

Activité 4: Les relations CO₂ / climat

Il existe une corrélation positive entre la température d'équilibre de la terre et la teneur en CO₂ (et CH₄) de l'atmosphère. Les augmentations de températures sont corrélées à des augmentations de la teneur atmosphérique en CO₂ (et CH₄). [livre p.86-87]

Comment expliquer la corrélation entre les variations de la teneur en CO₂ atmosphérique et les variations de la température d'équilibre de la planète ?

Deux relations hypothétiques peuvent être déduites de cette corrélation:

- (1) les variations de températures induiraient les variations de la teneur en CO₂.
- (2) les variations de la teneur en CO₂ induiraient les variations de la température.

I: Exploiter les documents 3 à 6 pour éprouver la validité de chacune des deux hypothèses.

II: Exploiter les documents 1 et 2 de la fiche documents, et le document 5 page 99 pour expliquer le mécanisme de l'effet de serre. Montrer qu'en présence d'une atmosphère avec CO₂, le flux total reçu et le flux total ré-émis par la surface de la terre obéissent tous deux à une série géométrique de raison $q = 1/2$. Compléter les schémas explicatifs ci dessous.

Conclusion: Discuter de la validité des deux hypothèses. Montrer que le CO₂ amplifie les variations climatiques selon un mécanisme de rétroaction positive. Réaliser un schéma explicatif de ce mécanisme de rétroaction positive lors d'un refroidissement climatique, et lors d'un réchauffement climatique.

Schéma de la situation d'équilibre thermique sans CO₂

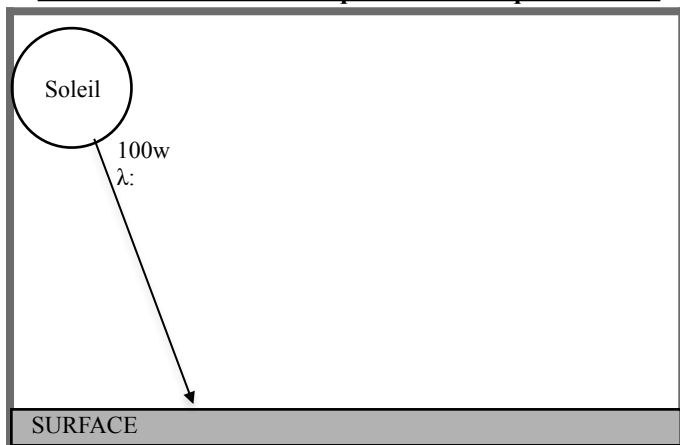
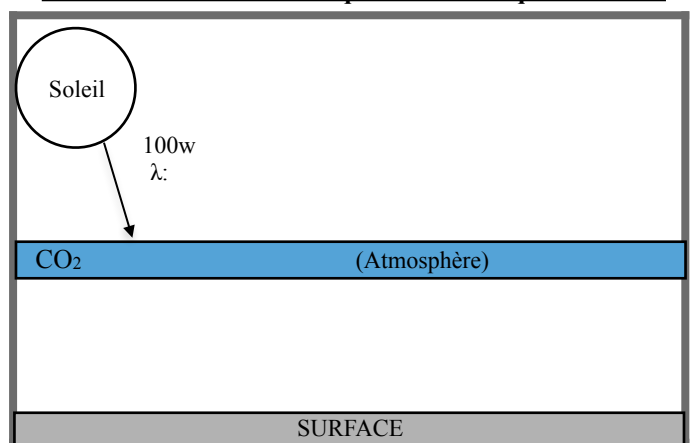


Schéma de la situation d'équilibre thermique avec CO₂



Consigne: Représenter par une ou des flèches rouges le ou les rayonnements (ré-)émis de manière à établir l'équilibre thermique pour expliquer les résultats obtenus (doc5). Préciser la nature et l'intensité du ou des rayonnements (ré-)émis.

Document 1: Les interactions rayonnement / matière

Le rayonnement électromagnétique correspond à l'ensemble des radiations émises par une source sous forme d'ondes électromagnétiques ou de particules.

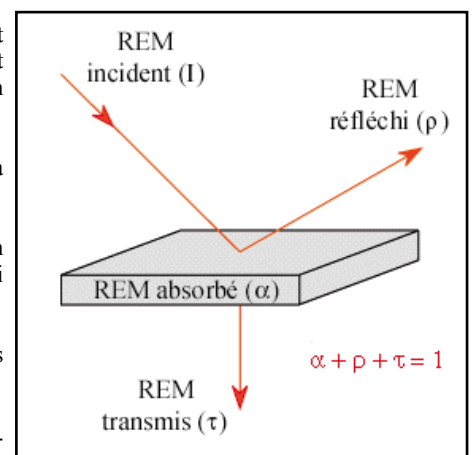
Lorsqu'un rayonnement électromagnétique atteint un objet, certaines longueurs d'onde sont absorbées tandis que d'autres sont réfléchies par l'objet. Une partie du rayonnement peut éventuellement être transmise à travers l'objet si celui-ci est plus ou moins transparent, avec un changement de direction de la propagation dû à la réfraction.

La partie du rayonnement qui est absorbée modifie l'énergie interne de l'objet et produit de la chaleur qui sera ré-émise sous forme d'un rayonnement à une plus grande longueur d'onde.

Ainsi, lorsqu'une molécule de gaz absorbe un photon infra-rouge, elle s'échauffe et ré-émet à son tour un photon dont la longueur d'onde dépend de la température de la molécule de gaz (selon la loi de Wien les molécules de gaz atmosphériques ré-émettent dans l'infra-rouge).

Cette ré-émission se faisant dans une direction aléatoire, la moitié des photons sont ré-émis vers l'espace, l'autre moitié des photons sont ré-émis vers la surface de la planète.

À l'équilibre thermique, l'intensité du rayonnement absorbé est égale à l'intensité du rayonnement ré-émis.



D'après UVED Université Paris 1 (Modifié)

Document 2: La notion de corps noir

Toute substance, quelle que soit sa température, émet de la lumière, sauf à 0°K. Le fait que les corps chauds émettent de la lumière visible et les corps froids de l'infrarouge indique qu'il existe une relation entre longueur d'onde émise et température.

En examinant le rayonnement émis par un objet, on peut donc déterminer la température de l'objet émetteur. Dans le noir, le rayonnement émis par les objets à température ambiante se situe dans l'infrarouge et est donc invisible. Ce n'est qu'à partir de la température d'une plaque chauffante électrique (700°C) que l'on commence à apercevoir une émission de lumière dans la partie rouge du spectre visible.

Pour décrire les caractéristiques du rayonnement émis par un objet à une température T (énergie rayonnée), on doit s'assurer que la lumière ambiante réfléchie par l'objet ne vienne pas s'ajouter à celle émise par l'objet en raison de sa température. Pour cela, on considère un objet qui absorbe parfaitement, sans réflexion, toute la lumière incidente. Les astronomes appellent un tel objet corps noir. L'adjectif noir se rapporte à la capacité de l'objet à absorber complètement la lumière incidente. La meilleure approximation d'un corps noir est un objet recouvert d'une épaisse couche de noir de fumée ! L'énergie apportée par la lumière incidente va contribuer à amener le corps noir à la température T et étant intégralement absorbée, cette énergie incidente ne se mélange pas avec l'énergie rayonnée.

La plupart des corps étudiés en astronomie sont considérés en première approximation comme des corps noirs. Ils émettent de la lumière autour d'une longueur d'onde privilégiée. Le spectre d'émission d'un corps noir est en forme de cloche. La longueur d'onde privilégiée L (en m) émise par un corps noir est liée à la température par la loi de Wien, 1893 :

$$L = 2,898 \times 10^{-3} / T \quad (\text{Avec } L \text{ en mètres, et } T \text{ en kelvin})$$

Plus la température du corps noir est élevée, plus la longueur d'onde du pic d'émissivité est faible. En considérant les étoiles comme des corps noirs presque parfaits, on peut calculer leur température de surface à partir du spectre d'émission.

- Pour le Soleil, le pic d'émissivité se situe à une longueur d'onde correspondant à 0,5 microns, l'émission se situant entre 0,1 et 7 microns. D'après la loi de Wien, on en déduit une température de surface de 5800°K. Le Soleil émet donc surtout dans le vert mais aussi dans des longueurs d'onde plus courtes et plus longues. Les couleurs étant assez bien représentées, notre œil perçoit le Soleil comme un astre blanc.
- De la même manière, la température de surface de la Terre étant de 288°K, on en déduit que l'essentiel du rayonnement tellurique se fait dans l'infrarouge (avec un maximum d'émission vers 10 micromètres).

D'après www.planet-terre.ens-lyon.fr - Pierre Thomas - (Modifié)

Document 3: Les principaux réservoirs de carbone sur terre

Le carbone est présent sous différentes formes dans les enveloppes terrestres. Ces réservoirs renferment des quantités variables de carbone. Ils sont au nombre de quatre : L'atmosphère - La biosphère - La lithosphère - L'hydrosphère

L'atmosphère est une enveloppe de gaz et de poussières microscopiques qui entoure la Terre. Le carbone y est présent sous forme de gaz. La teneur de l'atmosphère terrestre en dioxyde de carbone est très faible. Les 770 Gt qui s'y trouvent ne représentent que 0,035% de la masse totale.

La biosphère est l'ensemble des êtres vivants qui peuplent la surface du globe terrestre. Dans ce réservoir, le carbone se trouve dans la matière organique (protides, lipides et glucides). Elle représente environ 550 Gt de carbone. On trouve également 2600 Gt de carbone dans les sols et détritiques issus de l'activité des êtres vivants.

La lithosphère désigne l'enveloppe solide de la Terre constituée par la croûte et le manteau supérieur et divisée en plusieurs plaques qui se déplacent les unes par rapport aux autres. Le carbone est emprisonné dans les roches de calcaires (carbonates de calcium: CaCO_3) qui représente 120000000 Gt, et dans les roches carbonées (pétrole, charbon et gaz) qui représente 27000 Gt.h

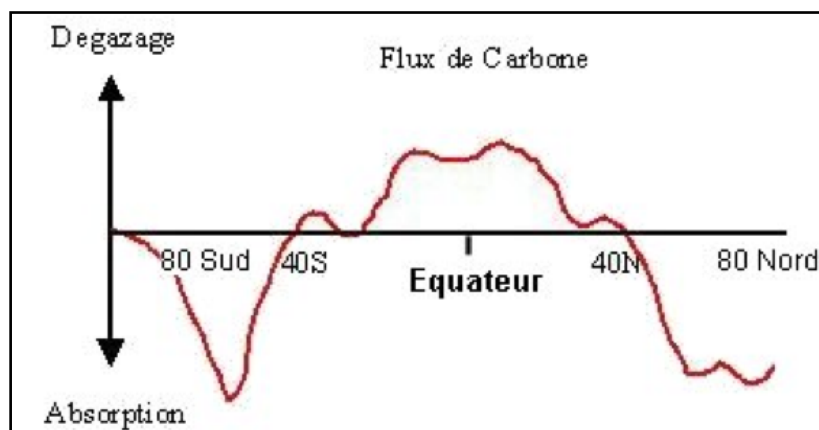
La lithosphère est le réservoir de carbone le plus important qui stock 99,9% du carbone terrestre, essentiellement dans les roches carbonatées (calcaire).

L'hydrosphère est l'enveloppe externe qui regroupe l'eau sous ses états liquide, solide ou gazeux. L'océan est capable d'emmagasiner une grande quantité de carbone et de le mettre à l'abri de l'atmosphère durant plusieurs siècles: c'est un puits de carbone pour le CO_2 rejeté par l'homme. Le carbone est présent dans ce réservoir sous plusieurs formes minérales: CO_2 dissous, ions hydrogénocarbonates HCO_3^- (forme principale) et carbonates CO_3^{2-} . Ce réservoir représente un total de 39000 Gt de carbone.

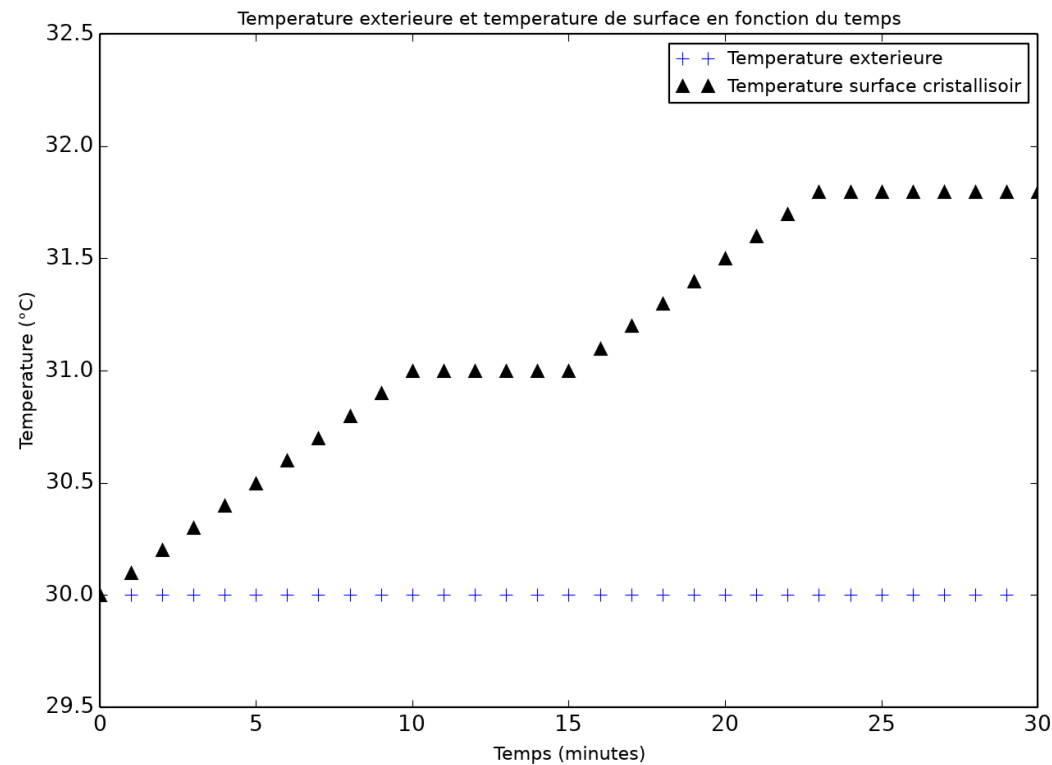
D'après http://www.svt.ac-versailles.fr/IMG/pdf/Objectif_CO2_poster_galilee.ppt

Document 4: Flux de carbone (sous forme de CO_2) entre l'océan et l'atmosphère en fonction de la latitude

Document modifié d'après Laurent Bopp; Fonctionnement des puits biosphériques et océaniques.



Document 5: Une modélisation analogique de l'effet de serre



Un cristallinoir dont le fond est recouvert de Canson noir [surface assimilée à un corps noir] est placé à t0 sous un spot lumineux (distance fixe durant toute l'expérience).

On mesure la température extérieure au cristallinoir, et la température de surface dans le cristallinoir au cours du temps. 15 minutes après le début des mesures, on ajoute du CO₂ dans le cristallinoir, et on maintient sa concentration constante durant les 15 dernières minutes de l'expérience.

Document 6: Une modélisation du système hydrosphère - atmosphère

Une enceinte hermétique, à moitié remplie d'eau, est placée dans un bain Marie. On installe une sonde à CO₂ dans la partie liquide de l'enceinte de manière à mesurer la concentration en CO₂ dissous en fonction de la température de l'eau que l'on fait varier durant l'expérience. Les résultats sont indiqués ci dessous.

