

# THEME 1 : SCIENCES, CLIMAT, SOCIETE

## CHAPITRE 2 : LA COMPLEXITE DU SYSTEME CLIMATIQUE

Evolution des anomalies de températures mondiales entre 1880 et 2018 = écarts entre la T°C mesurée et la moyenne des T°C mesurées sur une période de 30 ans

Podcast de l'émission « Les idées claires » de France culture 28/07/2019

L'évolution actuelle du climat terrestre et les scénarios envisagés pour les années futures sont aujourd'hui devenus des enjeux majeurs, comme en témoignent leur place dans les débats politiques et les colloques nationaux à mondiaux. Pour autant, certains responsables et une partie de la population réfutent l'urgence de la prise de décisions autour du climat. Mais le climat, c'est quoi exactement ? Le climat terrestre a-t-il déjà varié ?

**Problématique : Comment déterminer les variations climatiques passées et expliquer les variations climatiques actuelles ?**

**Objectif du chapitre :** Trouver des indices des variations climatiques passées. Trouver des preuves du réchauffement climatique actuel. Trouver quels facteurs agissent sur le système climatique et son évolution dans le temps.

### I. CLIMATOLOGIE ET METEOROLOGIE

Activité 1. Question 1 à 4 p 43

<p>1. Les données atmosphériques sont en 1<sup>ère</sup> approche les mêmes : température et pression atmosphérique, précipitation et nébulosité. La différence repose surtout sur le traitement de ces données : elles sont utilisées brute sur de faibles échelles de temps et d'espace pour la météo, tandis que la climatologie fait des moyennes (par ex T°C) et des sommes (quantité d'eau précipitée par ex) sur de plus grandes échelles spatiales et temporelles (années, pays...).</p> <p>2. Dans le doc 2., l'utilisation de données ponctuelles donne l'impression qu'il fait plus chaud à Paris qu'à Marseille. Ce qui est vrai ce jour et à cette heure-là ! Pour pouvoir affirmer que ce n'est pas vrai en général, il est nécessaire de calculer une moyenne dans les mêmes conditions. Les grandeurs obtenues sont alors comparables et ont une portée générale.</p> <p>3. Si on utilise les moyennes des températures du 16/10 de 1900 à 2020 dans ces 2 villes, on se rend compte qu'il fait en moyenne plus chaud à Marseille le 16/10 qu'à Paris. Toutefois il est possible que ponctuellement ce soit l'inverse comme le 16/10/19 ; cela ne remet pas en cause la comparaison des moyennes sur de longues périodes de temps.</p> <p>4. « Le temps qu'il fait ici et maintenant relève de la météorologie. Qu'il pleuve ou non, qu'il fasse chaud ou froid tout de suite ne nous indique pas si l'année sera plus chaude que la précédente ou non. Il faut pour cela avoir les moyennes sur l'année, ce qui relève de la climatologie. »</p> <p>"The weather here and now is a meteorological matter. Whether it's raining or not, whether it's hot or cold right now doesn't tell us whether the year will be warmer than the last or not. This requires having the averages over the year, which is a matter of climatology"</p>	<p><b>Compétences travaillées</b> C3.3 Rechercher et organiser des informations</p> <p><b>Savoir-faire</b> Distinguer sur un doc des données relevant du climat et de la météo Identifier des tendances d'évolution de la température sur plusieurs échelles de temps à partir de graphiques</p>
---	--

- La météorologie mesure les **grandeurs atmosphériques** à un instant donné et prévoit leur évolution pour les prochains jours. La météorologie étudie donc des phénomènes atmosphériques sur un court terme et très localement.
- La climatologie définit les climats en utilisant les moyennes des grandeurs atmosphériques mesurées sur une longue période (30 ans en général) et sur une région donnée. Elle étudie les variations passées et futures du climat local ou global à long terme (décennies, siècles, millénaires, etc.).
- La température moyenne du globe terrestre étant un indicateur majeur du climat global. Il en existe d'autres comme le volume des océans, l'étendue des glaciers (continentaux) et des glaces océaniques.

### II. LES VARIATIONS CLIMATIQUES

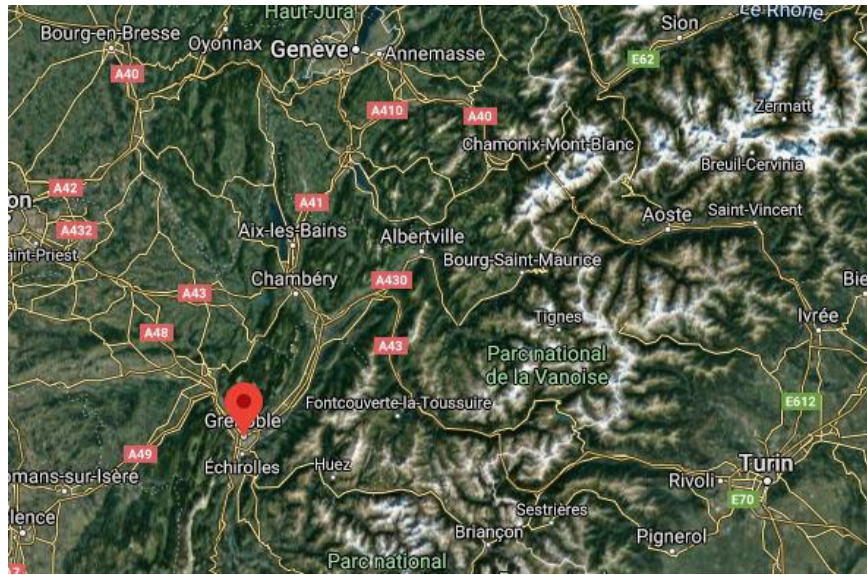
#### A. Des variations climatiques anciennes et naturelles

Activité 2. Partie 1 : Les indices des variations climatiques passées

<p>1. Le 1<sup>er</sup> échantillon contient des grains de pollen de pin, le 2<sup>ème</sup> d'aulne et de noisetier</p> <p>2. D'après le doc 1, les pins et les aulnes se développent plutôt dans un climat sec avec des hivers froids et longs.</p> <p>3. Il y a <b>5 000 à 10 000 ans</b>, la végétation dominante en Corse était formée d'aulnes glutineux et de pins laricio, ce qui traduit, d'après le document 4, <b>des étés courts et peu chauds et des hivers froids et longs</b>, le tout dans un <b>climat plutôt sec</b>. Il y a <b>2 700 à 5 000 ans</b>, la végétation a changé avec l'apparition de chênes verts et de bouleaux qui sont devenus majoritaires, ce qui indique un <b>réchauffement du climat avec des précipitations plus abondantes l'été</b>. <b>Depuis 2 700 ans</b>, le climat est à peu près le même en Corse, sauf récemment, où les bouleaux semblent moins nombreux au profit du chêne vert et du pin laricio, ce qui pourrait indiquer <b>un climat plus sec</b> dans cette région.</p>	<p><b>Compétences travaillées</b> C3.3 Exploiter des documents C2.2 Mettre en œuvre un protocole</p>
--	--

4. Chaque espèce végétale se développe dans des conditions climatiques particulières. Par exemple, certaines espèces comme le hêtre ne vivent que dans des régions avec des saisons contrastées et des pluies importantes l'été. Ainsi, les pollens découverts dans une région permettent d'identifier les espèces qui y vivent et donc de déterminer le climat qui règne dans cette zone. L'analyse d'échantillons d'anciennes associations de pollen permet donc de reconstituer le climat qui régnait à l'époque dans la région, conformément au principe d'actualisme.

5. La reconstitutions des glaciers alpins il y a environ 20 000 ans repose sur l'étude des indices laissés dans le paysage par ces glaciers. La présence d'une vallée glaciaire et de moraines indiquent, même s'il n'y a plus de glace, qu'un glacier fut présent. En réalisant une étude de ces indices glaciaires à l'échelle régionale, il est possible de reconstituer l'extension des



anciens glaciers. On constate que les glaciers englobaient les sites actuels des villes de Genève, de Berne et de Grenoble et atteignaient presque la ville de Lyon. Ils couvraient quasi totalement le massif des Alpes suggérant un climat particulièrement froid.

6. D'après la photo satellite disponible sur Google Maps, on constate que les parties blanches (neiges éternelles et glaciers) sont limitées aux plus hauts sommets et ont un recouvrement de la région alpine bien moindre que sur la reconstitution du doc. 4. Cela confirme qu'entre -20 000 ans et aujourd'hui, le climat régional s'est réchauffé.

C1.3  
Observer au microscope

**Savoir-faire**  
Identifier des traces géologiques de variations climatiques passées

Différents types d'indices géologiques (comme les traces des anciens glaciers ou l'étude des grains de pollens fossiles) permettent de reconstituer les variations climatiques passées et d'observer que le climat de la Terre présente une variabilité naturelle sur différentes échelles de temps (de la centaine d'années à la centaine de millions d'années).

## B. Des variations récentes et rapides

### Activité 2. Partie 2 : Les preuves du changement climatique actuel

5. Calcul des variations moyennes du niveau marin entre 1900 et 1990 (notée  $Hm_{1900-1990}$ ) puis entre 1990 et 2010 (notée  $Hm_{1990-2010}$ )

$$Hm_{1900-1990} = \frac{-0,02 - (-0,15)}{1990 - 1900}$$

$$Hm_{1900-1990} = 1,4 \times 10^{-3} \text{ m/an soit } 1,4 \text{ mm par an}$$

$$Hm_{1990-2010} = \frac{0,04 - (-0,02)}{2010 - 1990}$$

$$Hm_{1990-2010} = 3 \times 10^{-3} \text{ m/an soit } 3 \text{ mm par an.}$$

Le niveau marin monte donc deux fois plus rapidement depuis 20 ans que depuis le siècle dernier.

6. Entre 1942 et 2006, le glacier de Jakobshavn a reculé de près de 16,5 km, d'après l'échelle. La fonte est plus élevée que la formation de glace, donc les températures sont globalement plus chaudes depuis 1942. De même, le document 7 montre une diminution de l'épaisseur du permafrost de près de 50 cm en 20 ans. Cette fonte traduit bien un réchauffement climatique dans ces régions de l'hémisphère nord. L'ensemble de ces données sont des indices d'un réchauffement climatique global qui concerne au moins tout l'hémisphère nord.

**Compétences travaillées**  
C3.3 Exploiter des documents

De nombreux témoins (mesures de la température par les stations ou les satellites, mesures de la proportion de CO<sub>2</sub>, du niveau des océans, de l'étendue des glaces et des glaciers, observations des dates des vendanges, etc.) montrent que jamais dans l'histoire du climat, la proportion de CO<sub>2</sub> atmosphérique et la température n'ont augmenté aussi rapidement qu'actuellement.

### III. L'ORIGINE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ACTUEL

#### A. Forçage radiatif positif et réchauffement climatique récent

##### Activité 3. L'origine du changement climatique actuel

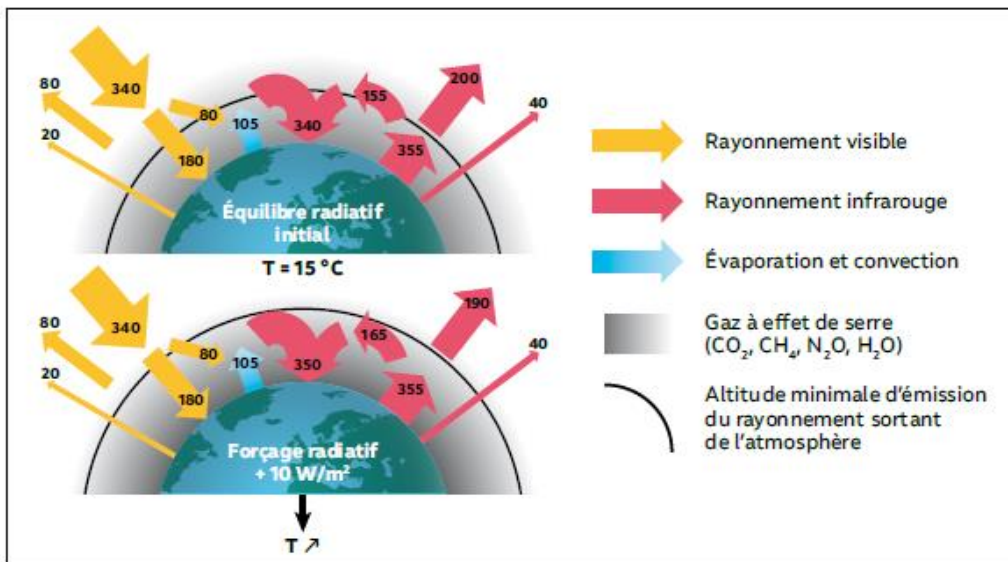
1. Étant donnée la corrélation forte entre les rejets de dioxyde de carbone et le PIB par habitant, on peut supposer que le changement climatique actuel est dû au développement économique et à l'accroissement de la population humaine.
2. Les principaux gaz à effet de serre sont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane et le protoxyde d'azote. Les gaz à effet de serre peuvent être identifiés par leur spectre d'absorption dans le domaine des infrarouges. Les molécules absorbant les IR le font par l'intermédiaire de vibrations. Celles-ci sont responsables d'une émission IR secondaire dans toutes les directions.
3. En raison de l'augmentation de la concentration en GES, l'émission d'IR secondaire est davantage absorbée. L'altitude à partir de laquelle elle sort du système Terre augmente. Or la température de l'atmosphère diminue avec l'altitude, donc la puissance rayonnée sortante diminue : on parle alors de forçage radiatif lié aux activités humaines
4. Les relevés de température montrent qu'elle a augmenté d'environ 0,6 °C en moyenne depuis l'ère préindustrielle. Cette hausse des températures ne peut s'expliquer que par un forçage radiatif positif. En réponse à ce forçage, la température atmosphérique augmente jusqu'à ce que l'émission infrarouge vers l'extérieur retrouve la valeur d'équilibre de  $200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ .

##### Compétences travaillées

C3.3 Exploiter des documents  
C4.1 Rédiger une argumentation scientifique  
C3.4 Coopérer et collaborer

##### Savoir-faire

Déterminer la capacité d'un gaz à influencer l'effet de serre atmosphérique à partir de son spectre d'absorption des ondes électromagnétiques.



▲ Proposition de correction pour le schéma illustrant le forçage radiatif de  $10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$

Depuis un siècle et demi, on mesure un réchauffement climatique global (environ  $+1 \text{ °C}$ ). Celui-ci est la réponse du **système climatique** à l'augmentation du **forçage radiatif** due à la hausse brutale de la proportion de **gaz à effet de serre (GES)** dans l'atmosphère depuis le début de l'ère industrielle.

Les principaux GES présents dans l'atmosphère terrestre sont :  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  et  $\text{N}_2\text{O}$ . La proportion de vapeur d'eau dans l'atmosphère étant relativement stable, l'augmentation du forçage radiatif provient de la hausse de la concentration des trois autres principaux GES.

L'atmosphère absorbe l'intégralité du **rayonnement infrarouge** émis par la surface de la Terre et le réémet dans toutes les directions. Lorsque la concentration des GES augmente, le rayonnement infrarouge émis par l'atmosphère est davantage absorbé. Le rayonnement infrarouge sortant de l'atmosphère est alors émis à une altitude plus élevée et donc une température plus faible

Ceci entraîne une diminution de la puissance rayonnée par la Terre vers l'extérieur. En retour, il en résulte une augmentation de la puissance radiative reçue par le sol de la part de l'atmosphère.

Cette puissance additionnelle entraîne une perturbation de l'équilibre radiatif qui existait à l'ère préindustrielle, se traduisant, entre autres, par une augmentation de la température atmosphérique.

## B. Des rétroactions sur le climat

### Activité 4. Le stockage de la puissance additionnelle

#### Équipe 1

1. La fonte de la banquise est modélisée par l'expérience 1 au cours de laquelle les glaçons fondent dans l'eau liquide. La fonte des glaces continentales est modélisée par l'expérience 2 au cours de laquelle les glaçons fondent séparément.
2. La fonte de la banquise ne fait pas élever le niveau des mers. La fonte des glaciers continentaux si.
3. La masse totale perdue par les glaciers est de 9 625 Gt, qui se retrouve dans la mer. En considérant une masse volumique de l'eau liquide de  $1,0 \text{ t}\cdot\text{m}^{-3}$ , on en déduit le volume supplémentaire d'eau dans les océans :  $V = 9,6 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$ .
4. On en déduit la valeur de l'élévation du niveau des mers (dans la limite des faibles épaisseurs) :  $V = e \times S$  donc  $e = V / S = 9,6 \cdot 10^{12} \text{ m}^3 / 361 \cdot 10^{12} \text{ m}^2 = 0,027 = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}$  soit 2,7 cm.

#### Équipe 2

1. Par rapport à 1970, la température des océans avait augmenté de  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  en 2012.
2. L'épaisseur d'eau concernée par la hausse des températures est de 200 m.
3. L'énergie totale stockée dans les océans par cette couche est : (sachant que  $\rho = M/V$ ) et  $\rho$  eau liquide =  $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$   
 $E = mc\Delta T = \rho V c \Delta T = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3} \times 200 \text{ m} \times 361 \cdot 10^{12} \text{ m}^2 \times 4,18 \cdot 10^3 \text{ J}\cdot\text{t}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1} \times 0,5^\circ\text{C}$   
 $E = 1,5 \cdot 10^{23} \text{ J}$
4. La valeur moyenne d'énergie stockée par les eaux de surface indiquée dans le graphique 6 est d'environ  $170 \times 10^{21}$  soit  $1,7 \cdot 10^{23} \text{ J}$  stockée dans la zone supérieure des océans avec une incertitude de  $\pm 50 \times 10^{21} \text{ J}$  soit  $0,5 \times 10^{23}$ . Ainsi, le résultat obtenu est dans l'incertitude, validant ainsi le principe du calcul effectué.
5. En considérant une élévation de température de  $0,52 \text{ }^\circ\text{C}$  par rapport à 1970, on obtient une élévation :  
 $\text{él} = \beta \Delta T V / S = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \times 0,52 \text{ }^\circ\text{C} \times 200 \text{ m} = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ .

#### Compétences travaillées

C3.3 Exploiter des documents  
C4.1 Rédiger une argumentation scientifique  
C3.4 Coopérer et collaborer

#### Savoir-faire

Réaliser et interpréter une expérience simple, mettant en évidence la différence d'impact entre la fusion des glaces continentales et des glaces de mer.

Estimer la variation du volume de l'océan associée à une variation de température donnée, en supposant cette variation limitée à une couche superficielle d'épaisseur donnée.

Identifier les relations de causalité (actions et rétroactions) qui sous-tendent la dynamique d'un système.

L'énergie supplémentaire associée à l'augmentation du forçage radiatif est essentiellement stockée par les océans (provoquant leur dilatation thermique), mais également par l'air et les sols (fonte des glaces, réchauffement des sols). Il en résulte une montée du niveau des océans due pour moitié à la dilatation thermique et pour moitié à la fonte des glaces continentales.

### Activité 5. Les rétroactions climatiques (TP évalué à rendre !!!)

#### Simulations rétroactions SimClimat

Différents mécanismes sont qualifiés d'amplificateurs car leurs effets amplifient la tendance de l'évolution climatique actuelle :

- Fonte des glaces, diminuant ainsi l'albédo terrestre et donc la puissance solaire réfléchie et diffusée vers l'espace, ce qui contribue à augmenter encore davantage la température ; on parle de **rétroaction positive de l'albédo** ;

- l'augmentation de la concentration de vapeur d'eau pouvant être contenue dans l'atmosphère, ce qui augmente potentiellement le forçage radiatif provoquant l'augmentation de la température ; on parle de **rétroaction positive de la vapeur d'eau** ;

- fonte du permafrost, libérant des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, ce qui augmente encore le forçage radiatif donc la température à la surface, constituant **une rétroaction positive supplémentaire**.

Au contraire, comme les végétaux en croissance consomment plus de  $\text{CO}_2$  qu'ils n'en émettent, à court terme, un accroissement de la végétalisation constituerait un puits de  $\text{CO}_2$  et aurait donc un effet stabilisateur sur l'évolution de la température terrestre : c'est **une rétroaction négative**.

Enfin, l'océan, de par sa capacité thermique, a un rôle amortisseur en absorbant à sa surface une fraction importante de l'apport additionnel d'énergie. Cependant cette accumulation d'énergie dans les océans rend le changement climatique irréversible à des échelles de temps de plusieurs siècles.

[C'est quoi le GIEC?](#)

[Mais que fait l'ONU ?](#)

[Bilan vidéo :](#)

**Schéma bilan p 53**

**Exercices pour s'entraîner avant l'évaluation p 54 à 61**

**Les mots-clés du chapitre :**

**Grandeurs atmosphériques** : paramètres étudiés en météorologie et en climatologie tels que la température, la pression, le degré d'hygrométrie, la pluviométrie, la nébulosité, la vitesse et la direction des vents, etc.

**Système climatique** : ensemble des interactions entre différentes composantes terrestres (atmosphère, océan, cryosphère, continent et biosphère) contrôlant le climat.

**Forçage radiatif** : différence entre la puissance reçue au sommet de l'atmosphère et la puissance sortant du système Terre, émise ou réfléchi par celui-ci.

**Gaz à effet de serre** : espèce chimique absorbant le rayonnement infrarouge, présente sous forme gazeuse dans l'atmosphère terrestre.

**Rayonnement infrarouge** : rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde est supérieure à 800 nm et inférieure à 100  $\mu\text{m}$ .