scienceinfuse

ANTENNE DE FORMATION ET DE PROMOTION DU SECTEUR SCIENCES & TECHNOLOGIES

DOSSIER ENSEIGNANT

Interdisciplinaire

Les changements climatiques

Avec la participation de Philippe Marbaix du Centre de Recherche sur la Terre et le Climat Georges Lemaître de l'UCL

UCL **Scienceinfuse** - Antenne de formation et de promotion du secteur sciences & technologies
rue des Wallons 72 L6.02.01 - 1348 Louvain-la-Neuve

Introduction

L'objectif des manipulations reprises dans ce dossier est de permettre à vos élèves de mieux appréhender les phénomènes liés aux changements climatiques. Fonte des glaces, effet de serre, augmentation du niveau des mers, etc. , autant de faits fortement médiatisés qui ne sont pourtant pas toujours clairs dans l'esprit de chacun, surtout quand il s'agit de définir un lien avec les changements climatiques.

Pour vous aider à travailler ce thème en classe, nous avons mis en place différentes fiches d'expériences. Celles-ci peuvent être utilisées de manière indépendante en fonction de vos besoins et du niveau de vos élèves, vous pourrez choisir celles qui vous seront le plus utile.

Vous trouverez dans ce kit :

- la liste du matériel et des réactifs nécessaires à la réalisation des expériences;
- une liste de ressources disponibles afin d'agrémenter votre cours sur ce thème (vidéos, kits, liens internet, etc.);
- les fiches élève (à photocopier et à distribuer à vos élèves) ;
- les fiches enseignant (expliquant le phénomène et le lien avec les changements climatiques).

Matériel et réactifs

Vous trouverez à la page suivante, la liste du matériel et des réactifs nécessaires à la réalisation de l'ensemble des fiches expérience. Si votre école ne dispose pas du matériel nécessaire, celui-ci peut être emprunté à Scienceinfuse (en réservant au 010/473975 ou par mail à scienceinfuse@uclouvain.be).

Fiche 1

- 1 ernlenmeyer avec bouchon percé
- 1 pipette graduée
- 1 plaque chauffante
- **eau**

Fiche 2.1

- 2 lampes chauffantes ou halogènes
- 2 aquariums de dimensions identiques
- plastique alimentaire transparent
- 2 thermomètres

Fiche 2.2

- 2 grandes bouteilles en plastique découpées aux 2/3
- **eau**
- **1 petite bouteille d'eau pétillante**
- plastique alimentaire transparent
- 2 thermomètres
- 1 lampe

Fiche 3 .1.

- 1 aquarium
- 1 petite bouteille en verre (fiole)
- colorant alimentaire ou encre
- 1 plaque chauffante ou bouilloire électrique
- glaçons
- 1 pince en bois
- **eau**

Fiche 3.2.

- 2 bouteilles reliées par 2 tubes
- 2 bouteilles en plastique
- 1 **bouilloire électrique**
- 2 colorants alimentaires (rouge et bleu)
- **eau**

Fiche 4

- 1 bécher ou verre
- 1 bougie
- 1 paille
- eau de chaux $Ca(OH)_2$
- 1 bocal et son bouchon
- 1 allumette

Fiche 5

- 2 maquettes de montagne
- étiquettes lagopèdes des neiges
- épingles

Fiche 6

- 2 bacs à peinture (un à pente douce et un à pente forte)
- sable
- 2 maquettes de maisons/immeubles
- **eau**

Fiche 7

- 1 petit grillage
- 2 erlenmeyers ou verres
- 1 **marqueur indélébile**
- **glaçons**
- **eau chaude**

Fiche 8

- 1 bouteille peinte en noir avec bouchon percé
- 1 bouteille peinte en blanc avec bouchon percé
- 2 thermomètres
- 1 lampe chauffante ou halogène

Fiche 9

- 3 béchers de 250 ml
- bleu de bromothymol
- 2 pailles
- 4 tubes à essai
- 1 **élodée**
- papier aluminium
- 1 **rétroprojecteur ou source de lumière**
- un peu d'huile
- 1 entonnoir
- **eau**

Le matériel en gras dans la liste ne fait pas partie du matériel empruntable à Scienceinfuse et devra être récolté par vos soins.

Ressources disponibles

Afin d'aborder le thème du réchauffement climatique et des phénomènes qui y sont liés, voici une liste non exhaustive des ressources disponibles à Scienceinfuse :

- *Vidéos:*
  - Les prêcheurs de l'Apocalypse, quand l'écologie perd la raison (52 min)
  - Home (1h30)
  - Ecologie, ces catastrophes qui changèrent le monde (1h05)
  - Les temps changent (1h30)
  - Gulfstream, talon d'Achille du climat (48min)
  - Nous resterons sur terre (1h27)
  - Comment la forêt réagit-elle au changement climatique – Magazine Xénius (25min)
  - Paradis en sursis – Maldives, l'archipel qui prend l'eau – Des terres et des hommes (53min)
  - Tara, voyage au cœur de la machine climatique (1h32)
  - Les océans au cœur de nos climats (10min)
  - Réchauffement climatique : info ou intox ? Pourquoi la guerre du climat a-t-elle lieu? Question à la une (1h)
  - Une vérité qui dérange (93min)
  - Sale temps pour la planète (50 min):
    - ◊ Sénégal, l'état d'urgence
    - ◊ D'un extrême à l'autre
    - ◊ Les réfugiés du climat
  - C'est pas sorcier (25min):
    - ◊ Atmosphère, atmosphère – la pollution de l'air
    - ◊ Bio-habitat : la maison se met au vert
    - ◊ La sécheresse, la France en alerte
    - ◊ Le recul des glaciers
    - ◊ L'effet de serre, coup de chaud sur la planète
    - ◊ L'histoire du climat

- *CdRoms/DVD*
  - Energie - Fondation Polaire
  - Pourvu que ça dure (Oxfam/Med'in pot) : empreinte écologique et eau
  - SOS Climat - WWF

- *Kits*
  - « Aujourd'hui pour demain, les capteurs solaires » (asbl Hypothèse)
  - « Eoliennes » (asbl Hypothèse)
  - « Les lichens et la qualité de l'air »
  - « Audit énergétique »

- *Sites internet*
  - http://www.uclouvain.be/321174.html
  - http://www.educapoles.org/fr/
  - www.climatechallenge.be

- *Livre*
  - Cunningham, D. (2012). Fables scientifiques, éditions çà et là, 2012.

Suivez les actualités scientifiques ainsi que nos événements sur facebook :

http://www.facebook.com/scienceinfuse.ucl

Fiche 1 : dilatation de l'eau

Objectif

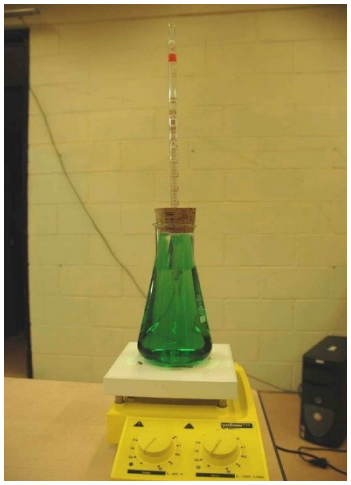
Montrer que le réchauffement climatique a un effet sur la montée des eaux par la dilatation de l'eau.

Matériel

- 1 erlenmeyer muni d'un bouchon au travers duquel passe une pipette graduée
- 1 plaque chauffante

Mode opératoire:

- Remplissez l'erlenmeyer d'eau et placez le bouchon avec la pipette. Il ne doit plus y avoir d'air dans l'erlenmeyer et l'eau doit monter dans la pipette.
- Observez le niveau de l'eau sur la pipette avec le marqueur.
- Placez l'erlenmeyer sur une plaque chauffante et observez.



Observation

L'eau monte dans la pipette graduée.

Explications

L'énergie thermique fournie par la plaque chauffante augmente l'agitation des molécules d'eau. L'ampleur des mouvements de vibration, rotation et translation des molécules augmente, et cela affaiblit les liens entre molécules ; chaque molécule se met à occuper plus d'espace, augmentant le volume qu'emplit l'eau.

La dilatation de l'erlenmeyer n'étant pas aussi importante (son coefficient de dilatation volumique est de 9×10^{-6} par degré, alors que celui de l'eau est de 207×10^{-6} par degré, à 20°C (HECHT, 1999)), l'eau s'étend en montant dans la pipette graduée.

De la même manière, l'augmentation de la température moyenne de surface sur Terre (0,74 °C entre 1906 et 2005) a conduit à une augmentation moyenne du niveau des mers de 1,7 mm/an pendant le XXème siècle. A la fin du XXème siècle, on estime que la dilatation des eaux est responsable pour environ la moitié de cette élévation du niveau des mers, l'autre moitié étant due à la fonte des glaciers continentaux (en incluant les glaces de l'Antarctique et du Groenland, ou « calottes polaires ») (GIEC).

Fiche 2 : l'effet de serre

Objectif

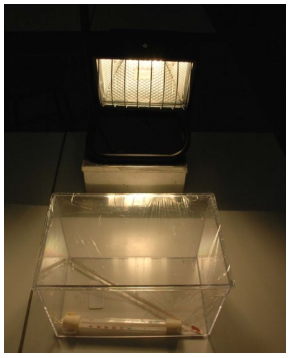
Comprendre le rôle joué par l'atmosphère dans l'effet de serre.

L'EFFET DE SERRE : MANIPULATION 1

Matériel

- 2 lampes chauffantes ou halogènes
- 2 aquariums de dimensions identiques
- 1 feuille de plastique alimentaire transparent
- 2 thermomètres

Mode opératoire



- Placez un thermomètre dans chaque aquarium.
- Recouvrez un des deux aquariums avec la feuille de plastique alimentaire.
- Placez chaque aquarium sous une lampe.
- Notez la température de départ.
- Après cinq et dix minutes, relevez à nouveau les températures.

Observation

La température est plus élevée dans l'aquarium recouvert d'une feuille plastique.

L'EFFET DE SERRE : MANIPULATION 2

Matériel

- 2 grandes bouteilles en plastique découpées aux 2/3
- 1 petite bouteille d'eau pétillante
- de l'eau
- 1 feuille de plastique alimentaire transparent
- 2 thermomètres
- 1 lampe

Mode opératoire

- Ouvrez la bouteille d'eau pétillante et versez, en laissant couler délicatement le long de la paroi, l'eau dans la première des bouteilles découpées.
- Recouvrez cette bouteille de plastique alimentaire transparent.
- Versez dans le deuxième fond de bouteille l'eau plate (robinet).
- Enlevez le film plastique du premier fond de bouteille.
- Placez les deux fonds de bouteilles sous la lampe.
- Insérez les sondes des thermomètres dans les trous prévus à cet effet.
- Allumez la lampe.
- Notez, toutes les minutes et cela pendant 10 minutes, la température pour chacun des récipients.

Observation

La température est plus élevée dans la bouteille contenant le coca « non plat ».

L'EFFET DE SERRE : EXPLICATIONS

L'expérience illustre le mécanisme de l'effet de serre. La température est plus élevée dans l'aquarium qui est recouvert d'une feuille de plastique. Dans cette serre, la feuille de plastique matérialise l'atmosphère terrestre. Elle y joue le même rôle puisqu'elle piège la chaleur.

Cependant la comparaison s'arrête là. En effet, l'atmosphère terrestre n'est pas composée de plastique ou de verre, qui arrêtent le flux de chaleur convective, mais d'une multitude de gaz (cf. tableau ci-dessous) dont certains arrêtent le rayonnement infrarouge et le renvoient dans toutes les directions. Ils sont qualifiés de gaz à effet de serre puisque, comme une serre mais pour une autre raison, ils sont capables de piéger la chaleur émise par la surface de la Terre (cf. schéma ci-dessous). Sans eux, la Terre afficherait une température mondiale annuelle de – 18°C en moyenne ; l'eau y serait solide la plupart du temps, la Vie aurait une forme bien différente !

Notre atmosphère contient donc naturellement de nombreux gaz à effet de serre. Cependant, au cours des dernières décennies, la concentration de certains gaz à effet de serre (le dioxyde de carbone CO_2, le méthane CH_4, l'ozone O_3, etc.) a augmenté de manière significative suite aux activités humaines (développement de l'industrie lourde, augmentation incessante des trafics routier et aérien, etc.). C'est l'augmentation de ces gaz qui est à l'origine du réchauffement climatique que nous vivons actuellement. Notons que de nouveaux gaz à effet de serre ont été créés par l'industrie pétrochimique (les halocarbures) et qu'ils ne font qu'amplifier le phénomène.

Tableau : composition de l'air atmosphérique au voisinage de la surface de la Terre (CEA, Hiver 2008-2009)

Gaz	Volume (ppm)	Volume (%)	
Azote (N_2)	780840	78,084	
Oxygène (O_2)	209460	20,946	
Argon (Ar)	9340	0,934	
Dioxyde de carbone (CO_2)	382	0,0382	280 ppmv en1800 ; 379 en 2005
Néon (Ne)	18,18		
Hélium (He)	5,24		
Méthane (CH_4)	1,745		
Krypton (Kr)	1,14		
Hydrogène (H_2)	0,55		
Oxyde nitreux (N_2O)	0,30		
Ozone (O_3)	0,04		
Vapeur d'eau (H_2O)	De 1% dans les régions polaires à 4% dans les régions équatoriales- très variable-		

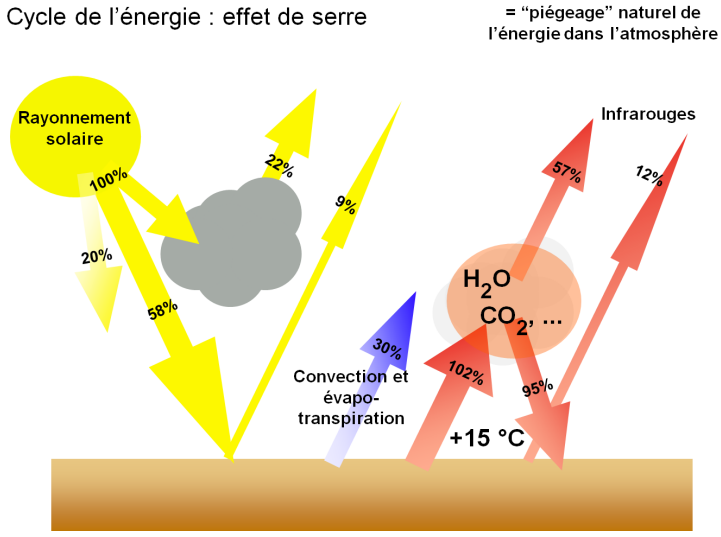


Figure : cycle de l'énergie—effet de serre

Ce schéma du bilan radiatif de la Terre nous montre le rôle des gaz à effet de serre comme l'eau (H_2O) et le dioxyde de carbone (CO_2).

Le sol terrestre reçoit de l'énergie du Soleil mais il en reçoit aussi de l'atmosphère grâce à la présence de ces gaz. Examinons en détail le bilan d'énergie. 58% du rayonnement solaire incident atteint la surface de la Terre. De ces 58%, 9% la quittent par réflexion sur le sol. Il y donc 49% du rayonnement solaire qui sont absorbés par le sol.

Ainsi chauffé, le sol perd de l'énergie de différentes manières :

par contact avec les masses d'air qui bougent par convection et turbulence ;

par évaporation de l'eau des océans ;

par évapotranspiration des plantes.

Ces 3 premiers processus représentent 30% de l'énergie solaire qui arrive sur la Terre.

Néanmoins, le processus essentiel par lequel le sol réémet de l'énergie est l'émission **de rayonnement de grande longueur d'onde, le rayonnement infrarouge** (102% et 12% figurant sur le schéma).

Comment expliquer que le sol émette plus de 100% d'énergie ? **La majorité du rayonnement infrarouge émis par le sol est piégée par les gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère. Ceux-ci renvoient de l'énergie vers le sol**, réchauffant ainsi la Terre, tout comme le Soleil la réchauffe. De cette façon, si le sol reçoit du Soleil 58 unités d'énergie, il reçoit en plus 95 unités d'énergie des gaz à effet de serre.

Il s'établit un équilibre : la surface de la Terre absorbe l'équivalent de (58 – 9) + 95 = 144% du rayonnement solaire arrivant au sommet de l'atmosphère et émet 30% (convection, évapotranspiration, …) + 12% (IR traversant directement l'atmosphère) + 102% (piégés par les gaz à effet de serre) = 144% également.

De même, la totalité des 100% du rayonnement solaire incident quitte en fin de compte notre planète : 22% sont réfléchis par les nuages, 9% sont réfléchis par le sol, 57% partent dans l'espace sous forme d'IR émis par les nuages et les gaz à effet de serre, et les derniers 12% sont les IR émis par la Terre et qui ne sont pas piégés par les gaz à effet de serre. On arrive bien à un total de 100% réémis. Avec un tel équi-

libre entre les quantités d'énergie reçue et perdue, la température sur Terre resterait, en moyenne, constante … si la quantité de gaz à effet de serre n'était pas en train d'augmenter !

Fiche 3 : perturbation des courants marins

Objectif

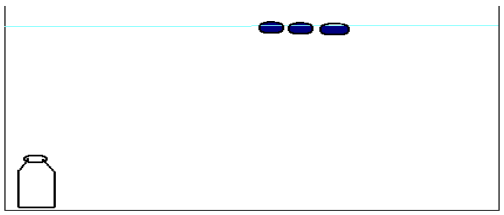
Comprendre de manière simplifiée le fonctionnement des courants marins afin de pouvoir discuter de l'impact du réchauffement climatique sur la circulation des courants.

PERTURBATION DES COURANTS MARINS : MANIPULATION 1

Matériel

- 1 aquarium
- 1 petite bouteille en verre (fiole)
- 1 plaque chauffante ou bouilloire électrique
- 1 pince en bois
- Eau
- Colorant (encre)
- Glaçons

Mode opératoire



- Remplissez l'aquarium d'eau froide.
- Faites chauffer de l'eau.
- Mettez de l'eau bien chaude dans la fiole et colorez à l'aide de 2 à 3 gouttes d'encre.
- A l'aide de la pince en bois, prenez la fiole par le goulot et placez-la au fond de l'aquarium, près d'une paroi.
- Placez les glaçons au milieu de l'aquarium.
- Observez.

Observation

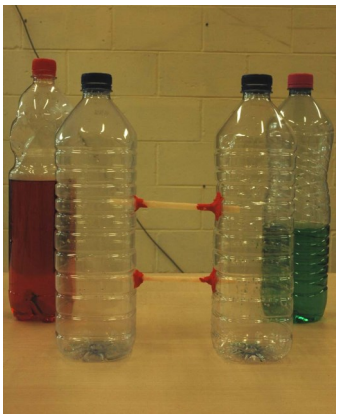
On observe un courant qui se met en place : l'eau colorée monte au niveau de la fiole et elle redescend au niveau des glaçons.

PERTURBATION DES COURANTS MARINS : MANIPULATION 2

Matériel

- 2 bouteilles en plastique reliées par 2 pailles à 2 niveaux différents
- 2 bouteilles réservoirs en plastique avec bouchons
- 2 colorants alimentaires (un rouge et un bleu)
- 2 pinces à linge
- 1 plaque chauffante ou une bouilloire électrique
- 1 bécher (si plaque chauffante)

Mode opératoire



- Préparez une bouteille réservoir d'eau chaude (1,5l) et une bouteille réservoir d'eau froide (1,5l)
- Mélangez le colorant rouge à l'eau chaude (6 gouttes) et le colorant bleu à l'eau froide (6 gouttes) dans le bouteilles réservoirs.
- Fermez les bouteilles et agitez.
- Placez des pinces à linge sur les pailles afin d'éviter toute communication entre les deux bouteilles.
- Déverser respectivement l'eau chaude et l'eau froide dans les bouteilles de chaque côté des deux pailles. Veillez à ce que les niveaux atteints soient identiques.
- Retirez les pinces à linge et observez.
- Touchez les bouteilles pour sentir les variations de températures.

Observation

On observe un courant qui se met en place entre les 2 bouteilles : l'eau

PERTURBATION DES COURANTS MARINS : EXPLICATIONS

Dans les océans, ce sont à la fois des différences de température et de salinité qui génèrent des différences de densité de masse d'eau. Les eaux froides et salées dans le nord (la formation de la banquise rejette du sel dans l'océan) plongent, les eaux plus chaudes et moins salées circulent plus en surface. On parle de circulation thermohaline. On symbolise souvent ces courants profonds par un tapis roulant qui parcourt les Océans Atlantique et Pacifique (cf. schéma simplifié ci-dessous).

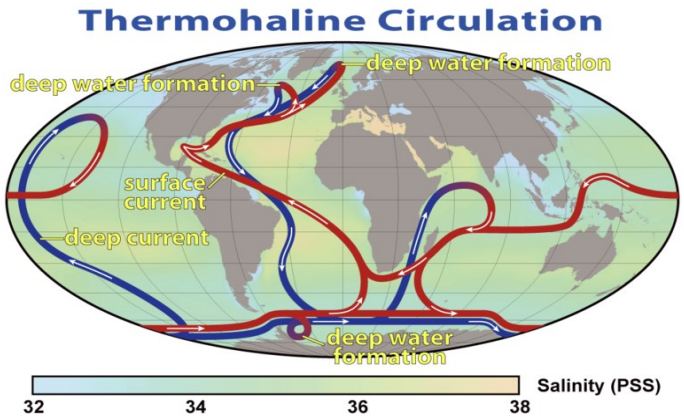


Figure : circulation thermohaline (Source : http://en.wikipedia.org/wiki/File:Thermohaline_Circulation_2.png)

Ce tapis roulant se refroidit à hauteur du Pôle Nord et descend vers les profondeurs. En hiver, les sels rejetés lors de la formation de la glace alourdissent encore les masses d'eau froides qui plongent encore plus vers les profondeurs. Ensuite, les courants se réchauffent dans l'Océan Pacifique, provoquant une remontée en surface des courants chauds (les vents contribuent également à favoriser cette remontée, qui se produit lentement sur de vastes étendues).

Ces courants marins jouent un rôle fondamental dans la régulation du climat mondial. En effet, les courants chauds peuvent réchauffer l'atmosphère et limiter les changements saisonniers d'une région habituellement soumise à un faible ensoleillement ou à des masses d'air froid. C'est par exemple le cas du courant chaud appelé Gulf Stream (dont la prolongation vers l'Europe est aussi appelée « dérive Nord-Atlantique »), qui est partiellement responsable du climat tempéré de l'Europe Nord Occidentale[1]. Le réchauffement climatique pourrait avoir un impact non négligeable sur le Gulf Stream. Si la banquise fond, elle apporterait une quantité importante d'eau douce au niveau du Pôle Nord, endroit où les courants (dont le Gulf Stream) sont censés plonger vers les profondeurs. Cet afflux massif d'eau douce mènerait au déplacement, voire à la disparition du Gulf Stream selon les scénarios les plus catastrophiques (cf. Schéma ci-dessous). Une interruption ou une modification du « tapis roulant » pourrait donc provoquer des dérèglements climatiques importants.

Il est à noter que les vents influencent aussi la circulation océanique. Les changements climatiques effectifs résultent en fin de compte de nombreux éléments qui interagissent entre eux.

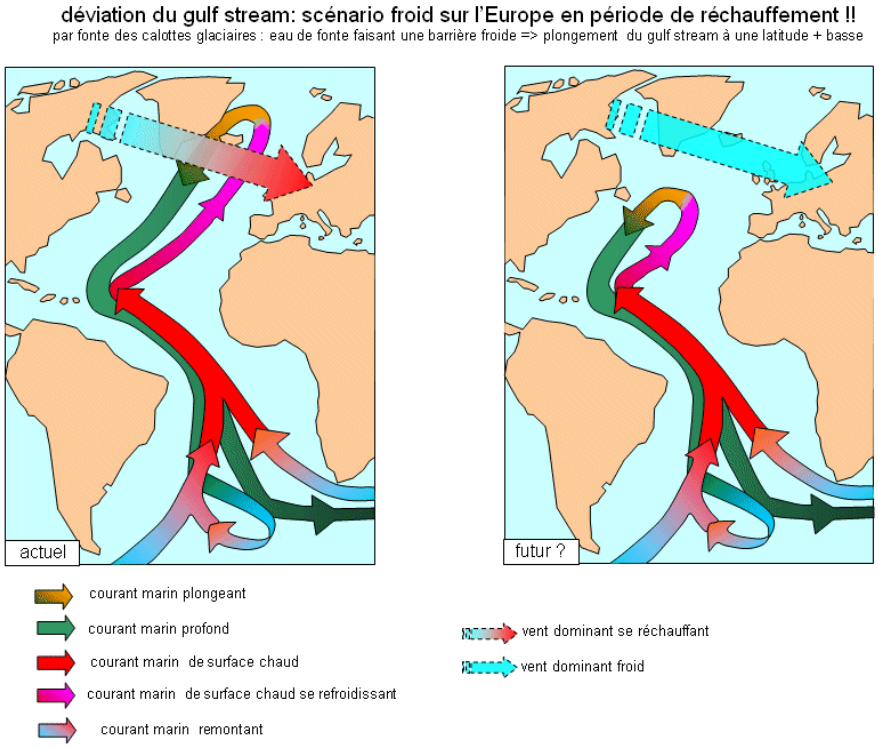


Figure : déviation du Gulf Stream : scénario froid sur l'Europe en période de réchauffement

Pour en savoir plus :

http://www.ird.fr/la-recherche/projets-de-recherche/courant-de-humboldt-l-impact-du-changement-climatique-sur-l-ecosysteme

http://www.climate.be/textbook/pdf/Chapter_1.pdf

http://www.educapoles.org/fr/multimedia/animation_detail/les_impacts_du_changement_climatique_sur_locan/

Fiche 4 : cycle du carbone et origine du CO_2

Objectif

Montrer l'origine du CO_2 dans l'atmosphère et discuter du phénomène de combustion dans le contexte du réchauffement climatique.

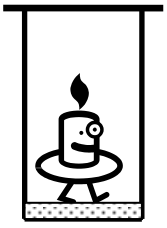
Matériel

- 1 bécher
- 1 bougie
- 1 paille
- Eau de chaux ($Ca(OH)_2$)
- Bocal conserve
- 1 allumette

Mode opératoire

- Versez un peu d'eau de chaux dans un bécher et soufflez à l'aide de la paille pendant environ 30 secondes. Observez .

- Insérez une bougie dans un bocal conserve contenant un fond d'eau de chaux (0,5 cm). Allumez la bougie, fermez le bocal et observez.



Observation

- Première expérience : quand on souffle dans l'eau de chaux, celle-ci se trouble.
- Deuxième expérience : l'eau de chaux se trouvant dans le bocal avec la bougie se trouble progressivement. Au bout d'un certain temps, la bougie s'éteint.

Explications

Première expérience: à chaque expiration, nous envoyons du dioxyde de carbone (CO_2) dans l'eau de chaux, ce qui la rend trouble $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$.

Deuxième expérience: l'eau de chaux se trouble au contact d'une bougie. La combustion dégage donc du CO_2. Au bout d'un certain temps la bougie s'éteint car elle a besoin d'oxygène pour réaliser la combustion.

Le CO_2 est naturellement produit par la respiration des êtres vivants (animaux, végétaux, bactéries). Il est aussi lâché dans l'atmosphère par la combustion des combustibles fossiles (gaz, pétrole, charbon), et par les volcans. Quand du CO_2 est ainsi ajouté à l'atmosphère, il faut en moyenne un peu plus d'une centaine d'années pour que les 2/3 de cet ajout soient absorbés de façon permanente par les océans, les sols, et l'accroissement de la végétation (photosynthèse) (voir figure ci-dessous).

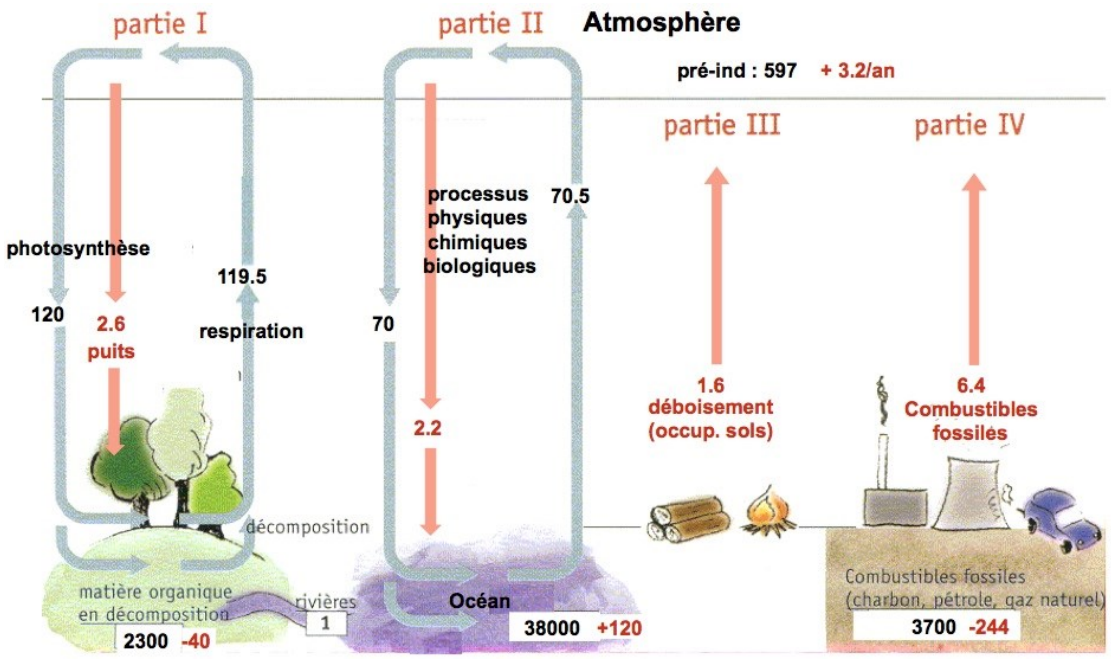


Figure 1 : Cycle du carbone. Les nombres en noir représentent le cycle et les stocks naturels, en milliards de tonnes de carbone (GtC) pour les stocks (sols, océans, atmosphère) et en milliards de tonnes de carbone par an pour les flux (photosynthèse…). Les nombres en rouge représentent l'effet des activités humaines : émissions dues aux combustibles fossiles, déboisement, et « puits » dus à un déséquilibre des flux naturels permettant d'absorber une partie du carbone ajouté à l'atmosphère (Source : http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php3?id_article=1636)

Le CO_2 est ce qu'on appelle un gaz à effet de serre parce qu'il est capable de piéger la chaleur (les infrarouges) émise par la surface de la terre (voir fiche 2). Le tableau ci-dessous montre que parmi tous les gaz, le CO_2 est celui qui participe le plus à l'effet de serre. Il existe d'ailleurs une corrélation nette, sur les derniers 400 000 ans, entre la concentration de CO_2 dans l'atmosphère et la température sur Terre.

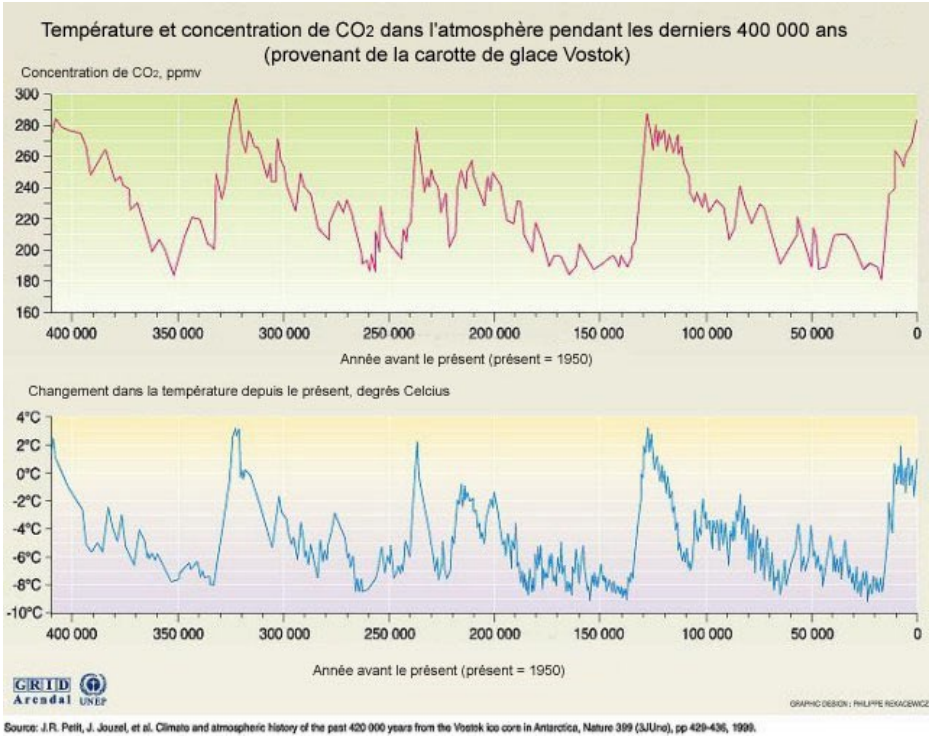


Figure : température et concentration en CO_2 pendant les derniers 400 000 ans

Il faut noter que corrélation ne signifie pas toujours causalité : les variations climatiques glaciaires – interglaciaires sont déclenchées par des variations d'ensoleillement dues aux changements de la position relative de la Terre et du Soleil. Cependant, ces variations de température sont amplifiées par les variations de concentration en dioxyde de carbone, qui sont elles-mêmes influencées, sur le long-terme, par les températures (on parle de « rétroaction positive»).

Au cours des dernières décennies, la concentration en CO_2 a augmenté de manière significative suite à la combustion des énergies fossiles telles que le charbon, le pétrole et le gaz (de 280 ppm en 1800 à 379 ppm en 2005). Il est hautement probable que cette augmentation de la concentration en CO_2 soit à l'origine du réchauffement climatique que nous vivons actuellement. Pour aller plus loin, il est intéressant d'utiliser le tableau ci-dessous pour comparer le pouvoir de réchauffement global de chaque gaz et d'imaginer les conséquences d'une libération massive de méthane, gaz à effet de serre plus puissant que le CO_2, par le dégel du permafrost.

Le potentiel de réchauffement global est un indice de comparaison associé à un gaz à effet de serre qui quantifie sa contribution au réchauffement global comparativement à celle du dioxyde de carbone, cela sur une certaine période. Il tient compte de la durée de vie dans l'atmosphère et de la capacité d'absorption des IR. Il est par définition égal à 1 pour le CO_2.

La part dans l'effet de serre en 2005 indiquée dans le tableau ci-dessous représente le « piégage infrarouge » additionnel par rapport à l'état pré-industriel (en jargon scientifique : le « forçage radiatif »). Ces chiffres expriment donc la conséquence des émissions passées sur le présent : ils ne sont pas une indication de ce qu'il va se passer dans le futur (il faut éviter d' « extrapoler » le présent), contrairement au «potentiel de réchauffement global» précité (lequel donne une indication sur les conséquences futures).

Remarque :

Le tableau comparatif ne donne encore qu'une vue partielle de l'effet des activités humaines sur le climat. D'autres facteurs, non liés au cycle du carbone, existent – en particulier, certaines émissions de soufre forment des aérosols qui ont un effet moyen de refroidissement. Pour en savoir plus, voir le résumé pour les décideurs du 4e rapport d'évaluation du GIEC (2007), groupe I (http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm-fr.pdf).

Tableau : Source : Rapport 4 d'évaluation du GIEC, 2007, groupe I chapitre 2 (p204 et 212).

Gaz	Durée de vie moyenne	Pouvoir de Réchauffement Global sur 100 ans	Part dans l'effet de serre en 2005 (%)	Sources anthropiques
CO_2	~100 ans (mais une part reste > 1000 ans)	1	63	Électricité, transports, chauffage, industrie
CH_4	~12 ans	25	18	Mines, industries pétrole et gaz, déchets, cultures, élevage
N_2O	114 ans	298	6	Agriculture, industrie chimique
PFCs hydrocarbures	1000-50 000 ans	9500- 18200	très faible	Industrie du froid

Fiche 5 : biodiversité

Objectif

Démontrer que l'augmentation de la température terrestre a un effet sur la biodiversité à travers l'exemple de l'écosystème montagnard (voir figure ci-dessous).

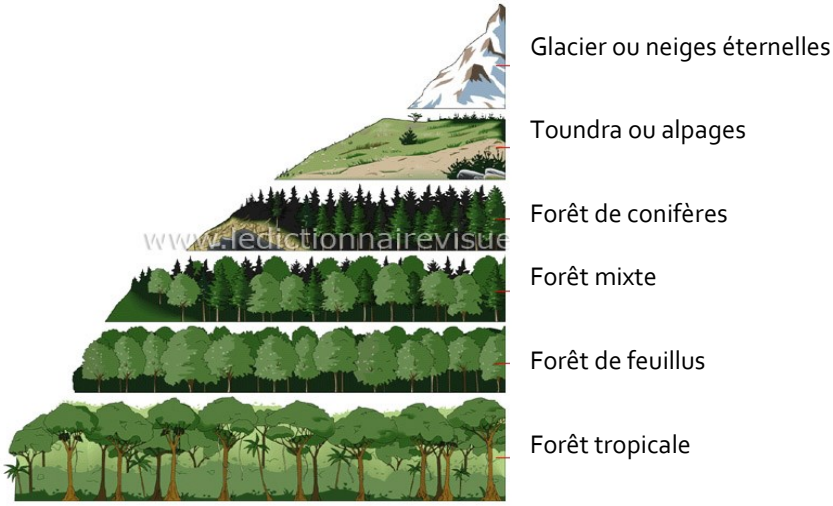
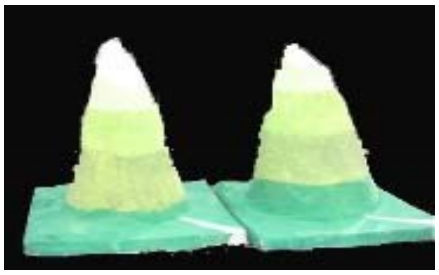


Figure : écosystème montagnard (Source: http://www.ledictionnairevisuel.com/terre/environnement/vegetation-et-biosphere/paysage-vegetal-selon-altitude.php)

Matériel



- Deux montagne identiques sur lesquelles sont peintes plusieurs bandes représentant les différentes strates de végétation que l'on peut trouver en montagne. Sur l'une des deux montagnes les strates sont décalées vers le haut.
- 1 fiche explicative sur le lagopède alpin.
- Étiquettes représentant les lagopèdes alpins.
- Epingles

Mode opératoire

- Lisez les informations concernant le lagopède alpin.
- Placez les lagopèdes alpins dans les strates des deux montagnes représentant l'écosystème auquel ils sont adaptés.
- Comparez les deux montagnes.

Explications

Le faciès de la montagne 2 est le résultat du réchauffement climatique. Si la température augmente, le glacier fond et se rétrécit. Chaque strate monte alors vers le haut, remplaçant petit à petit les strates de végétation précédentes.

Chaque strate est caractérisée par un écosystème bien particulier avec son cortège spécifique d'espèces végétales et animales. Des animaux comme les chamois et les marmottes ne vivant que dans les alpages et les zones rocailleuses verront petit à petit leurs habitats se boiser, les obligeant soit à s'adapter à ces nouvelles conditions de vie, soit à gagner des altitudes plus élevées. La capacité à répondre à ces changements du milieu varie d'une espèce à l'autre et est réduite en raison de la vitesse à laquelle ces changements s'opèrent. Les espèces vivant aux altitudes extrêmes (glacier, rocailles) sont particulièrement affectées par le réchauffement climatique. En effet, l'habitat de ces espèces ne fait pas que se déplacer, il se rétrécit de manière drastique. Citons parmi les espèces montagnardes menacées le lagopède alpin. Il s'agit d'un oiseau de la taille d'une perdrix qui a développé de fabuleuses adaptations aux très hautes altitudes. Ne pouvant se camoufler dans un quelconque buisson, il est capable de muer trois fois au cours de l'année pour se confondre avec le sol. Son régime alimentaire est essentiellement composé de baies et bourgeons présents uniquement à haute altitude. Des adaptations au milieu aussi spécifiques rendront cet oiseau extrêmement vulnérable aux changements des conditions de vie. Cette espèce est actuellement en déclin.

Si l'augmentation de température moyenne du Globe dépasse 1,5 à 2,5°C, 20 à 30% des espèces animales et végétales auront un risque d'extinction accru.

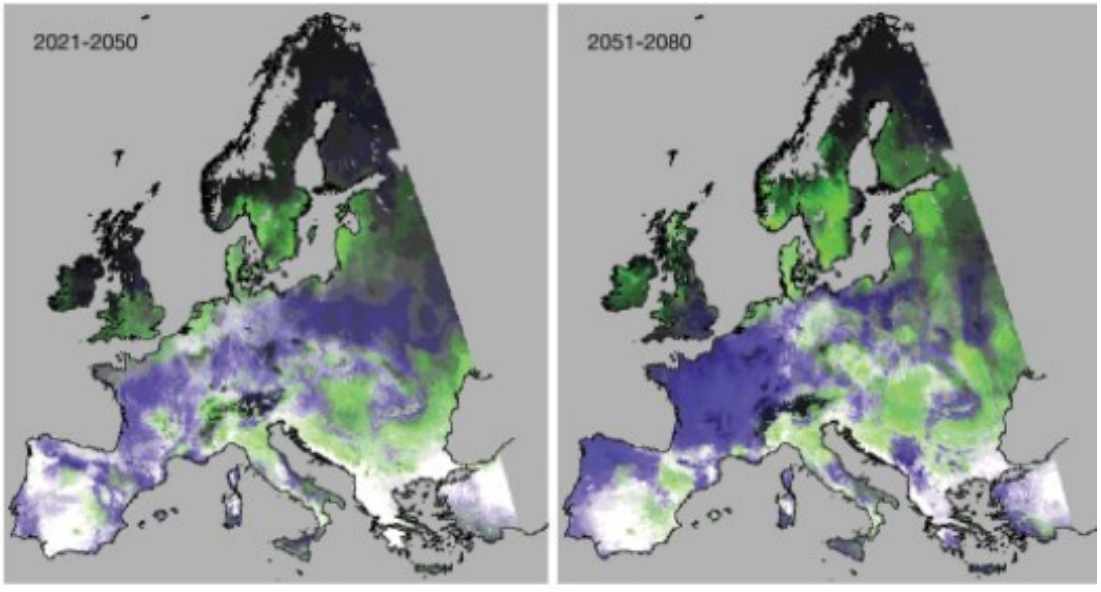


Figure : Prévisions du changement de la biodiversité des reptiles et des amphibiens d'Europe (Source : Rapport 4 d'évaluation du GIEC, 2007, groupe II chapitre 12 p 554)

La figure ci-dessus montre des projections publiées par des scientifiques et reprises dans le 4e rapport d'évaluation du GIEC, pour le changement de la biodiversité (le nombre d'espèces) des reptiles et amphibiens d'Europe pour deux périodes de trente ans (dans l'un des scénarios d'émission de gaz à effet de serre). On y voit :

- en mauve : diminution du nombre d'espèces;

- en vert : augmentation du nombre d'espèces;

- en noir : nombre d'espèces bas mais stable;

- en blanc : biodiversité haute et stable;

- en gris : biodiversité moyenne et stable.

On constate un enrichissement de la biodiversité dans certaines zones du nord et de l'est, et une perte de biodiversité au sud-ouest. Une autre étude a confirmé une tendance à la migration des espèces du sud-ouest vers le nord-est.

Pour en savoir plus : http://www.educapoles.org/fr/multimedia/animation_detail/la_biodiversit_dplacement_des_espces/

Fiche 6 : hausse du niveau de l'eau

Objectif

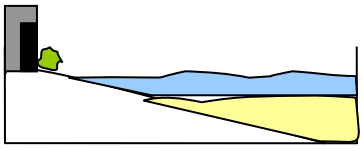
Mettre en évidence la vulnérabilité de certaines zones côtières face à la montée du niveau de la mer.

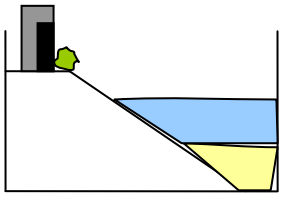
Matériel

- Deux bacs à peinture (un avec une pente douce et l'autre avec une pente forte).
- Sable
- Maisons, immeubles miniatures (frigolite)
- Eau

Mode opératoire

- Remplissez les bacs avec la même quantité de sable et d'eau pour simuler la plage et les fonds marins.
- Ajoutez à l'extrémité haute de chaque bac une rangée d'immeubles.
- Ajoutez de manière progressive la même quantité d'eau dans les deux bacs et observez.





Explication

La zone côtière constituée de grande plage de sable à pente faible (1) est plus exposée à la montée du niveau de la mer. C'est la faible pente de ce littoral qui explique cette sensibilité accrue : pour une même montée d'eau, la surface horizontale inondée est plus grande. A l'heure actuelle, de nombreuses zones côtières présentant ce faciès sont menacées de disparition. Certaines stations balnéaires sont de plus en plus fréquemment menacées d'inondation. A certains endroits, des plages artificielles ont du être créées pour rehausser le niveau de la plage comme ce fût le cas à Ostende entre l'estacade et le casino. Un rapport de Greenpeace réalisé en 2004 sous la direction de Jean-Pascal Van Ypersele (http://www.elic.ucl.ac.be/users/marbaix/impacts/) prévoit que, dans 1000 ans, plus d'un dixième du territoire de la Belgique pourrait être sous le niveau moyen de l'eau.

L'étendue des zones inondées dépendra du renforcement des protections mises en place. Mais face à une montée potentielle de plusieurs mètres en quelques siècles, il peut devenir difficile de se protéger.

Pour résoudre le même problème, les Pays-Bas ont quant à eux lancé un vaste plan d'aménagement des zones côtières. Il vise d'une part à rehausser le niveau des digues mais également à créer de vastes zones inondables en rendant les polders à la mer.

Dans le cas d'une zone côtière à forte pente (2), si l'impact direct de la montée du niveau de la mer est moins visible, celui-ci se manifestera par une érosion accrue des rochers constituant le littoral.

Fiche 7 : fonte des glaces

Objectif

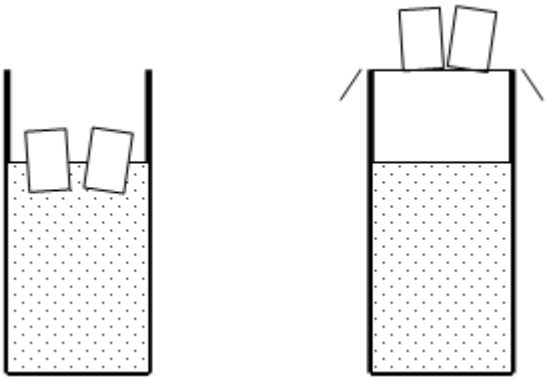
Démontrer que la fonte de la banquise n'augmente pas le niveau des mers, alors que la fonte des glaciers continentaux, oui.

Matériel

- 2 berlins
- 1 marqueur indélébile
- 4 glaçons
- Eau chaude
- 1 grillage

Mode opératoire

- Versez de l'eau chaude et deux glaçons dans le premier berlin.
- Marquez le niveau initial de l'eau à l'aide d'un marqueur et observez.
- Versez de l'eau chaude dans le deuxième berlin. Posez le grillage et fixez-le.
- Placez les glaçons sur le grillage. Marquez le niveau initial de l'eau et observez.



Explication

Quand les glaçons sont au départ dans l'eau, flottant comme des icebergs avec 8/9 de leur volume immergé, ils n'augmentent pas le niveau d'eau lorsqu'ils fondent.

Par contre, les glaçons placés hors de l'eau, en fondant, ajoutent de la matière à l'erlenmeyer, et donc augmentent le niveau de l'eau, comme des glaciers continentaux le feraient.

Si les icebergs ou la banquise ne modifient pas (ou augmentent de manière tout-à-fait négligeable) le niveau des océans en fondant, cela résulte d'une combinaison de facteurs qui demandent une analyse approfondie.

Le volume total de la banquise a, d'après le principe d'Archimède, la même masse que le volume d'eau de mer déplacé par la partie immergée de la banquise. Comme la glace de la banquise a une masse volumique inférieure à celle de l'eau de mer (car l'eau de mer rejette du sel en gelant), il est donc normal que la banquise flotte et dépasse du niveau marin. Le rapport entre l'épaisseur de la partie immergée et l'épaisseur totale de la banquise est égal au rapport entre la masse volumique de la glace et celle de l'eau océanique.

Lorsque la banquise fond, l'eau de fonte qui en résulte a une masse volumique plus élevée que la glace et occupe donc un volume moindre que celui de la banquise.

En effet, l'eau à l'état solide (glace) prend plus de place que l'eau à l'état liquide. Cette propriété est due à l'organisation spécifique des molécules d'eau dans ses différents états (cf. figure).

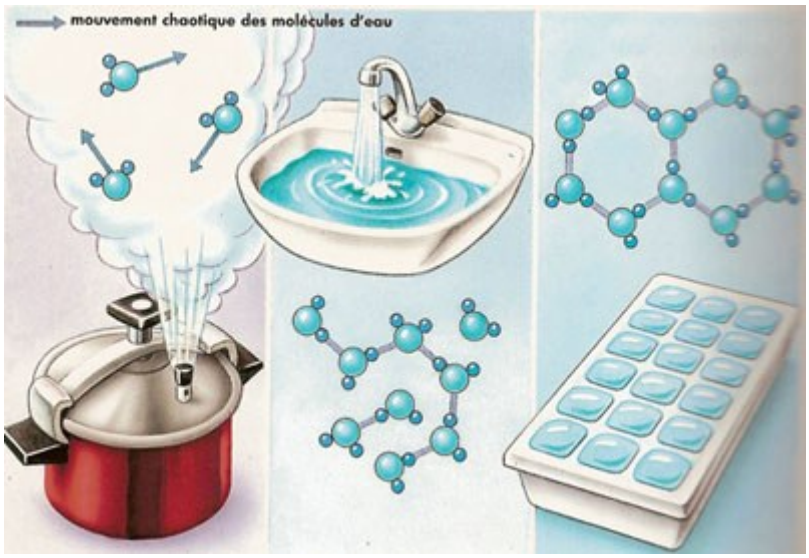


Figure : Organisation spécifique des molécules d'eau dans ses différents états
Source : http://tpe-physique-cuisine.pagesperso-orange.fr/tpe-appareils-micro-ondes.html

Reste à comparer le volume occupé par cette eau de fonte (V_f) à celui qu'occupait la partie immergée de la banquise (V_i).

- si $V_f > V_i$, alors le niveau de la mer s'élève ;
- si $V_f = V_i$, le niveau de la mer reste constant ;
- si $V_f < V_i$, le niveau de la mer s'abaisse.

Ces volumes dépendent uniquement des masses volumiques des différents types d'eau (glace, eau de fonte et eau océanique).

Si l'eau de fonte et l'eau océanique ont la même masse volumique (eau de mer dans les deux cas), alors l'élévation du niveau d'eau est nulle. Au cas où la banquise est supposée composée uniquement d'eau douce et fondrait dans sa totalité, on peut calculer une variation de hauteur de 4,4 mm sur toute la surface des océans, ce qui est vraiment négligeable. (http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOM-fonte-banquise-2005-10-06.xml)

Ainsi la fonte des banquises (glaces issues de la solidification de l'eau mer) et des icebergs (blocs de glace d'eau douce flottant dans la mer) n'augmentent pas le niveau des mers. Par contre, la fonte des glaciers terrestres (glaciers des montagnes, glaces continentales de l'Antarctique, du Groenland, de l'Alaska...) a un impact sur le niveau des mers. Mais ceci n'est, pour le moment, pas la principale cause de l'augmentation du niveau des mers. La principale cause de la montée des eaux océaniques est due au phénomène de dilatation de l'eau (cf. Fiche 1 Dilatation de l'eau).

Si la fonte des banquises n'a aucun impact sur la montée du niveau des mers, elle a par contre des consé-

quences irréversibles en termes de biodiversité puisqu'elles sont l'habitat unique de certaines espèces animales comme l'ours polaire (banquise arctique).

A cause du réchauffement climatique, la banquise arctique fond plus tôt dans l'année et plus qu'avant (perte de 1/3 de la superficie depuis 1960), ce qui diminue la saison de chasse. Les ours polaires ne trouvent donc plus assez de nourriture pour constituer leurs réserves avant d'hiberner et maigrissent. Suite à cet amaigrissement, les femelles ne produisent plus assez de lait pour leurs petits qui s'affaiblissent (http://www.wwf.be/mini_animations/arctique.htm;http://www.wwf.be/_media/09-fiche-arctique_736895.pdf).

Notons que si le réchauffement de l'atmosphère contribue de façon directe à la fonte des banquises, d'autres phénomènes interviennent, notamment la diminution de l'albédo, c'est-à-dire la capacité à réfléchir la lumière du soleil. L'albédo de la banquise est plus élevé que de celui de l'eau (la neige réfléchit mieux la lumière que l'eau). Quand la banquise fond, les rayons du soleil sont donc moins réfléchis et sont absorbés par l'eau. La température de l'eau au contact de la banquise augmente et accélère la fonte de la banquise. De plus, la banquise « isole » l'eau de l'air : quand elle disparaît, l'eau réchauffe davantage l'atmosphère.

Rappelons aussi l'impact que pourrait avoir la fonte massive de la banquise sur les courants marins (cf. Fiche 3 Courants marins). Celle-ci apporterait une quantité importante d'eau douce au niveau du Pôle Nord, endroit où les courants (dont le Gulf Stream) sont censés plonger vers les profondeurs. Cet afflux massif d'eau douce mènerait au déplacement, voire à la disparition du Gulf Stream selon les scénarios les plus catastrophiques (lesquels sont toutefois associés à un réchauffement planétaire important, qui s'oppose à un éventuel refroidissement local en Europe).

Fiche 8 : albédo

Objectif

Montrer que l'effet albédo peut être un amplificateur des changements climatiques.

Matériel

- 1 bouteille peinte en noir
- 1 bouteille peinte en blanc
- 2 thermomètres
- 1 lampe chauffante ou halogène
- 2 bouchons percés

Mode opératoire

- Fermez chacune des bouteilles avec les bouchons percés.
- Insérez un thermomètre dans chacune des bouteilles.
- Placez les bouteilles devant la lampe allumée.
- Notez la température de départ.
- Après cinq et dix minutes, relevez à nouveau les températures.

Explication

On constate que la température est plus élevée à l'intérieur de la bouteille noire qu'à l'intérieur de la blanche.

La lumière arrivant sur la bouteille blanche s'y réfléchit, elle repart dans d'autres directions. La bouteille blanche ne garde qu'une petite proportion de l'énergie reçue. La bouteille noire, quant à elle, absorbe une grande proportion de l'énergie reçue, et la température de l'air qu'elle contient augmente significativement.

Suivant la nature de la surface terrestre, l'absorption du rayonnement solaire varie. On appelle albédo d'une surface la proportion d'énergie renvoyée par rapport à l'énergie reçue. Un albédo de 1 signifie que toute la lumière reçue est renvoyée vers l'atmosphère.

Ainsi, la neige fraîche a un albédo compris entre 0,8 et 0,9. La mer agitée, éclairée verticalement, a un albédo de 0,4. Pour le sable clair, c'est entre 0,3 et 0,4. Une prairie a un albédo entre 0,12 et 0,25. Une forêt, entre 0,06 et 0,2.

Suivant le type de sol, et selon les changements que chaque surface subit (fonte des glaces, déforestation, etc.), le réchauffement climatique, dû à une arrivée plus importante d'énergie à la surface de la Terre suite à l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, n'est pas le même.

Fiche 9 : plantes et cycle du carbone

Objectif

Montrer que les plantes consomment du CO_2 lors de la photosynthèse et qu'elles jouent donc un rôle important dans la teneur en gaz dans l'atmosphère.

Matériel

- 3 béchers de 250 ml
- Bleu de bromothymol
- Pailles
- 4 tubes à essai
- Elodées (plante aquatique)
- Papier aluminium
- 1 source de lumière (rétroprojecteur)
- Huile
- 1 entonnoir

Mode opératoire

1ère étape :

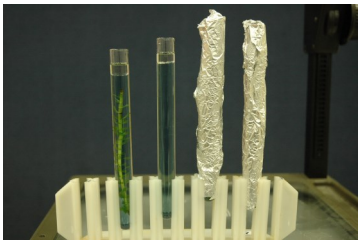
- Remplissez 2 béchers avec de l'eau (environ 3 cm).
- Ajoutez 4-5 gouttes de bleu de bromothymol dans les 2 béchers et mélangez.
- Soufflez à l'aide de la paille dans la solution d'un des béchers pendant 1-2 min.

Que constatez-vous ?

2ème étape :

- Remplissez un bécher de 250 ml avec de l'eau.
- Ajoutez 4-5 gouttes de bleu de bromothymol et mélangez.
- Soufflez à l'aide de la paille jusqu'à ce que la couleur change.
- Versez cette solution dans les 4 tubes à essais.
- Insérez un rameau d'élodée dans le tube 1 et le tube 3.
- Versez à l'aide de l'entonnoir, un filet d'huile (1 ou 2 cm).

- Emballez les tubes 3 et 4 dans un papier aluminium.
- Placez les 4 tubes à essai sur le rétroprojecteur.
- Patientez 20 minutes et observez.



Explication

1ère étape :

On observe un changement de couleur. A chaque expiration, nous envoyons du dioxyde de carbone (CO_2). Le bleu de bromothymol étant un indicateur coloré de pH, celui-ci vire au vert par la présence de CO_2 qui acidifie la solution $CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$.

2e étape :

La solution du tube à essai dans lequel se trouve le brin d'élodée placé à la lumière retrouve sa couleur initiale (bleu). Il n'y a par contre pas de changement de couleur dans les 3 autres tubes. Une réaction se passe donc dans le tube avec l'élodée en présence de lumière. C'est le phénomène de photosynthèse qui a lieu : en présence de lumière, les plantes élaborent du glucose à partir d'eau et de dioxyde de carbone. A cette occasion, elles rejettent du dioxygène. Voici l'équation bilan de la photosynthèse : $6\ CO_2 + 6\ H_2O \rightleftharpoons C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$.

Cette expérience nous montre que les plantes jouent un rôle important dans la teneur en gaz (et plus précisément en O_2 et CO_2) dans l'atmosphère.

Les végétaux jouent un rôle prépondérant dans la fixation du CO_2 atmosphérique en retenant le carbone dans la biomasse vivante et morte, dans les matières organiques en décomposition et dans les sols. C'est 40% du carbone terrestre qui est ainsi stocké dans la végétation et les sols des forêts. Ce sont les processus de photosynthèse, de respiration, de transpiration, de décomposition et de combustion qui entretiennent la circulation naturelle du carbone entre la forêt et l'atmosphère. Ils jouent donc un rôle important dans le cycle mondial du carbone : lorsque le stock de carbone augmente, le flux net de l'atmosphère vers l'écosystème forestier est positif et on parle alors de puits de carbone ; dans l'autre sens, on parle de source de carbone (voir aussi fiche 4 Cycle du carbone).

De 1990 à 2000, plus de 14,2 millions d'hectares de forêts ont disparu avec des conséquences quasi irréversibles à notre échelle. Cette tendance s'est alourdie puisque de 2000 à 2005, 15,2 millions d'hectares de forêt ont été détruits, soit l'équivalent de 40 terrains de football par minute (FAO, 12/2011). Même si ces pertes sont en partie compensées par le reboisement, celui-ci ne suffit pas à compenser l'abattage massif. Cette déforestation s'accélère, avec un effet non négligeable sur la teneur en CO_2 atmosphérique : comme il y a moins d'arbres, les forêts absorbent moins de CO_2. En même temps, du CO_2 est émis suite à l'incendie des arbres. La déforestation représente ainsi 20 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre.

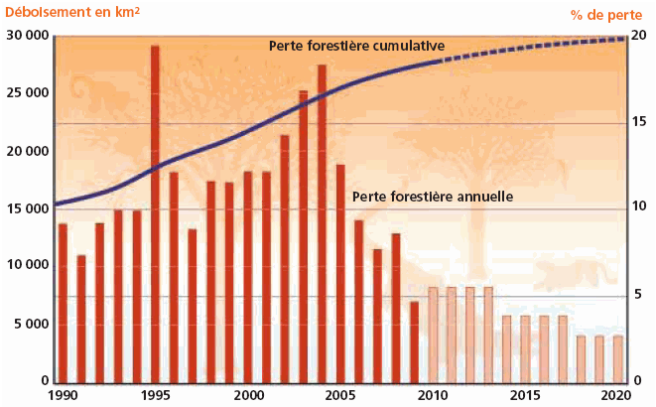


Figure : Evolution de la déforestation dans le monde
Source : © Planète Science Vol. 8, No. 3, Juillet–septembre 2010 - UNESCO

La déforestation touche toutes les forêts tropicales, en particulier en Amazonie, en Afrique équatoriale et en Asie du Sud-Est.

Si la principale cause de déboisement est l'expansion agricole (notamment pour la plantation de soja, de cannes à sucre et de palmiers à huile), le développement des cultures pour l'élevage industriel, l'exploitation minière de métaux et de minéraux précieux constituent également des causes majeures de déboisement.

Notons également que les forêts sont des sources de nourriture, de refuge, de combustible, de vêtements et de médicaments pour de nombreuses populations. De plus, les forêts abritent de nombreux "points chauds" de biodiversité. De nombreuses espèces se retrouvent avec un habitat dégradé, restreint ou complètement détruit, ce qui entraîne la disparition de certaines d'entre elles.