

# Qu'est-ce que le système climatique ?

## **Un ensemble de composantes**

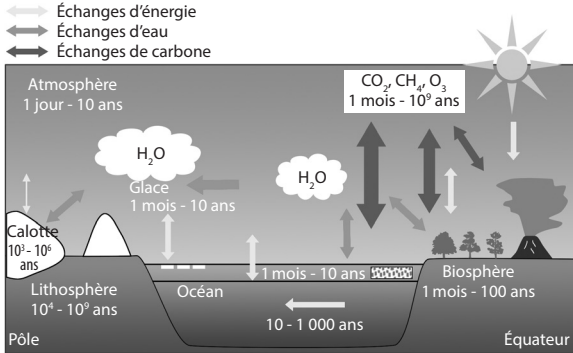
Le système climatique est constitué de cinq composantes : l'atmosphère (couche gazeuse enveloppant la Terre), l'hydrosphère (mers et océans, fleuves et rivières, réservoirs profonds), la cryosphère (glace de mer ou banquise, neige, glaciers continentaux et calottes, sols gelés), la biosphère (organismes vivants) et la lithosphère (croûte terrestre). Ces éléments échangent de l'eau, de l'énergie, des substances minérales et/ou organiques. Leurs interactions sont modulées par les perturbations du bilan radiatif de la planète, que des processus physiques peuvent soit amplifier, soit stabiliser (mécanismes de rétroactions). C'est cet ensemble qui est responsable des fluctuations du climat.

## **Aux propriétés très différentes**

L'atmosphère est la composante rapide du système climatique. Les masses d'air se mélangent à l'échelle planétaire en quelques mois. L'océan de surface interagit avec l'atmosphère à toutes les échelles de temps (du jour à plusieurs dizaines d'années). Les courants marins sont dus à la rotation de la Terre, à la forme géographique des bassins, aux vents, mais aussi à la densité de l'eau de mer, qui dépend de sa température et de sa salinité. Le grand « tapis roulant » océanique (ou circulation thermohaline) assure ainsi en un millier d'années environ les échanges entre les deux hémisphères, et entre la surface et les eaux profondes.



### Le système climatique : du très rapide au très lent



Source : d'après S. Joussaume (1993), in C. Jeandel, R. Mosseri (dir.), *Le climat à découvert*, CNRS Éditions, 2011 (infographie : Elsa Godet).

Lecture : 10<sup>3</sup> = 1 millier, 10<sup>6</sup> = 1 million, etc.

### Quel âge ont les calottes polaires ?

- >>> L'âge moyen de la calotte de glace qui couvre le Groenland est de 40 000 ans, et celle de l'Antarctique d'environ 100 000 ans. Ces glaces se forment lentement par l'accumulation de couches successives de neige, mais peuvent aussi s'écouler rapidement vers l'océan dans certaines conditions. La lithosphère en-dessous de ces calottes est enfoncée par leur poids. Au Canada ou en Scandinavie, elle continue encore aujourd'hui de se soulever, plusieurs milliers d'années après la disparition des calottes de la dernière glaciation !

### Le temps caractéristique

- >>> C'est un ordre de grandeur, qui correspond au temps au bout duquel un nouvel équilibre est atteint en réponse à une perturbation. Il est lié à la nature des processus en jeu : quelques jours pour l'ajustement de l'atmosphère à une augmentation de  $\text{CO}_2$ , mais quelques siècles pour la pénétration de ce  $\text{CO}_2$  dans l'océan profond.

# Quel est l'effet des activités humaines sur le cycle du carbone ?

## Une perturbation très rapide

Sur des millions d'années, la teneur en  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère est régulée par le volcanisme et les processus d'érosion, de dissolution des roches et de sédimentation. Des périodes de concentration élevée en  $\text{CO}_2$ , comme l'Éocène (il y a 50 millions d'années, 1 000 ppm) ou le Pliocène (il y a 3 millions d'années, 400 ppm), avec un climat plus chaud qu'aujourd'hui, alternent avec des périodes à faible teneur en  $\text{CO}_2$  (~180 ppm) pendant les glaciations. Depuis la fin du dernier épisode glaciaire (il y a environ 12 000 ans) et jusqu'au début de la période industrielle (1850), la teneur en  $\text{CO}_2$  a fluctué entre 260 et 280 ppm, reflétant un cycle du carbone quasi stable. Les rejets anthropiques perturbent brutalement cet équilibre : en 2015, la teneur en  $\text{CO}_2$  est de 400 ppm (soit + 40 % en 150 ans).

## Le rôle des puits de carbone

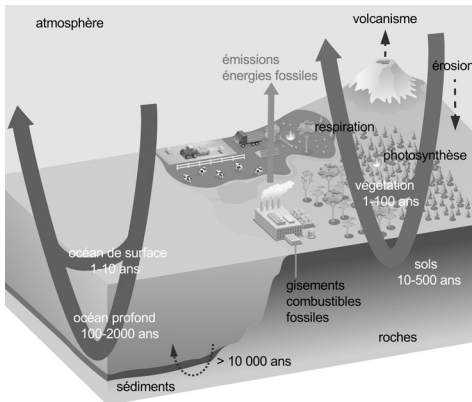
Seule environ la moitié des rejets de  $\text{CO}_2$  contribue à augmenter la concentration atmosphérique, l'autre moitié étant absorbée par les « puits de carbone » océanique et terrestre. Les océans ont ainsi capté environ 30 % des émissions totales depuis le début de l'ère industrielle, ce qui est à l'origine de leur acidification très rapide. Les végétaux (*via* la photosynthèse) et la matière organique des sols en ont stocké environ 25 %. Plus le climat se réchauffera, moins ces puits de carbone seront efficaces.



### Des puits de moins en moins efficaces

»»» L'océan représente le plus grand réservoir de carbone : il en stocke dix fois plus que les sols et la végétation. Il joue donc un rôle déterminant sur la teneur en  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère *via* un ensemble de processus physicochimiques, biologiques, dynamiques et sédimentaires, parfois très lents, qui régulent les échanges. La capacité de stockage de  $\text{CO}_2$  d'un océan froid est plus efficace, comme en témoignent les variations glaciaires-interglaciaires, maintenant ainsi les températures froides. Le puits de carbone océanique, de même que les puits terrestres qui diminuent drastiquement en période de sécheresses et canicules, seront moins efficaces dans un climat plus chaud : entre 15 et 40 % du  $\text{CO}_2$  émis par les activités humaines restera dans l'atmosphère pendant plus de 1 000 ans.

### Cycle global du carbone et temps de transfert entre les principaux réservoirs



© Adaptée de Giec, 5<sup>e</sup> rapport.

## 2 ou 5 °C de plus : quelles conséquences ?

### **La trajectoire actuelle**

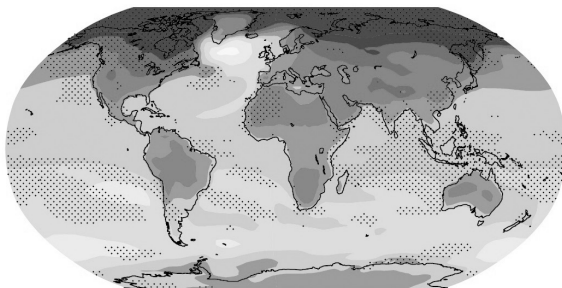
Si les émissions mondiales de GES continuent à augmenter au cours du  $\text{xxi}^{\text{e}}$  siècle au rythme d'aujourd'hui (RCP8.5), il faut s'attendre à 5 °C ( $\pm 1$  °C) de réchauffement global d'ici à 2100 par rapport au début de l'ère industrielle. Ce serait autant qu'entre un climat glaciaire et le climat actuel, mais 10 à 30 fois plus rapide. Ces chiffres masquent de grandes disparités régionales, avec des changements beaucoup plus importants dans certaines zones (Arctique, pourtour méditerranéen en été, etc.). Les isothermes (lignes d'égale température) se déplaceraient alors vers le nord (80 km par décennie en plaine) à une vitesse excédant les capacités de mobilité de nombreuses espèces (plantes, rongeurs...). La montée du niveau de la mer s'accélérerait pour atteindre 75 cm ( $\pm 20$  cm) d'ici à 2100.

### **Le scénario minimum**

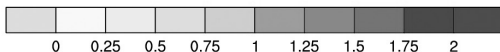
Si les émissions de GES atteignent un pic d'ici 2030 puis diminuent fortement (RCP2.6), le réchauffement suivra le même rythme qu'à la fin du  $\text{xx}^{\text{e}}$  siècle jusqu'en 2050, puis se stabilisera : il demeurera en-deçà du seuil de 2 °C ( $\pm 0,5$  °C). Il serait possible de s'adapter aux changements modérés du cycle de l'eau et des événements extrêmes. Les isothermes se déplaceraient à une vitesse compatible avec celle de beaucoup d'espèces. Même si la hausse des températures est stabilisée, le niveau de la mer continuera à monter (40 cm,  $\pm 10$  cm).

### L'hémisphère nord se réchauffe beaucoup plus vite

2081-2100



°C par °C de changement global



© Giec, 5<sup>e</sup> rapport.

>>> 1 °C de réchauffement en moyenne globale à la fin du <sup>xxi</sup>e siècle correspond à une hausse comprise entre 1,25 et 1,5 °C sur les continents de l'hémisphère nord et à plus de 2 °C dans les régions arctiques. Le réchauffement est plus faible sur les océans, en particulier dans l'hémisphère sud. L'Atlantique nord (entre Islande et Terre-Neuve) se réchauffe peu en surface car la dynamique océanique (circulation thermohaline) qui transporte naturellement de la chaleur des tropiques vers les hautes latitudes diminue, et parce que la chaleur de surface tend à pénétrer plus facilement en profondeur dans ces zones. Cette carte en moyenne annuelle masque des contrastes saisonniers importants, comme en Europe où le réchauffement est beaucoup plus marqué en été qu'en hiver. En Arctique, le réchauffement moyen de 5 °C masque des effets saisonniers considérables (localement + 10 à + 15 °C en hiver).

# Pourquoi faut-il agir maintenant ?

## **L'inertie du système climatique**

Le système climatique, tel un paquebot en mouvement, est d'une considérable inertie. Celle-ci s'explique, en partie, par le temps de résidence du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Ainsi, l'accroissement de la température globale ou l'acidification des océans observés aujourd'hui sont des réponses au cumul des rejets anthropiques depuis le début de l'ère industrielle, et non aux seules émissions actuelles.

## **Les émissions d'aujourd'hui pour le climat de demain**

Stabiliser la hausse de la température globale à + 2 °C en 2100 par rapport au climat préindustriel (en conformité avec les traités internationaux) implique de limiter les rejets futurs de CO<sub>2</sub> à environ 1 000 milliards de tonnes. Au rythme actuel, ce seuil sera atteint dans une trentaine d'années ! Des mesures d'atténuation sont donc indispensables dès aujourd'hui, parallèlement à des actions d'adaptation aux changements en cours.

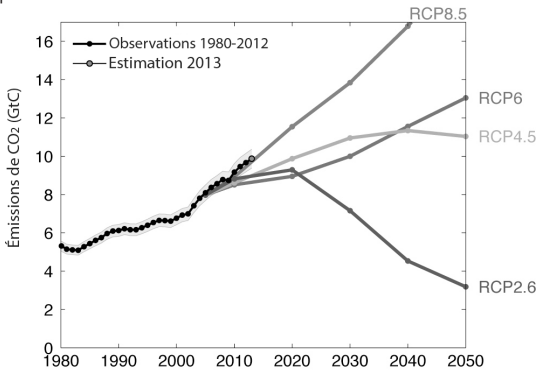
## **Des puits de carbone moins efficaces**

Seule la moitié des émissions de carbone s'accumule dans l'atmosphère, l'autre moitié étant absorbée par les puits naturels que constituent l'océan et la biosphère terrestre. Ces puits dépendent de l'état du climat, et leur efficacité sera amoindrie en climat plus chaud, contribuant à réchauffer encore davantage la température.



### Les émissions actuelles comparées aux divers scénarios

» » » Les différents scénarios ont été élaborés en 2005. On peut donc les comparer avec la trajectoire effective des émissions des derniers 10 ans. En dépit des effets ponctuels de la crise économique mondiale observés en 2009, les émissions récentes de CO<sub>2</sub> (petits ronds) suivent le scénario de poursuite des rejets (RCP 8.5) conduisant à une hausse de la température globale de 5 °C (± 1 °C) d'ici 2100. Elles s'écartent du scénario d'atténuation (RCP 2.6) qui correspond à la cible + 2 °C.



Source : adaptée de Global Carbon Project.

### Vrai ou faux? Stabiliser les émissions suffirait à stabiliser le CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère

» » » **Faux.** Cette assertion repose sur une confusion entre concentration et émission. Une stabilisation de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> impliquerait une compensation totale des émissions par l'absorption des puits de carbone, ce qui est évidemment impossible. Stabiliser la concentration de CO<sub>2</sub> ne peut se faire à terme qu'en mettant fin à toutes les émissions anthropiques.