

# **Le changement climatique et ses échéances**

**Sylvie JOUSSAUME**

*Directrice du groupement d'intérêt scientifique (GIS) Climat-Environnement-Société*

Merci, bonjour à toutes et à tous.

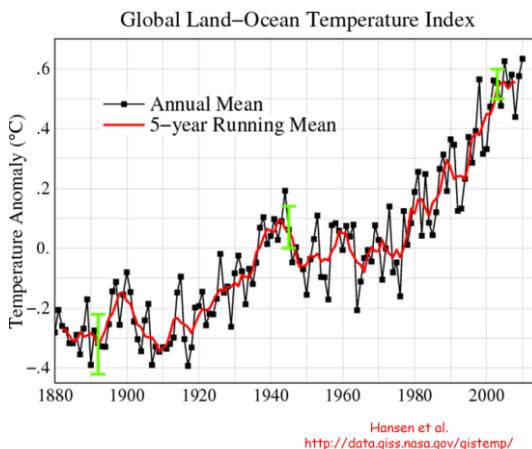
Le but de cette présentation est de faire le point sur le changement climatique et de vous donner une vision des échéances, de la rapidité et de l'ampleur de ce changement. Sans détailler les actions nécessaires, je voudrais insister sur le besoin de réduire la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et sur les ordres de grandeur de réduction des émissions nécessaires pour stabiliser le climat. Je vais m'appuyer sur le dernier rapport du GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat) qui date de 2007. Actuellement, les équipes travaillent à la rédaction du cinquième rapport qui sortira en 2013-2014. Vous trouverez beaucoup d'informations sur le site web du GIEC (Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat). Je vais essentiellement présenter les résultats des travaux du groupe 1, qui sont les bases sur le changement climatique, ainsi qu'un résultat qui fait un lien avec le groupe 3, sur les actions de réduction des émissions.

## **L'évolution du climat**

Nous sommes tous concernés par le climat et la météorologie. Parmi les événements marquants de 2010, la France a connu d'importantes chutes de neige en décembre. Comment interpréter un tel épisode de froid, est il en contradiction avec le réchauffement climatique ? Autre événement en 2011: d'après les enregistrements de Météo France, on n'avait jamais eu un printemps aussi chaud et sec. Que représentent ces deux records dans l'évolution du climat ?

Il s'agit là d'événements météorologiques à relativement court terme. Quand on s'intéresse au climat, on s'intéresse à une quantité intégratrice, qui est la statistique du temps : à la fois la moyenne et les extrêmes, la variabilité dans le temps. En fait le climat est un concept assez abstrait,

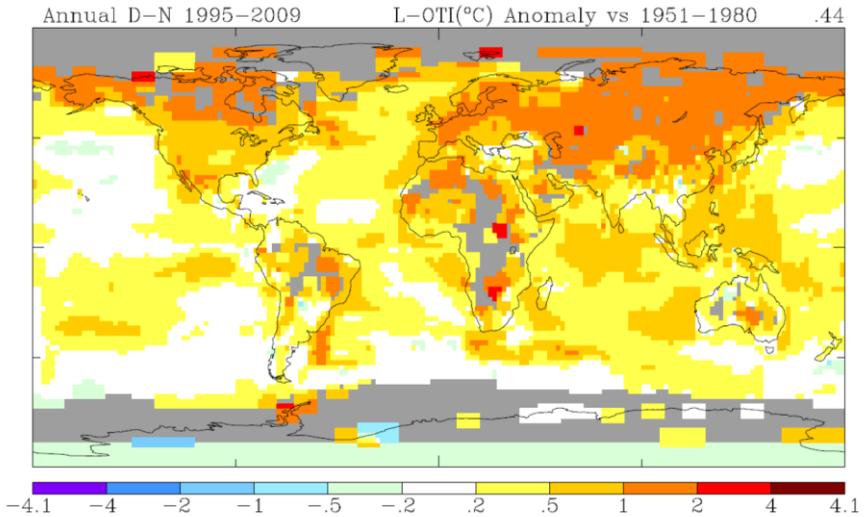
qu'il faut réussir à mesurer qui plus est, à l'échelle de la planète, puisqu'il varie d'un endroit à l'autre. Pour cela, on utilise comme indicateur la température moyenne à la surface de la terre qui est calculée à partir des observations. La température moyenne globale depuis la fin du 19<sup>ème</sup> siècle (mise en place du réseau mondial d'observation de la météo), montre un réchauffement global à la surface de la terre de 0,76 °C en 100 ans (GIEC, 2007). Notez que le réchauffement se fait en deux phases :



- un premier réchauffement de 1910 à 1945 suivi d'une phase où le climat est resté relativement stable ;
- une deuxième phase de réchauffement de 1980 jusqu'à maintenant.

On constate que les années les plus chaudes du siècle se retrouvent dans les quinze dernières années. Les estimations du GISS montrent que l'année 2010 est un maximum, malgré un hiver froid chez nous. Ces estimations sont entachées d'incertitude et de légères différences peuvent apparaître entre l'estimation du GISS et celle du Hadley Centre (UK). Cependant, la tendance générale est là : on observe un réchauffement de la planète.

La moyenne de 1995 à 2009 (cette quinzaine d'années particulièrement chaudes) montre que le réchauffement est particulièrement marqué sur les continents par rapport aux océans, ainsi que dans les hautes latitudes.



Hansen et al.

<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>

C'est une signature que l'on retrouve systématiquement. J'ai volontairement pris une représentation qui ne fait pas de lissage. Figurent donc en gris, notamment en Afrique et en Antarctique, les points où l'on manque de données d'observation. Même si les satellites permettent une meilleure couverture spatiale, il subsiste toujours des régions qui manquent. Si on considère l'année 2010 – une des années les plus chaudes du siècle – on note un réchauffement très fort dans les hautes latitudes, le Nord de l'Afrique, et l'Asie Centrale. En France, en revanche, le réchauffement reste limité. Le mois de décembre, remarquable par ses précipitations de neige intenses, constitue même une anomalie froide. L'hiver 2010-11 a, en effet, été un hiver plus froid que les précédents en Europe ; c'est un extrême de froid depuis 1990. La France a déjà connu des hivers froids, en particulier 1962 – 63. Des collègues climatologues qui ont étudié l'hiver 2010-11 montrent que lors d'épisodes similaires antérieurs, les températures étaient encore plus froides. Cet épisode froid est, en fait, plus chaud qu'il ne l'aurait été dans le passé, ce qui reste difficile à ressentir. Le diagnostic du climat n'est donc pas évident et nécessite des analyses poussées.

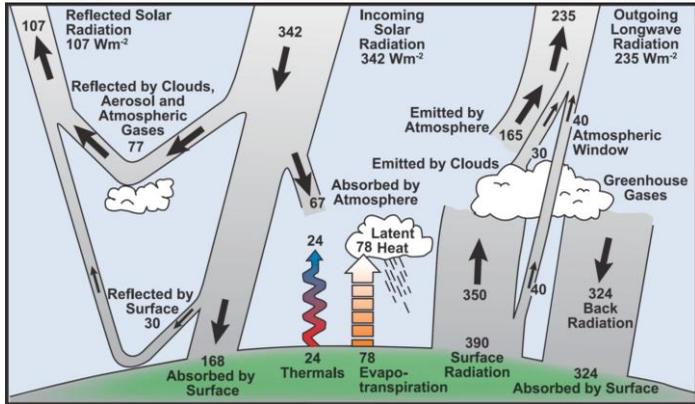
D'autres indicateurs montrent que le climat change. Un des plus frappants est la superficie de la banquise arctique. L'extension minimum (en septembre), obtenue par satellite, montre une nette diminution en 2007 par rapport à l'extension moyenne de 1979 à 2000, avec une diminution pratiquement de moitié. Moins marquée en 2008 et 2009, cette diminution devrait atteindre en 2011 des valeurs voisines de 2007. Le réchauffement est donc particulièrement marqué en Arctique, en dépit des variations d'une année sur l'autre : la tendance est là, avec une nette réduction de l'extension de la glace de mer, liée au fait que le réchauffement est plus important dans les hautes latitudes.

Première observation : le climat change. On observe ce changement tant pour les températures que pour les pluies (avec des pluies plus intenses dans certaines régions et des sécheresses dans d'autres régions). Il reste à expliquer pourquoi le climat change.

### **L'évolution de la composition atmosphérique en gaz à effet de serre**

Seconde observation : la composition de l'atmosphère change. Depuis le 19<sup>ème</sup> siècle, la composition atmosphérique en gaz carbonique, méthane et oxyde nitreux présente une nette augmentation, comme le montrent les mesures dans l'atmosphère complétées par les mesures dans les bulles d'air stockées dans les glaces continentales. Le niveau de gaz carbonique est passé d'un niveau préindustriel de 280 ppm (280 cm<sup>3</sup> dans un m<sup>3</sup> d'air) et atteint actuellement 390 ppm (on augmente actuellement chaque année de 2 ppm). Pour le moment on ne voit pas d'inflexion dans ce changement de la concentration en CO<sub>2</sub>. Le méthane a plus que doublé, et l'oxyde nitreux a également augmenté de 30 %. Quelles sont les causes de ces augmentations de concentration ? Pour le CO<sub>2</sub>, c'est la combustion des énergies fossiles à 80 %, et la déforestation à 20%. Pour le méthane, c'est la croissance démographique, qui entraîne celle de l'agriculture (décomposition anaérobie dans les rizières et les cheptels de bovins), ainsi que les fuites de gaz naturel. Quant à l'oxyde nitreux, il provient aussi de la croissance de la production agricole (notamment par l'utilisation d'engrais).

Ces gaz jouent un rôle dans le bilan énergétique de l'atmosphère. Sans entrer trop dans les détails, ce bilan est régi par l'arrivée du rayonnement solaire et l'émission de rayonnements infrarouges, les deux s'équilibrant.



Kiehl and Trenberth (1997)

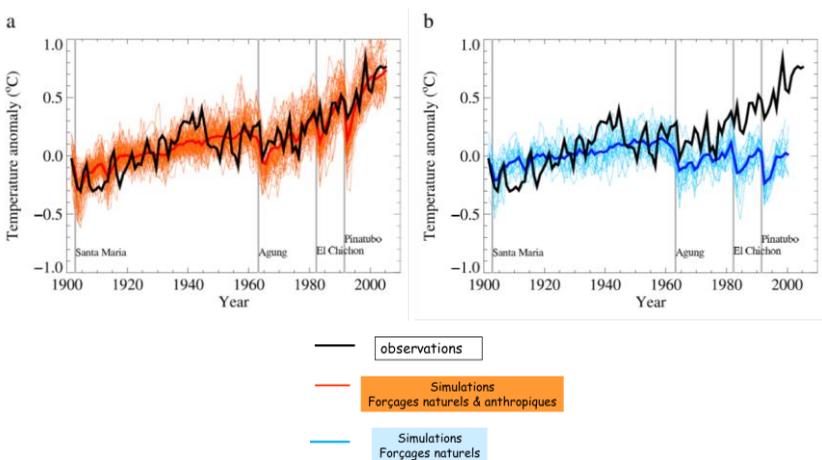
Lorsque l'on modifie la composition des gaz à effet de serre, on modifie le bilan infrarouge. L'énergie émise par la surface est absorbée par les gaz à effet de serre qui, eux-mêmes, réémettent à leur température. Ils réémettent vers la surface et ils réémettent vers l'espace mais à une température plus froide que celle de la surface. Ceci a pour effet de réchauffer la surface. Plus il y a de gaz à effet de serre, plus cet effet augmente. L'effet de serre est un phénomène naturel provoqué en premier lieu par la vapeur d'eau. Heureusement qu'il existe sinon notre planète serait une planète gelée et la vie ne s'y serait pas développée. Il est pour nous bénéfique ; le problème actuel provient des activités humaines qui renforcent l'effet de serre et donc réchauffent la surface terrestre.

Pour le moment, j'ai juste fait deux constats : le climat se réchauffe et on observe une modification de la composition de l'atmosphère qui tend à réchauffer le climat. Maintenant, cela ne répond pas à la question suivante : le changement climatique que l'on observe est-il dû à l'augmentation des gaz à effet de serre ?

### Les modèles de calcul : explication et prévision du climat

Pour tenter de répondre à cette interrogation, on utilise des modèles de climats qui vont nous permettre d'étudier l'influence et le rôle des différents éléments du système. Ces modèles vont décomposer l'atmosphère et les océans dans un certain nombre de boîtes pour lesquelles on va calculer, en s'appuyant sur les principes de base de la physique, la circulation des fluides et les températures. On va représenter le cycle de l'eau, la formation des nuages et des pluies.

Nous pouvons ainsi réaliser ce qu'on appelle des expériences numériques, qui vont permettre de tester différentes hypothèses. Deux jeux de simulations sont présentés :



un jeu où on ne prend en compte que des facteurs naturels (en bleu), et un jeu où l'on prend compte les facteurs naturels et les activités humaines (en orange). Les facteurs naturels sont les variations naturelles qui résultent des interactions entre atmosphère et océan, mais également les modulations de l'activité du soleil et les éruptions volcaniques (qui tendent à refroidir le climat mais pendant une période limitée).

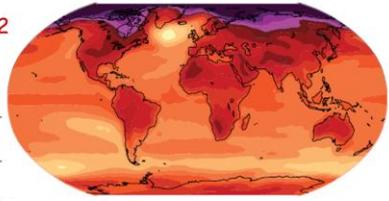
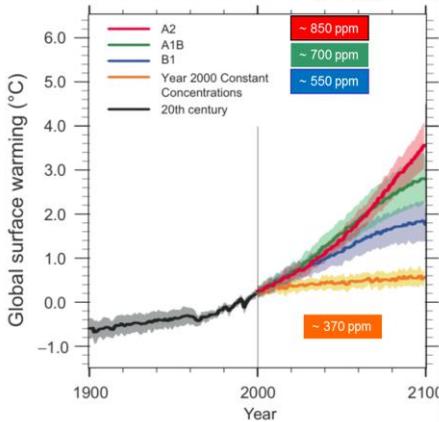
Les activités humaines concernent l'augmentation des gaz à effet de serre, ainsi que celle des aérosols. On compare les résultats de ces deux groupes de simulations avec les observations (en noir): Dans la première phase du réchauffement, il y a très peu de différences entre les deux groupes. Cette

première phase de réchauffement peut donc parfaitement être naturelle, rien ne permettant d'affirmer qu'elle est liée aux activités humaines. Par contre, si on regarde le réchauffement de la 2<sup>ème</sup> partie du XXe siècle, on ne peut expliquer le réchauffement observé uniquement par les facteurs naturels. En revanche, on arrive à le reproduire en prenant en compte l'augmentation des gaz à effet de serre. Au mieux, les facteurs naturels permettent d'expliquer la moitié du réchauffement. On prend aussi en compte les particules, qui elles, tendent à refroidir le climat et limitent un peu l'ampleur du réchauffement induit par les gaz à effet de serre.

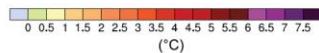
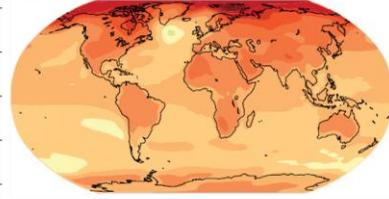
Ces résultats ont conduit le GIEC à conclure en 2007 que la majeure partie du réchauffement de ces 50 dernières années est très probablement due à l'augmentation des gaz à effet de serre. Cette même conclusion a évolué au cours du temps. Dans le 1<sup>er</sup> rapport en 1991, le GIEC concluait qu'on ne pouvait pas dire s'il y avait ou non une influence humaine. Dans le 2<sup>ème</sup> rapport, en 1995, un faisceau d'éléments suggérait l'intervention de l'activité humaine. Dès 2001, le 3<sup>ème</sup> rapport arrive aux mêmes conclusions qu'en 2007, à la différence près qu'il considérait que l'influence des gaz à effet de serre était seulement probable.

En ce qui concerne le climat futur, les projections climatiques utilisent des scénarios développés par les économistes et les démographes, de façon à déterminer l'évolution future des émissions de gaz à effet de serre. Dans les scénarios les plus hauts, si l'on continue à émettre une quantité importante de gaz à effet de serre, on pourrait atteindre plus de 800 ppm en 2100. Si, au contraire, la politique mondiale prend en compte les questions environnementales, comme un enjeu majeur, et adopte des modes de production d'énergie non producteurs de gaz à effet de serre, on suivrait les scénarios les plus bas et le niveau de CO<sub>2</sub> en 2100 atteindrait une valeur proche de 500 ppm. Actuellement, la courbe des émissions de CO<sub>2</sub> montre que nous suivons les scénarios hauts !

© ipcc (2007) A2

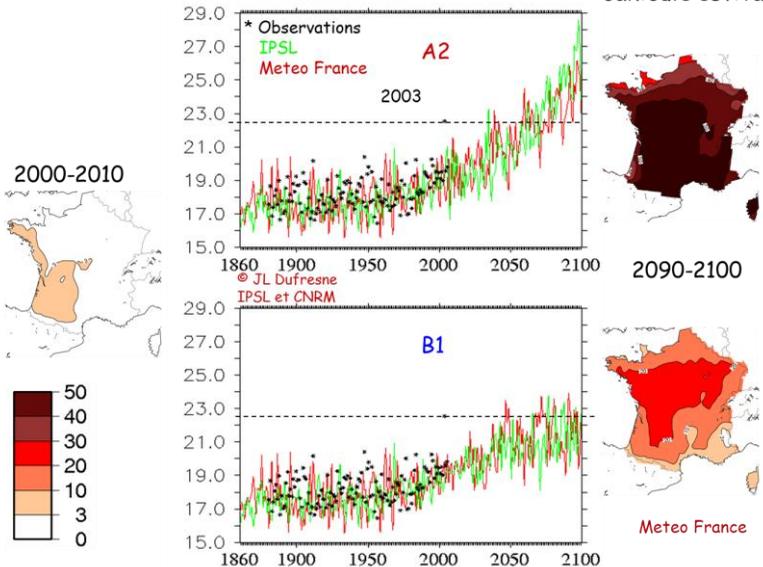


B1 2090 - 2099



Les modèles de climat utilisent les données provenant de ces scénarios pour en déduire l'évolution des températures et des précipitations, etc. Les résultats pour le dernier exercice du GIEC présentent en 2100 une augmentation de température qui va de +1,8°C (scénario bas, dit B1) à +3,6°C (pour le scénario haut, dit A2). Cette augmentation s'ajoute aux 0,7°C déjà observés. Les valeurs données ici sont pour la moyenne des modèles (en gras). Pour chacun de ces scénarios, le réchauffement est plus fort sur les continents que sur les océans, et plus marqué dans les hautes latitudes. La gamme complète des estimations de température pour 2100 s'étend de +1,4°C à +4°C. Plusieurs sources d'incertitude expliquent cette gamme de valeurs : en premier lieu l'incertitude sur le scénario économique qui sera suivi. Le niveau d'émissions de gaz à effet de serre en dépendra de façon fondamentale. Pour chacun des scénarios, une gamme de valeurs est donnée autour de la moyenne des modèles. Elle représente l'incertitude liée aux modèles, en particulier les différences de représentation des nuages. Les modèles sont une représentation imparfaite du monde réel. Néanmoins, en comparant les estimations des premiers rapports du GIEC avec les températures observées des dernières années, on remarque que les observations confortent les résultats des modèles.

## Température d'été en France



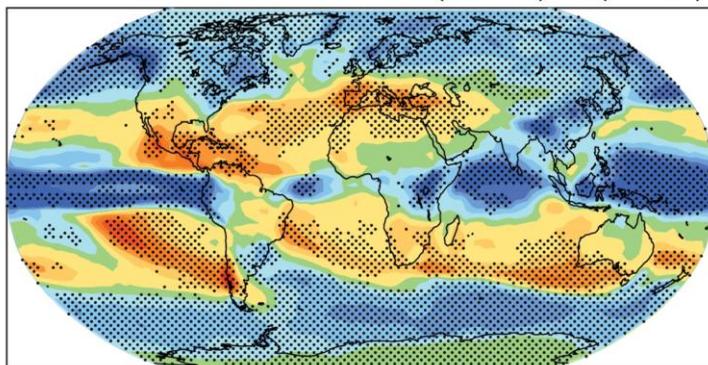
Concrètement, le changement climatique se traduira par une multiplication des événements extrêmes, en particulier l'augmentation des vagues de chaleur. La température d'été en France illustre bien cela : les projections à partir des deux modèles français (IPSL en vert, et Météo France en rouge) montrent une nette augmentation des événements chauds (des canicules). Cependant, cette augmentation est beaucoup plus importante dans le cas d'un scénario haut que dans un scénario bas. La canicule de 2003 qui est restée dans les mémoires, paraîtra bien ordinaire à la fin du siècle. Météo France a fait des estimations du nombre de jours de canicule : actuellement (entre 2000 et 2010) la région du Sud-Ouest connaît entre 3 et 10 jours de canicule par an ; pour le scénario bas, on pourrait atteindre plus de 20 jours alors que dans le scénario haut on dépasserait les 50 jours par an.

Les précipitations constituent un facteur important pour le développement de la vie et de l'agriculture. Les changements de précipitation pour un scénario économique moyen (dit A1B) montrent une diminution de précipitations dans toutes les ceintures subtropicales qui connaissent déjà actuellement des problèmes de déficit d'eau.

L'augmentation des gaz à effet de serre aura tendance à renforcer ce déficit en eau, en particulier dans le sud de la France. Au contraire, le nord de l'Europe connaîtrait davantage de pluies, marquées par des pluies plus intenses. La carte présente des zones de pointillés, ce sont les zones où 80 % des modèles sont d'accord sur le signe du changement, alors que dans d'autres régions, comme le Sahel, il n'y a pas accord sur l'évolution des précipitations.

### Changement des précipitations (moyenne annuelle)

(2080-2099) moins (1980-1999)



Scénario A1B - IPCC (2007)

Pointillés : 80% modèles accord sur le signe

D'autres impacts sont attendus :

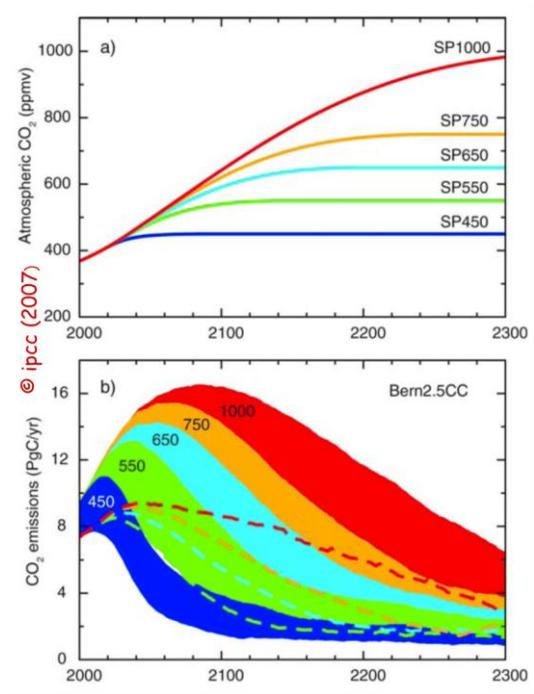
- L'augmentation du niveau de la mer va se poursuivre ; pour le moment, le niveau a monté d'une vingtaine de centimètres. Les prévisions vont de 20 à 60 cm pour la fin du siècle, la montée du niveau se poursuivant au-delà. La diminution de la surface la banquise a déjà été évoquée, elle va se poursuivre et la banquise pourrait fondre complètement en été en Arctique au cours du 21<sup>ème</sup> siècle.
- Suivant les régions, on attend soit des pluies plus intenses soit au contraire une diminution de la disponibilité en eau
- Les cyclones tropicaux pourraient être plus intenses

- Le changement climatique a aussi des impacts sur la production agricole. Sous nos latitudes, l'effet pourrait être bénéfique si l'élévation de température reste modérée, au-delà ils deviendraient négatifs. Dans les zones tropicales, l'effet attendu est négatif sur la production agricole.
- Le changement climatique risque aussi d'induire des disparitions d'espèces, les chiffres avancés sont un risque de disparition de 20 à 30% des espèces pour 2° à 3° de réchauffement global.
- L'absorption par les océans d'une partie des excès de CO<sub>2</sub> induit des problèmes d'acidification des océans
- Le changement climatique a également des effets sur la santé (respiratoires, cardiaques mais également sur l'émergence de maladies)

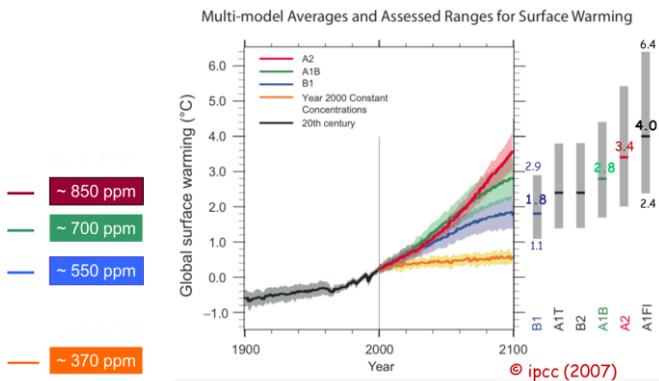
Dans le système climatique, seule la moitié du CO<sub>2</sub> émis par les activités humaines reste dans l'atmosphère, le reste est nettoyé et absorbé par les océans et les continents. Cependant, une augmentation globale de la température pourrait limiter cette absorption et réduire le stockage du dioxyde de carbone ce qui accélérerait encore le réchauffement. Cela est pris en compte dans l'ensemble des scénarios et conduit à une gamme de réchauffement en 2100 de 1,1°C à 6,4°C.

### **L'objectif des accords internationaux**

L'objectif visé par les négociations internationales est de stabiliser le climat. Pour ce faire, il faut réduire les émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, pour stabiliser la concentration en gaz carbonique à 450 parties par million, il faudrait rapidement se mettre à diminuer d'une façon drastique les émissions. Si on n'y arrive pas, on atteindra des valeurs de CO<sub>2</sub> beaucoup plus élevées. De toutes les façons, il faudra réduire d'un facteur 3 à 4 les émissions de CO<sub>2</sub> pour stabiliser la concentration en CO<sub>2</sub> et donc le climat. Plus on attend, plus on augmente la quantité de gaz carbonique dans l'atmosphère. Pour stabiliser le climat il n'y a pas d'autres solutions que de réduire les émissions de gaz à effet de serre émises par les activités humaines.



Le rapport du Groupe 3 du GIEC donne des estimations de la température globale pour différentes concentrations de stabilisation.



Plus bas est le niveau de stabilisation de la concentration en gaz à effet de serre, plus limitée est l'augmentation de température ; à l'inverse plus

haut est ce niveau de stabilisation, plus élevée sera la température de la planète. L'objectif actuel est de limiter l'augmentation de température à 2° (par rapport à l'ère préindustrielle). Comme on constate déjà une augmentation de 0,7°, la marge de manœuvre est actuellement de 1,3°. Il faut noter que le groupe 3 considère le réchauffement par rapport à l'époque préindustrielle, tandis que le groupe 1 considère le réchauffement par rapport à l'année 2000. Il faut donc être attentif à l'origine des chiffres avancés. Par ailleurs, le groupe 3 utilise la notion de « CO2 équivalent », c'est à dire une concentration représentant l'ensemble des gaz à effet de serre. Les négociations internationales ont pour objectif de limiter le réchauffement global à +2°C de façon à limiter les effets négatifs du changement climatique. Si on veut stabiliser le climat à +2°C, il ne faudrait pas dépasser un niveau de gaz carbonique (et non un niveau de CO2 équivalent) de 350 à 400 ppm (on est déjà à 390), ainsi que diminuer les émissions dès 2015, et réduire de 50 à 85 % les émissions en 2050. C'est un objectif très ambitieux qui risque d'être difficile à atteindre.

Réduire les émissions  
« mitigation »

Un ensemble d'actions

Augmenter l'efficacité énergétique  
Réduire les pertes  
Transports / bâtiments

Développer énergies renouvelables  
Utiliser le nucléaire  
« capture et séquestration »  
Nouvelles technologies  
Production d'énergie/industriel

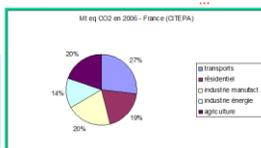
En France :  
« le Grenelle de l'environnement »  
Priorité réduction émissions  
Transports / énergie / bâtiments

S'adapter  
« adaptation »

Dépend de chaque activité  
Nécessite une prise de conscience

Infrastructures  
villes, routes, barrages ...

Secteurs d'activité  
Tourisme, Assurances  
Production d'électricité (barrages ...)



Pour conclure, j'espère vous avoir montré que l'on constate le changement du climat, que ces modifications vont encore s'intensifier et qu'elles seront très rapides (augmentation observée de 0,7° sur le dernier siècle, et de 2 à 4° prévus pour ce siècle), et comme Michel le mentionnait, que ces changements constatés sur quelques années correspondent à ce

qui se passe naturellement en plusieurs milliers d'années. Il reste de nombreuses incertitudes, des incertitudes sur l'amplitude des changements, en particulier à l'échelle régionale, des incertitudes liées aux scénarios économiques (c'est la partie positive des incertitudes qui montre que l'on peut influencer sur le système), des incertitudes liées à la variabilité du climat et des incertitudes liées à la représentation par les modèles. Pour stabiliser le climat, il faut absolument réduire les émissions. Une partie du réchauffement est cependant inévitable, Et il nous faut aussi nous préparer à nous adapter, à vivre sous un climat en pleine évolution.

Merci.