l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre pourrait entraîner des changements majeurs au niveau des températures, du niveau des mers, ou de la fonte des glaces.



Ce qui nous attend au XXI^{ème} siècle

Une étude a été réalisée à l'aide d'évolutions temporelles d'anomalies de précipitations et de températures en moyennes estivales et hivernales simulées par 2 modèles climatiques régionaux mis en oeuvre à l'IPSL (Institut Pierre Simon Laplace) et à Météo France avec la collaboration de l'INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques). La régionalisation des simulations climatiques globales a été faite de façon à passer de manière continue de la résolution la plus basse utilisée pour les simulations globales des rapports du GIEC (résolution de l'ordre de 200 km) à la résolution de 12 km des deux simulations.

■ A l'horizon 2021-2050

Hausse des températures en France comprise entre 0,6 et 1,3°C toutes saisons confondues, par rapport à la moyenne de référence calculée sur la période 1976-2005, selon les scénarios et les modèles.

Nombre de jours de vague de chaleur en été compris entre 0 et 5 jours. Une vague de chaleur correspond à une période de plus de 5 jours où la température est supérieure de 5°C à la valeur climatologique de référence.

Nombre de jours anormalement froids en hiver en diminution, entre 1 et 4 jours en moyenne. Précipitations moyennes en légère hausse en été comme en hiver, comprise entre 0 et 0,42 mm/jour sur la France, avec une forte incertitude sur la distribution géographique de ce changement. Les deux modèles climatiques régionaux WRF et Aladin-Climat simulent de faibles changements des pourcentages de précipitations extrêmes.

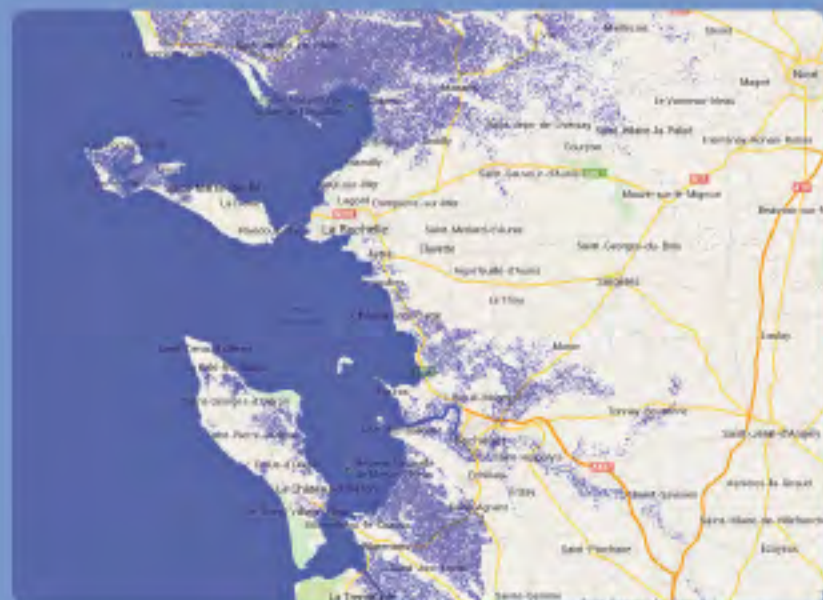
Pour effectuer la simulation du climat, l'océan et l'atmosphère de la Terre sont découpés en maille élémentaire.

■ A l'horizon 2071-2100

Pour le scénario RCP 2.6, la température moyenne augmente de 0,9°C en hiver et 1,3°C en été. Pour le scénario RCP 8.5, la hausse est comprise entre 3,4 et 3,6°C en hiver et entre 2,6 et 5,3°C en été.

Cette hausse est associée à l'augmentation du nombre de jours de vague de chaleur en été qui pourrait dépasser les 20 jours dans le scénario RCP 8.5.

La diminution des extrêmes froids se poursuit. Les épisodes de sécheresse augmentent. Précipitations hivernales en hausse, de 0,1 à 0,85 mm/jour selon les modèles et les scénarios. Le taux des précipitations extrêmes dépasserait 5% dans certaines régions avec le scénario RCP 8.5.



Simulation de l'élévation du niveau de la mer de 1 mètre sur la côte picto-charentaise.

Impacts et conséquences



Ces impacts peuvent être très différents d'une région à une autre, mais ils concernent les systèmes naturels et humains de tous les continents et de tous les océans. Un réchauffement moyen de 2,6°C par rapport au niveau préindustriel peut conduire à des pertes mondiales cumulées de revenu annuel de 0,2 à 2%.

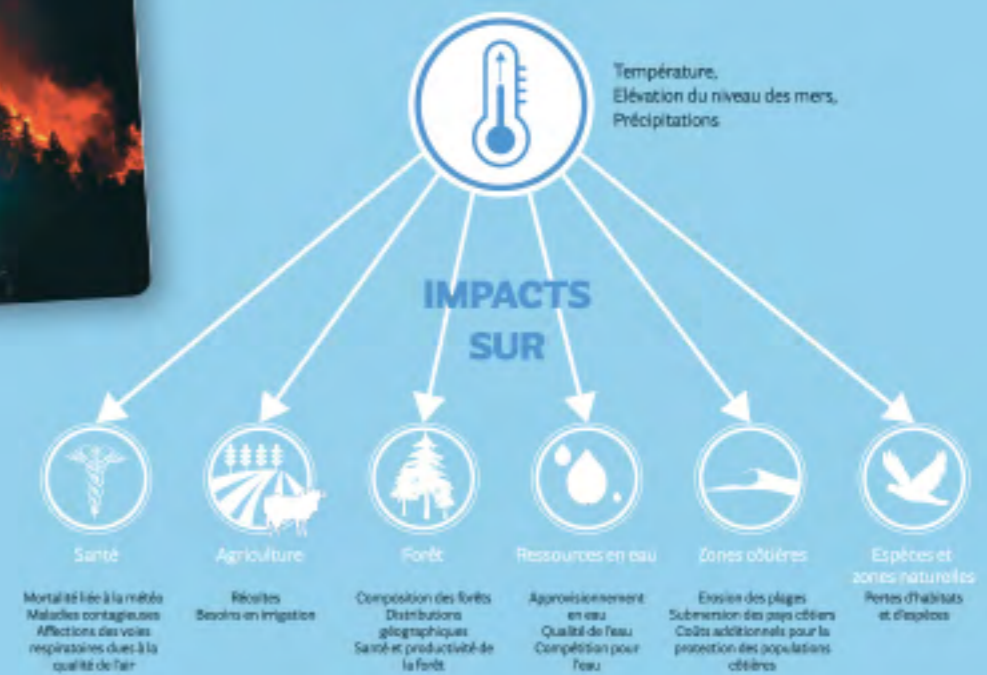
Les impacts varieront en fonction du rythme de variation de température, du scénario socio-économique et de l'étendue de notre adaptation.

Les conséquences prévisibles sont :

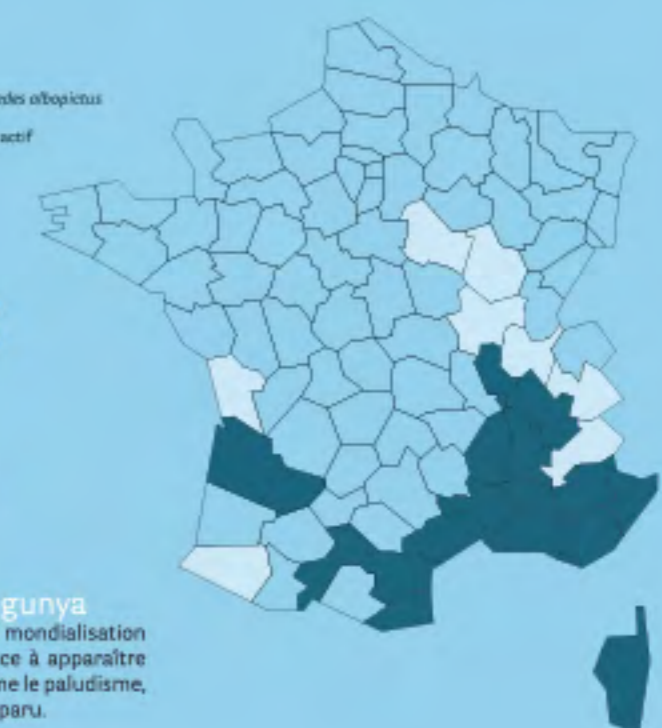
- Des ressources en eau affectées en raison de la modification du schéma des précipitations, ou bien de la fonte des neiges et des glaces.
- Des écosystèmes perturbés : de nombreuses espèces modifient leurs aires de répartition, leurs activités saisonnières, leurs schémas de migration, leur abondance et les interactions entre espèces en réponse au changement climatique en cours.
- Des productions agricoles en baisse dans de nombreuses parties du globe pouvant provoquer des crises alimentaires, sources de conflits et de migrations.
- Des risques sanitaires, notamment en raison de la localisation d'insectes vecteurs de maladies.
- Des événements météorologiques extrêmes plus nombreux : vague de chaleur, sécheresse, submersion marine, inondation...
- Augmentation du risque des feux de forêts en zone tempérée.
- Montée du niveau des océans provoquant l'inondation de zones côtières.



Impact potentiel
des changements climatiques
selon les scénarios du Giec



■ Interception ponctuelle d'*Aedes albopictus*
■ *Aedes albopictus* présent et actif



Moustique tigre, vecteur du chikungunya

Dans un contexte de changement climatique et de mondialisation des échanges, les maladies vectorielles ont tendance à apparaître dans de nouveaux secteurs géographiques, ou, comme le paludisme, à réapparaître dans des secteurs où elles avaient disparu.

Et après 2100?

D731

COGNAC

Le carbone injecté dans l'atmosphère va mettre des années à être « digéré » par la Terre selon des mécanismes géologiques qui prendront plusieurs milliers d'années. Le maximum des émissions de CO₂ dans l'atmosphère pourrait être atteint vers les années 2080, pour un maximum de concentration en CO₂ atteint vers 2200. Le maximum de CO₂ correspondra probablement au maximum de température.

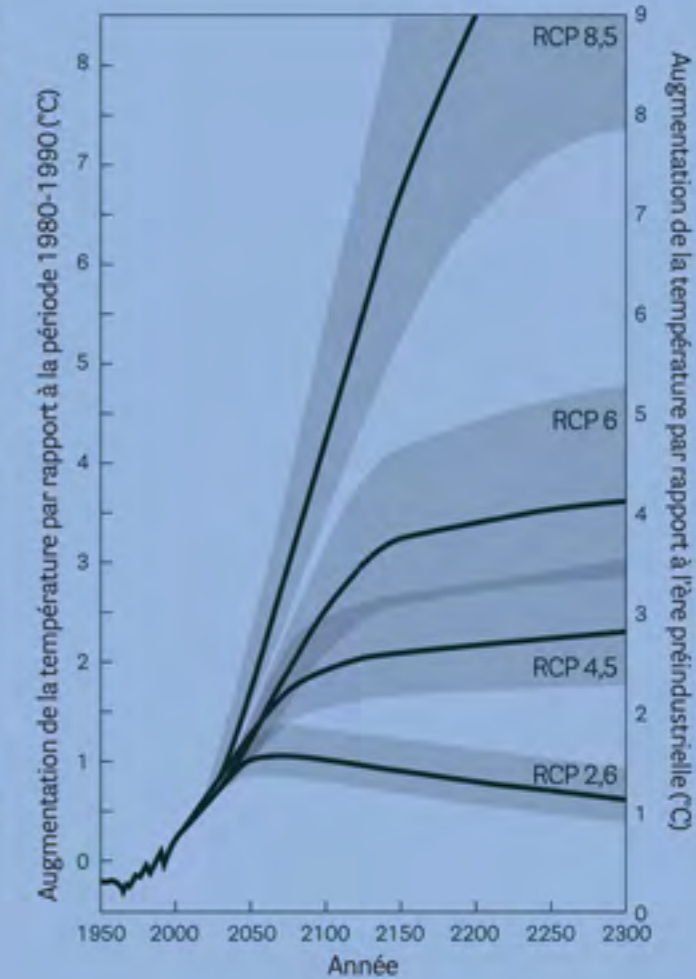
Les mécanismes qui conduisent au réchauffement des océans, à son acidification, à sa dilatation et à la fonte des calottes polaires commencent à être connus et modélisés.

L'océan est un énorme réservoir, qui va absorber l'essentiel du CO₂ atmosphérique dans les siècles à venir. Une lente dissolution du CO₂ se mettra en place. Cependant le phénomène d'acidification n'aura cessé de croître au fur et à mesure, le maximum d'acidité des océans pourra être atteint vers 2500-3000. Les répercussions sur les écosystèmes marins sont mal connues.

Vers 3000 également, le niveau des mers est le plus élevé en raison du temps de réponse de l'océan dû à la dilatation de l'eau de mer chauffée. La fonte des glaces polaires aura également entraîné une hausse, estimée à environ 70 ou 80 mètres par rapport au niveau actuel.

Le retour à des concentrations naturelles de CO₂ dans l'atmosphère et à un rythme naturel du climat (interglaciaire et glaciaire) est prévu pour l'an 100 000.

Les courbes représentent les trajectoires médianes d'évolution de la température moyenne à la surface de la Terre en fonction des quatre scénarios RCP. Pour chaque scénario RCP, il y a 66% de chances que la trajectoire d'évolution de la température se trouve dans la zone grisée qui lui est associée.



Les côtes Européennes après une montée des eaux de 80 mètres

S'adapter ?

c'est possible

Parallèlement aux mesures de réduction (atténuation) d'émissions de gaz à effet de serre, il faut nous préparer à faire face aux conséquences du changement climatique. Pour être le plus efficace possible, il est nécessaire de le faire dès aujourd'hui. De l'échelon local à l'échelle internationale, des individus aux gouvernements, il existe des actions d'adaptation à mettre en place de manière à anticiper et à réduire les impacts du changement climatique.

Des risques existent face au changement climatique, dus à la vulnérabilité et à l'exposition (populations et biens menacés), associés à des dangers (apparition de phénomènes climatiques ou de tendances). Chacun de ces éléments peut donner lieu à des actions pour en réduire les effets négatifs.

Les changements climatiques touchent déjà l'agriculture, la santé, les écosystèmes terrestres et océaniques, l'approvisionnement en eau et les moyens de subsistance de certaines populations. La surélévation des digues, le greffage des coraux ou encore la réutilisation des eaux usées après traitement sont des mesures qui permettront de faire face à l'élévation du niveau des mers, à l'acidification des océans ou au manque d'eau.



Digue



Maisons Nunavut

Adaptation à des températures plus chaudes

Des changements dans les modes de subsistance des Inuits existent déjà en réponse au dégel du pergélisol. La fabrication de neige artificielle est de plus en plus fréquente dans les stations de ski européennes, australiennes et nord-américaines.



Pont de la Confédération au Canada

Gestion des zones côtières

En prévision des futurs changements de climat, il faut tenir compte de la montée du niveau de la mer pour la construction d'infrastructures ou pour la gestion des zones côtières.

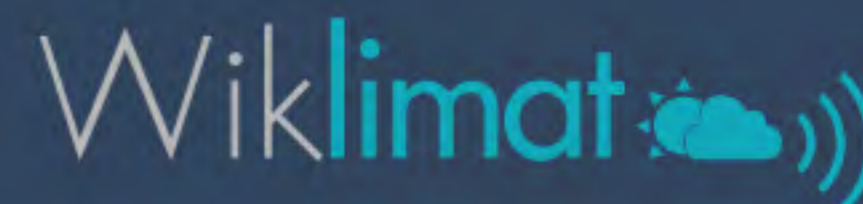
La France s'adapte



Plan national

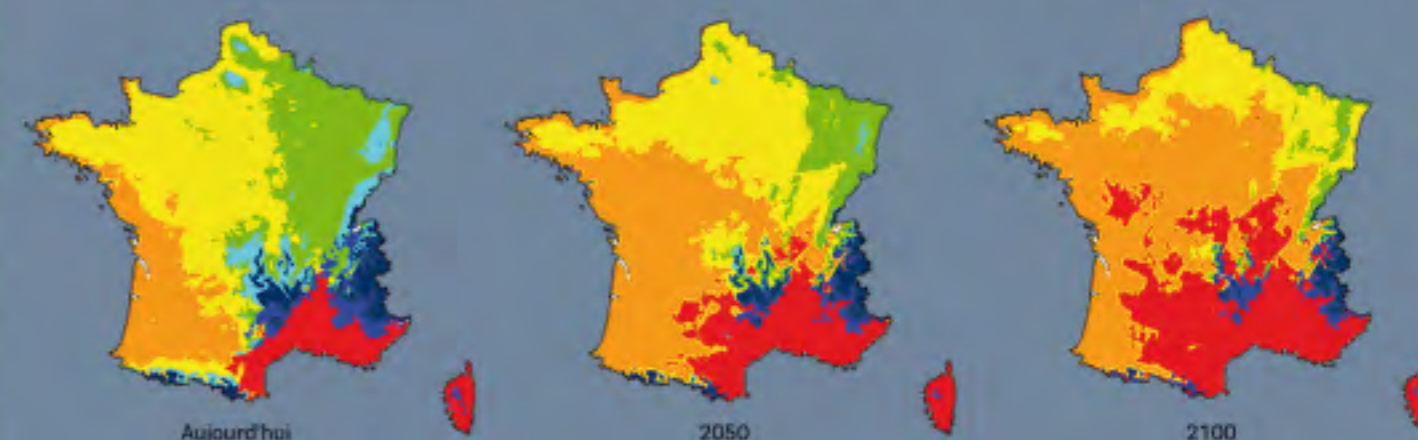
Adaptation au CHANGEMENT CLIMATIQUE

- ONERC (Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique)
Cet observatoire créé en 2001 travaille en lien direct avec le GIEC. Il collecte et diffuse des informations, des études et des recherches sur les risques liés au réchauffement climatique. Il formule des recommandations sur les mesures de préventions et d'adaptations à envisager pour limiter les risques. Enfin il pilote et coordonne les actions lancées par le PNACC.



- Préserver l'eau
Les projections climatiques anticipent une diminution des précipitations estivales, des sécheresses plus intenses et plus fréquentes. Parallèlement la hausse des températures augmentera les phénomènes d'évaporation.
Les mesures mises en œuvre portent sur l'aide à la récupération d'eau de pluie par les collectivités, à la détection et la réduction des fuites d'eau du réseau, ou encore au développement de la réutilisation des eaux usées pour les cultures et les espaces verts.

Evolution des aires de répartition des espèces avec le réchauffement climatique



- Groupe 1 : essences de l'étage sub-alpin (aulne vert, cyprès des Alpes, pin cembra...)
- Groupe 2 : espèces de l'étage montagnard (érable à feuille d'obier, aulne blanc, fusain à larges feuilles...)
- Groupe 3 : espèces communes aux régions de montagne et à l'étage collinéen du quart nord-est (sapin, épicéa, sureau rouge...)
- Groupe 4 : montagne et plaine (érable, hêtre, pin sylvestre...)
- Groupe 5 : espèces de l'étage collinéen (châtaignier, boundaine, cèdre de Chypre, néflier...)
- Groupe 7a : espèces de la moitié ouest (bruyère à balais, pin maritime, chêne tauzin...)
- Groupe 8 : espèces méditerranéennes (chêne liège, olivier, genévrier oxyèdre, pin d'Alep...)

Cartes établies par l'INRA comparant les aires d'accueil actuelles, en 2050 et en 2100 des espèces en fonction de données climatiques précises (température, pluie, gel, rayonnement solaire...). Le climat en 2050 et en 2100 est simulé par Météo-France sur la base du scénario R2 du GIEC (INRA-Nancy-UMR Ecologie & Ecophysiologie Forestières, Inventaire Forestier National).

Une adaptation planifiée et précoce peut permettre d'anticiper les évolutions. Il faut modifier les infrastructures dans les transports, les bâtiments, la distribution et la production d'eau et d'énergie... La France s'est dotée en 2011 d'un plan national d'adaptation au changement climatique. Les mesures concernent tous les secteurs d'activité autour de quatre objectifs : protéger les biens et les personnes, éviter les inégalités devant les risques, limiter les coûts et tirer parti des avantages, préserver le patrimoine naturel.

- Adapter les forêts, c'est diversifier les ressources génétiques, accompagner les exploitants forestiers pour les plantations, identifier les zones sensibles aux incendies...



Atténuer ?

c'est faisable

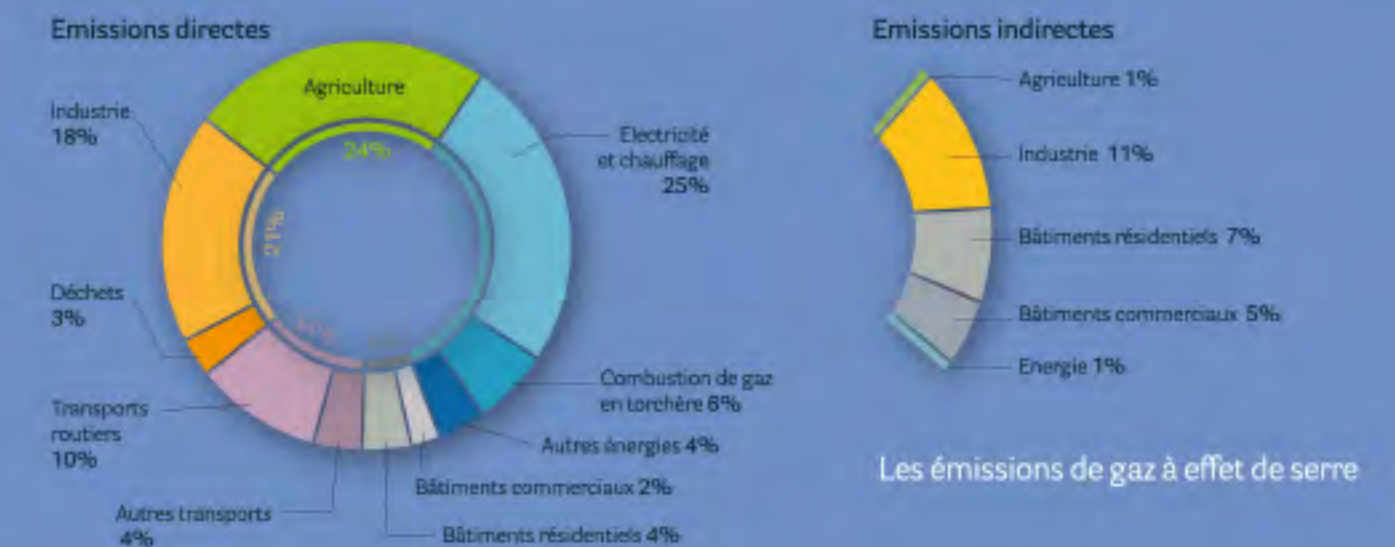


S'adapter est une bonne manière de se préparer au changement climatique, mais n'est pas suffisant, il faut aussi tenter de limiter ce changement pour en atténuer les effets. Pour cela, il faut s'attaquer aux causes du changement en diminuant les émissions de gaz à effet de serre. Ces diminutions sont possibles dans tous les secteurs, par tous, partout.

L'objectif des pays signataires de la convention cadre des Nations Unies est de limiter l'augmentation de la température à 2°C par rapport à l'ère pré-industrielle, c'est à dire à limiter la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère à 450 ppm d'ici la fin du siècle.

■ Efficacité énergétique et chasse au gaspillage d'énergie sont les plus grandes sources de réduction des émissions.

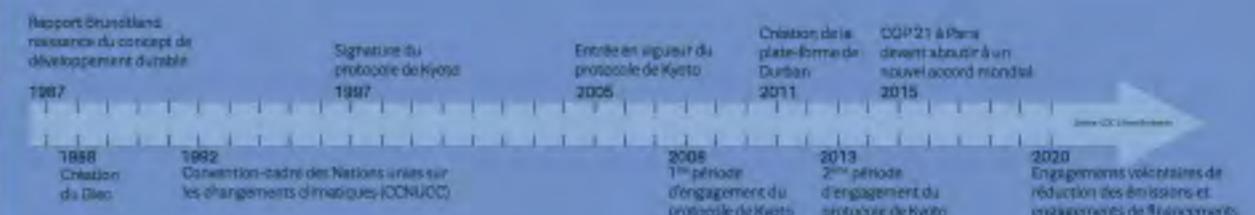
Pour des objectifs ambitieux, tous les secteurs, et en particulier la construction, l'industrie, la production d'énergie, l'agriculture, les transports, la gestion des forêts et celle des déchets peuvent et doivent contribuer ensemble aux actions d'atténuation.



■ Sans efforts supplémentaires en plus de ceux déjà mis en place, l'augmentation des émissions devrait persister, entraînée par la croissance démographique et des activités économiques.

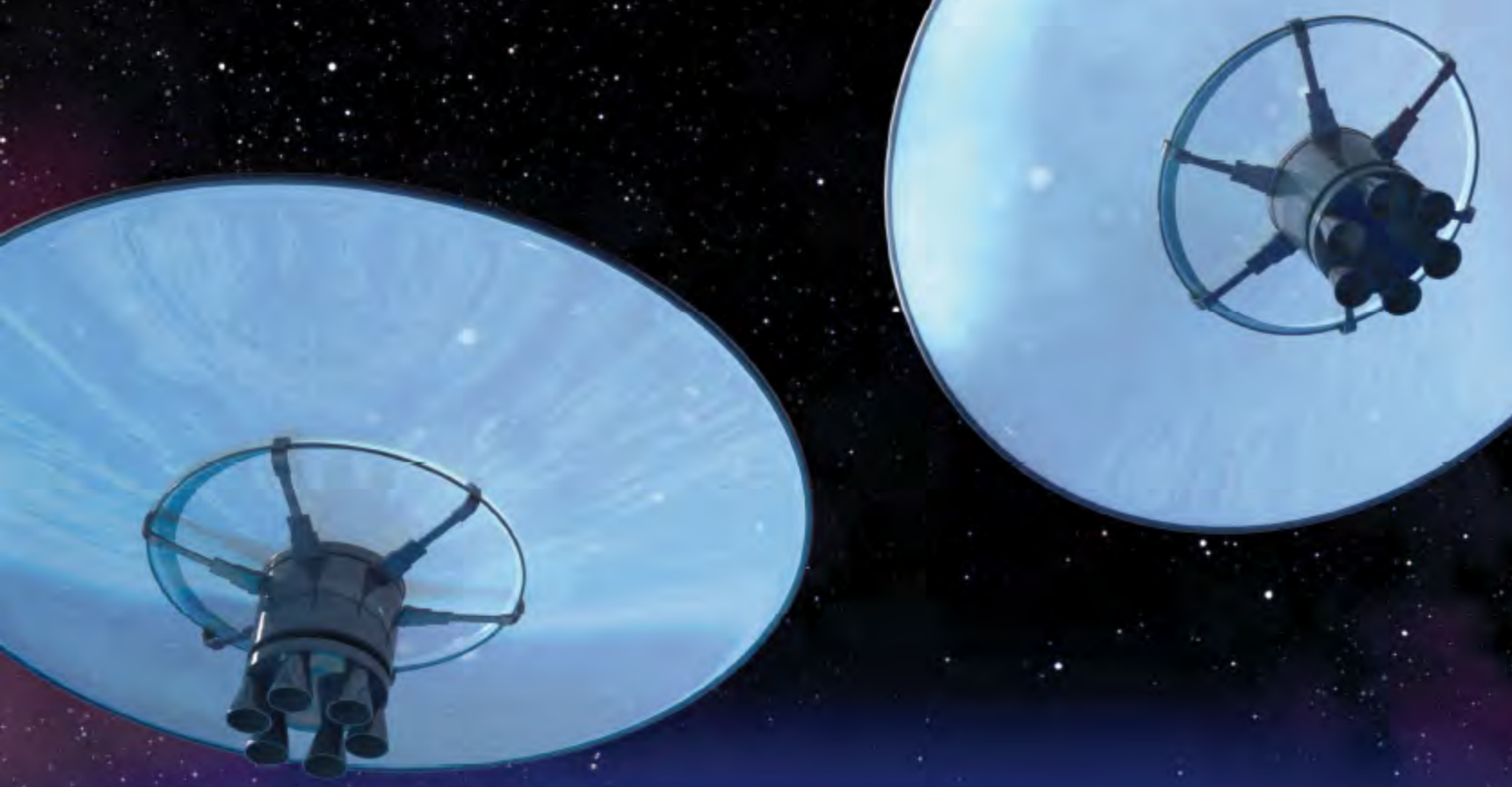
Pour des objectifs ambitieux (par exemple, contenir le réchauffement entre 2°C et 2,5°C d'ici 2100), les politiques de réduction pourraient diminuer le produit intérieur brut mondial (PIB) de moins de 3% en 2030 et de moins de 5% en 2050, par rapport à la valeur qu'il atteindrait sans politique climatique. Pour un objectif moindre (un réchauffement à 3,5 °C), ce PIB reculerait de 0,2 à 2,5% en 2030 et de 0,5 à 4% en 2050.

■ La fiscalité, les systèmes de quotas échangeables, la réglementation, les mécanismes de projets, les accords volontaires... l'expérience montre que chaque instrument présente des avantages et des inconvénients. Par exemple, les taxes peuvent réellement induire une réduction des émissions mais sans garantir un niveau d'émission fixé à l'avance ; la réglementation et les normes peuvent fixer un niveau d'émission maximal mais avec moins d'incitation à l'innovation et la recherche technologique.



Géo-ingénierie :

de la science à la science-fiction

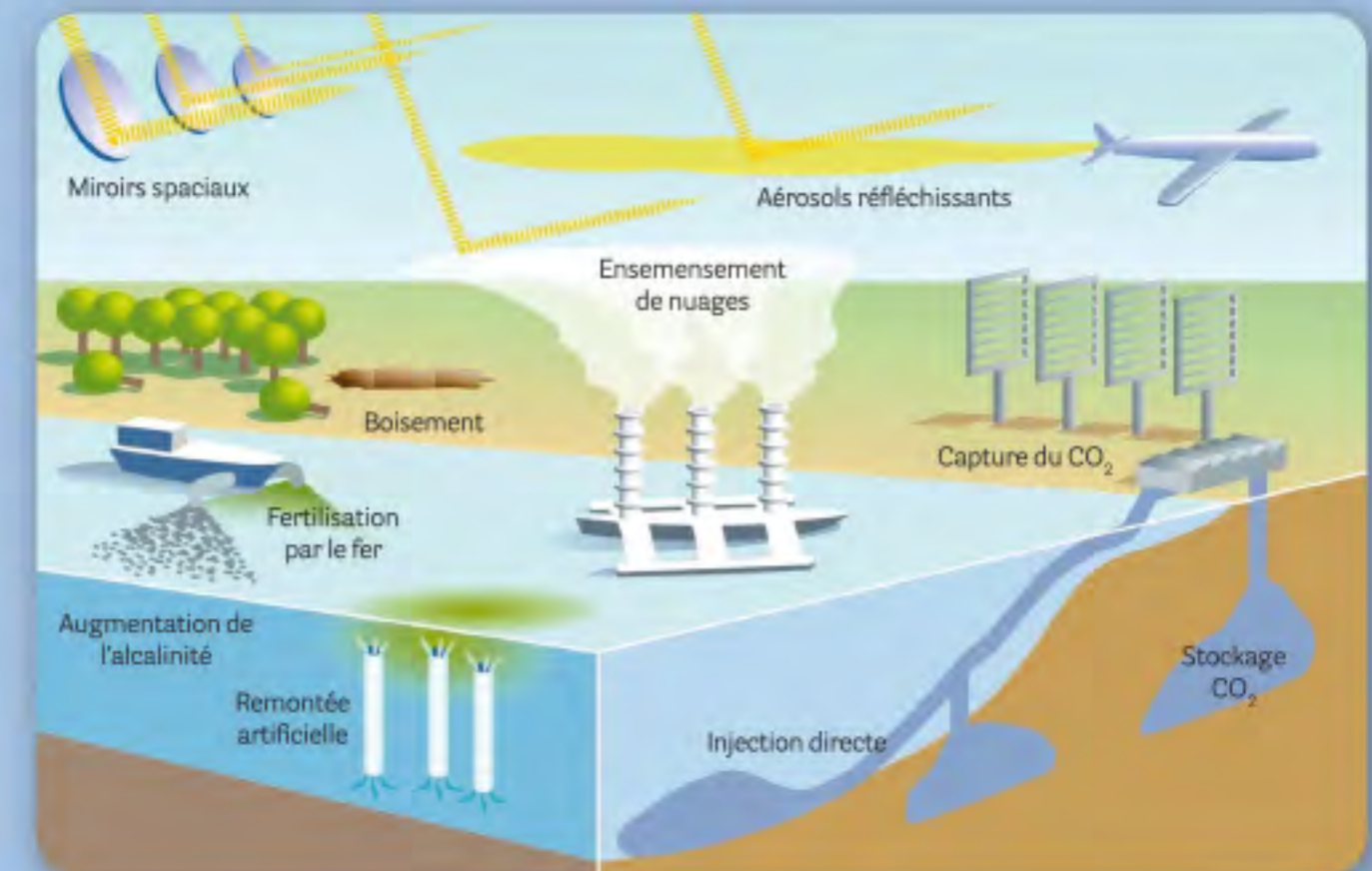


La géo-ingénierie du climat consiste à modifier artificiellement les systèmes de la Terre de manière à contre-carrer les effets du changement climatique. Il existe peu d'éléments permettant d'évaluer ces deux types de techniques : gestion du rayonnement solaire et prélèvement du dioxyde de carbone. Difficile également d'évaluer leur impact sur le système climatique. Ces méthodes présentent des effets secondaires et collatéraux et auront des conséquences à l'échelle du globe.

Techniques de gestion du rayonnement terrestre

- Déploiement de miroirs en orbite permettant de moduler l'énergie solaire.
- Envoi massif de particules en haute atmosphère pour imiter artificiellement l'impact des grosses éruptions volcaniques et atténuer ainsi l'ensoleillement. Réalisées dans l'hémisphère Nord, ces injections provoqueraient des sécheresses catastrophiques dans le Sahel.
- Ensemencement de nuages maritimes par injection de particules de sels marins pour augmenter l'albédo des nuages. Réalisé dans le Pacifique Nord, les pluies risquent d'augmenter dans le sud de l'Australie. Dans l'Atlantique Sud, les précipitations baisseraient en Amazonie.

Ces méthodes pourraient peut-être compenser significativement une augmentation de la température du globe. Elles sont cependant d'un coût prohibitif, génératrices de gaz à effet de serre, elles n'auront aucun impact sur l'acidification des océans par exemple et pourraient modifier le cycle mondial de l'eau.



Développement des technologies de contrôle partiel du cycle naturel du carbone

- Fertilisation des océans par dépôt massif de fer pour favoriser la productivité marine. Ce métal stimule en effet la croissance du phytoplancton qui absorbe le CO₂ dissous dans les eaux de surface. Quand il meurt, il tombe au fond, permettant de stocker une partie du carbone dans les couches profondes. A grande échelle, cet ensemencement risque de perturber la chaîne alimentaire.

- Extraire le CO₂ de l'atmosphère. Cette méthode qui présente déjà de nombreuses difficultés de réalisation se complique encore par la suite, puisqu'une fois piégé, il faudrait stocker ce CO₂ : dans les formations géologiques profondes du sous-sol ou dans les sédiments rocheux sous la mer.