



# LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES



*Interdisciplinaire*

*livret  
prof*



UCLouvain

SCIENCE  
INFUSE

# Les changements climatiques

*Ce dossier a été réalisé avec la participation de Philippe Marbaix du Centre de Recherche sur la Terre et le Climat Georges Lemaître de l'UCLouvain.*

## 1. Introduction

Ce kit permet de parler des changements climatiques et de leurs conséquences par le biais de petites expériences. La méthodologie utilisée est inspirée de l'idée que la connaissance se construit par les interactions entre les personnes d'un groupe. Les manipulations proposées inviteront donc le groupe à réfléchir et à construire des explications aux phénomènes observés. C'est également une introduction aux recherches menées par les scientifiques en matière de changements climatiques.

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, cycle du carbone, 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.

La méthodologie associée au kit est la suivante :

### a. Brainstorming :

Qu'est-ce qui vous vient à l'esprit lorsque l'on dit « Changement Climatique ? »

### b. Manipulations :

Présenter les expériences et inviter les groupes à compléter une fiche/manipulation réalisée.

Tous les groupes n'auront pas le temps de faire toutes les expériences.

### c. Comprendre, mise en commun :

Mise en commun des liens réalisés avec les changements climatiques par manipulation.

*Explication des étapes :*

Le brainstorming permet d'identifier les préconceptions et d'activer toute une série de notions auxquelles les élèves feront référence dans leur raisonnement du point B.

Soit il y a une petite manipulation à réaliser, soit il s'agit d'observer. Il est important de rappeler la différence entre l'observation et l'interprétation. Dans un premier temps il s'agit de nommer les faits observables. Au point C, il faudra interpréter ces observations.

Chaque expérience fait référence à quelque chose en lien avec les changements climatiques : cause, conséquence. En groupe, les élèves vont échanger et construire un raisonnement logique à partir des informations que chacun peut apporter. C'est l'occasion de valoriser les compétences de chacun : connaissances, capacité à faire des liens, écoute, humilité, expérimentation, ...

En groupe classe, synthèse des différentes observations et interprétations.

Une fois la mise en commun réalisée : inviter les élèves à s'exprimer : « *Face aux changements climatiques, je me sens...* »

*« Annoncer des catastrophes sans laisser place au moindre signe d'émotion, ça sonne faux. Tant qu'un sujet complexe comme le changement climatique n'est pas traité au niveau émotionnel, il peut difficilement engendrer un comportement intégré et cohérent. Il s'agit d'ouvrir la porte et de rendre permis ce ressenti émotionnel. Par exemple, en proposant des phrases ouvertes que les gens doivent compléter : "Face aux changements climatiques, je me sens...". Ce n'est pas compliqué, mais c'est très exigeant. Car cela implique de la part de l'animateur d'accepter ses propres émotions, de les regarder en face et de pouvoir les partager avec le groupe, sans tomber dans le pathos. » V. Wathelet psychologue et formateur en processus de transition.*

Extrait du symbioses 108 « Eduquer aux changements climatiques. Pourquoi ? Comment ?

### d. Agir

Une fois les trois étapes précédentes réalisées, si les élèves ressentent le besoin d'agir, voici une série de projets et/ou actions qu'il est possible de mener :

- **Ecole pour demain:**  
<https://www.coren.be/fr/se-mettre-en-action/campagne-ecoles-en-developpement-durable-wallonie/ecoles-pour-demain>
- **Eco-Schools:** <https://www.coren.be/fr/component/content/article/22-actions/wallonie/241-eco-schools-2?Itemid=103>
- **Solidar'climat:**  
[http://www.awac.be/images/Pierre/Actualit%C3%A9s/solidar/SolidarClimat\\_Folder.pdf](http://www.awac.be/images/Pierre/Actualit%C3%A9s/solidar/SolidarClimat_Folder.pdf)
- Projets menés par **GoodPlanet** :  
<https://www.goodplanet.be/fr/>
- **Facilitateurs éducation à l'énergie** : réduire les consommations en énergie de l'école, <https://www.educationenergie.be/>

### e. En savoir plus

- La lettre d'information de la plateforme wallonne pour le GIEC :  
<https://plateforme-wallonne-giec.be/lettre>
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change :  
<http://www.ipcc.ch/index.htm>
- Site e-mediasciences, biologie, Impacts de l'homme sur les écosystèmes : <https://e-mediasciences.uclouvain.be/ressource/biologie/les-impacts-de-l-home-sur-les-ecosystemes>

### f. D'autres kits pour approfondir le sujet :

D'autres kits en lien avec la thématique sont disponibles à Scienceinfuse (Louvain-la-Neuve ou Charleroi), réservation via le site Sciences à emporter ([www.sciencesaemporter.be](http://www.sciencesaemporter.be)) :

- Énergie nucléaire = énergie propre?
- Énergie Kesako
- L'isolation
- Les éoliennes



- Les capteurs solaires
- Les centrales hydroélectriques
- L'énergie de biomasse
- La biodiversité du sol et les impacts de l'homme
- Les lichens et la qualité de l'air
- Que nous disent les macro-invertébrés sur la qualité de nos rivières ?
- La fresque climatique

## 2. Matériel

Vous trouverez ci-dessous la liste du matériel et des réactifs nécessaires à la réalisation de l'ensemble des expériences. Si votre école ne dispose pas du matériel nécessaire, celui-ci peut être emprunté à Scienceinfuse, en réservant à l'adresse suivante :

<https://e-mediasciences.uclouvain.be/ressource/materiel-empruntable/kits/biologie/22>.

### Fiche 1

- 1 erlenmeyer avec bouchon percé
- 1 pipette graduée
- 1 plaque chauffante
- **Eau**

### Fiche 2

- 2 grandes bouteilles en plastique découpées au 2/3
- **Eau** (pour la fiche 2.2A)
- **1 petite bouteille d'eau pétillante** (fiche 2.2A) ou 1 source de CO<sub>2</sub> (fiche 2.2B)
- Plastique alimentaire transparent (fiche 2.2A)
- 2 thermomètres (+1 support)
- De la terre ou des graviers (fiche 2.2B)
- 2 lampes

### Fiche 3.1

- 1 aquarium
- 1 petite bouteille en verre (fiolle)
- Colorant alimentaire ou encre
- **1 plaque chauffante ou bouilloire électrique**
- Glaçons
- 1 pince en bois

### Fiche 3.2

- 2 bouteilles reliées par 2 tubes
- 2 bouteilles en plastique
- **1 plaque chauffante ou bouilloire électrique**
- 2 colorants alimentaires (rouge et bleu)
- **Eau**
- 4 pinces à linge

### Fiche 4

- 1 bécher ou verre
- 1 bougie
- 1 paille
- Eau de chaux Ca(OH)<sub>2</sub>
- 1 bocal et son bouchon
- 1 allumette

### Fiche 5

- 2 maquettes de montagne
- 1 fiche explicative sur le lagopède alpin
- Etiquettes lagopèdes alpins
- Épingles

**Fiche 6**

- 2 bacs à peinture
- 1 récipient gradué
- 2 maquettes de maisons/immeubles
- 2 petits supports en verre
- **Eau**

**Fiche 7**

- 1 petit grillage
- 2 berlins ou verres
- **1 marqueur indélébile**
- **Glaçons**
- **Eau chaude**

**Fiche 8.1**

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

**Fiche 8.2**

- 1 plaque noire
- 1 plaque blanche
- 2 thermomètres infra-rouges (IR)
- 1 lampe chauffante ou halogène

**Fiche 9**

- 2 béchers
- 2 pailles
- Bleu de bromothymol

**Fiche 10**

- 3 béchers de 250ml
- 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**

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

### 3. Fiches expériences

#### Fiche 1 : Dilatation de l'eau

##### a. Objectif

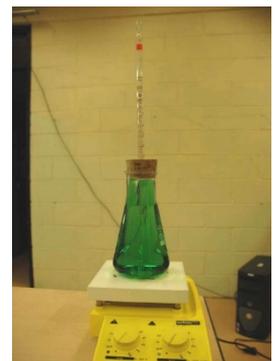
Montrer que le réchauffement climatique a un effet sur la montée des eaux par la dilatation de l'eau.

##### b. Matériel

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

##### c. 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.
- Placez l'erlenmeyer sur une plaque chauffante et observez.



##### d. Observation

L'eau monte dans la pipette graduée.

##### e. 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  $9 \times 10^{-6}$  par degré, alors que celui de l'eau est de  $207 \times 10^{-6}$  par degré, à  $20^\circ\text{C}$  (HECHT, 1999)), l'eau s'étend en montant dans la pipette graduée.

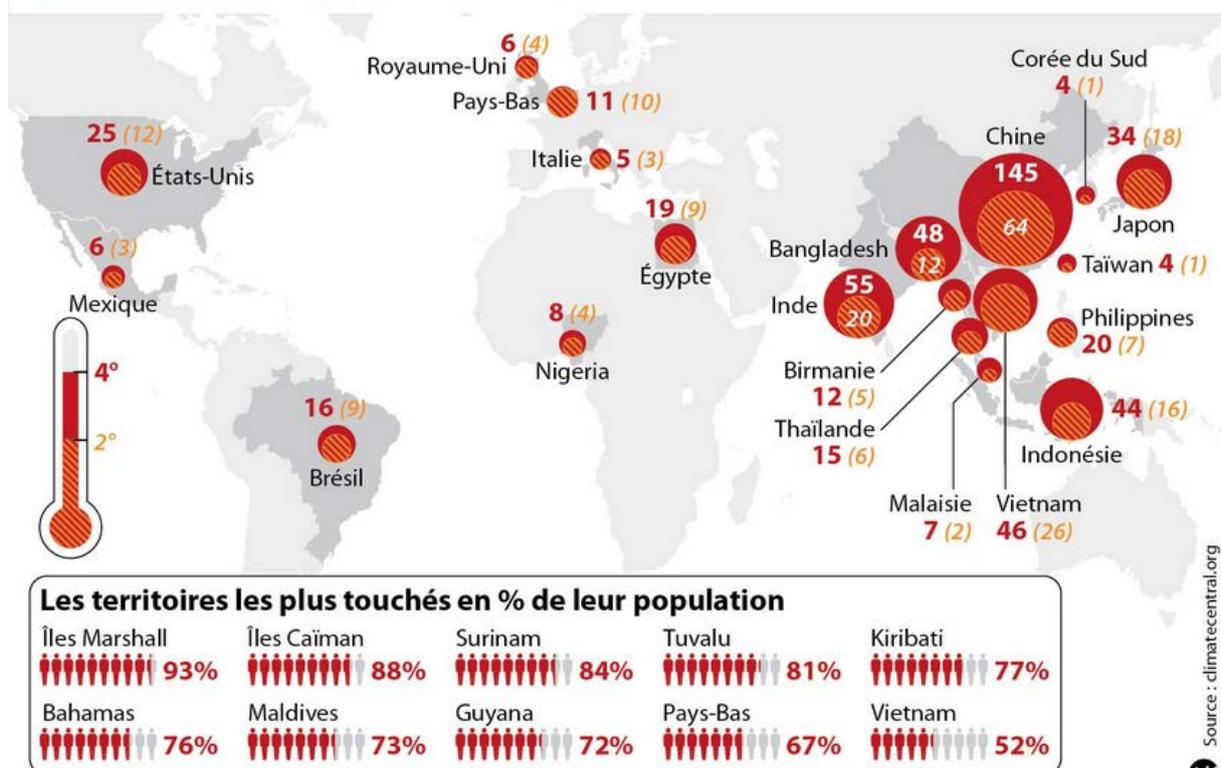
De la même manière, l'augmentation de la température moyenne de surface sur Terre ( $0,74^\circ\text{C}$  entre 1906 et 2005) a conduit à une augmentation moyenne du niveau des mers de  $1,7\text{ mm/an}$  pendant le XX<sup>ème</sup> siècle. A la

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).

## Les 20 pays les plus exposés à la hausse du niveau de la mer

Population dont le domicile serait sous le niveau de la mer (en millions d'habitants en 2010) :

● en cas de réchauffement de 4° C    ● en cas de réchauffement de 2° C



www.climatecentral.org

Plus d'informations concernant l'impact de la montée des eaux :

- <http://www.elic.ucl.ac.be/users/marbaix/impacts/>
- <http://ss2.climatecentral.org/#8/51.848/3.807?show=satellite&projection=s=0-RCP26-SLR&level=5&unit=feet&pois=hide>
- Fiche 6 « Hausse du niveau de l'eau » de ce dossier

## Fiche 2 : Effet de serre

Les manipulations 2A et 2B se différencient par la source de CO<sub>2</sub> gazeux utilisée.

### a. Objectif

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

### b. Manipulation 2A

#### i. Matériel

- 2 grandes bouteilles en plastique découpées aux 2/3
- 1 petite bouteille d'eau pétillante
- De l'eau (robinet)
- 1 feuille de plastique alimentaire transparent
- 2 thermomètres
- 2 lampes

#### ii. 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 la deuxième bouteille découpée l'eau plate (robinet).
- Enlevez le film plastique du premier fond de bouteille.
- Placez les deux fonds de bouteilles sous les lampes en veillant à ce qu'elles soient à la même distance.
- Insérez les sondes des thermomètres dans les trous prévus à cet effet.
- Allumez les lampes.
- Notez, toutes les minutes et cela pendant 10 minutes, la température pour chacun des récipients.

#### iii. Observation

L'augmentation de la température est plus importante dans la bouteille contenant du CO<sub>2</sub> (eau pétillante ou CO<sub>2</sub> gazeux).

## c. Manipulation 2B

### i. Matériel

- 2 grandes bouteilles en plastique découpées aux 2/3
- 1 source de CO<sub>2</sub> (appareil type *soda stream*)
- 2 thermomètres
- 2 lampes
- De la terre ou des graviers

### ii. Mode opératoire

- Insérez la même quantité de terre/graviers dans le fond des deux bouteilles en plastique.
- Prenez l'une des bouteilles, y injecter du CO<sub>2</sub>.
- Placez les deux fonds de bouteilles à égale distance des lampes.
- Insérez les sondes des thermomètres dans les trous prévus à cet effet.
- Si nécessaire, posez les parties sortantes de la sonde des thermomètres sur un berlin retourné afin de les maintenir et d'éviter que les bouteilles ne basculent.
- Allumez les lampes.
- Notez, toutes les minutes et cela pendant 10 minutes, la température pour chacun des récipients.

### iii. Observation

L'augmentation de la température est plus importante dans la bouteille contenant du CO<sub>2</sub> (eau pétillante ou CO<sub>2</sub> gazeux).

## d. Explications

Les expériences illustrent le mécanisme de l'effet de serre. Cependant, l'atmosphère terrestre est composée 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  $\text{CO}_2$ , le méthane  $\text{CH}_4$ , l'ozone  $\text{O}_3$ , etc.) a augmenté de manière significative suite aux activités humaines (développement de l'industrie lourde, augmentation 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.

Gaz	Concentration (ppmv)	Volume (%)
Azote ( $\text{N}_2$ )	780840	78,084
Oxygène ( $\text{O}_2$ )	209460	20,946
Argon (Ar)	9340	0,934
<b>Dioxyde de carbone (<math>\text{CO}_2</math>)</b>	408,16	0,0408
Néon (Ne)	18,18	$1,8 \cdot 10^{-3}$
Hélium (He)	5,24	$5,24 \cdot 10^{-4}$
<b>Méthane (<math>\text{CH}_4</math>)</b>	1,745	
Krypton (Kr)	1,14	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Hydrogène ( $\text{H}_2$ )	0,55	$5,0 \cdot 10^{-5}$
<b>Protoxyde d'azote (<math>\text{N}_2\text{O}</math>)</b>	0,30	$3^{-5}$
<b>Ozone (<math>\text{O}_3</math>)</b>	De 0 à 0,07	
<b>Vapeur d'eau (<math>\text{H}_2\text{O}</math>)</b>	De 1% dans les régions polaires à 5% dans les régions équatoriales- très variable-	

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosphère\\_terrestre](https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosphère_terrestre)

Le schéma suivant (bilan radiatif de la Terre) nous montre le rôle des gaz à effet de serre comme l'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ) et le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ). 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 a 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 et par évapotranspiration des plantes. Ces

3 processus représentent 30% de perte 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 la figure 1).

Comment expliquer que le sol émette plus de 100% d'énergie ? **La majorité du rayonnement infrarouge émis par le sol est piégé 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 144% du rayonnement solaire arrivant au sommet de l'atmosphère (58-9+95=144) 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 équilibre 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 !

### Cycle de l'énergie : effet de serre

= "piégeage" naturel de l'énergie dans l'atmosphère

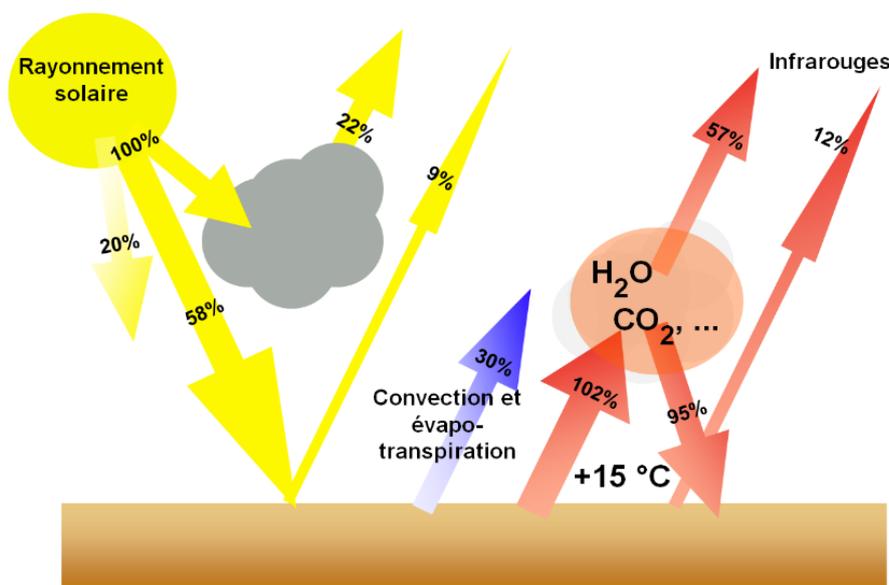


Figure 1 : cycle de l'énergie— effet de serre (UCLouvain / TECLIM (Philippe Marbaix), basé sur GIEC, 4e rapport d'évaluation (2007), Groupe de travail 1, chapitre 1, question fréquente (FAQ)1.1 (Figure1) <https://www.ipcc.ch>

La **courbe de Keeling** (figure 2) est un graphique de l'évolution de la concentration de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) dans l'atmosphère terrestre depuis 1958. Elle est basée sur les mesures en continu faites à l'observatoire de Mauna Loa à Hawaï à l'origine sous la supervision de Charles Keeling.

Ces mesures montrent l'augmentation rapide des niveaux de  $\text{CO}_2$  et leur variabilité au cours de l'année, due aux variations saisonnières causées par les plantes.

Ces données ont été l'une des premières preuves de l'impact de la consommation des énergies fossiles par les sociétés humaines sur l'atmosphère, les concentrations de  $\text{CO}_2$  atteignant des valeurs probablement jamais égalées au cours des derniers 3 millions d'années.

Sur le site internet, vous pouvez observer les mesures en fonction de diverses échelles de temps : jour, semaine, mois, année, ...

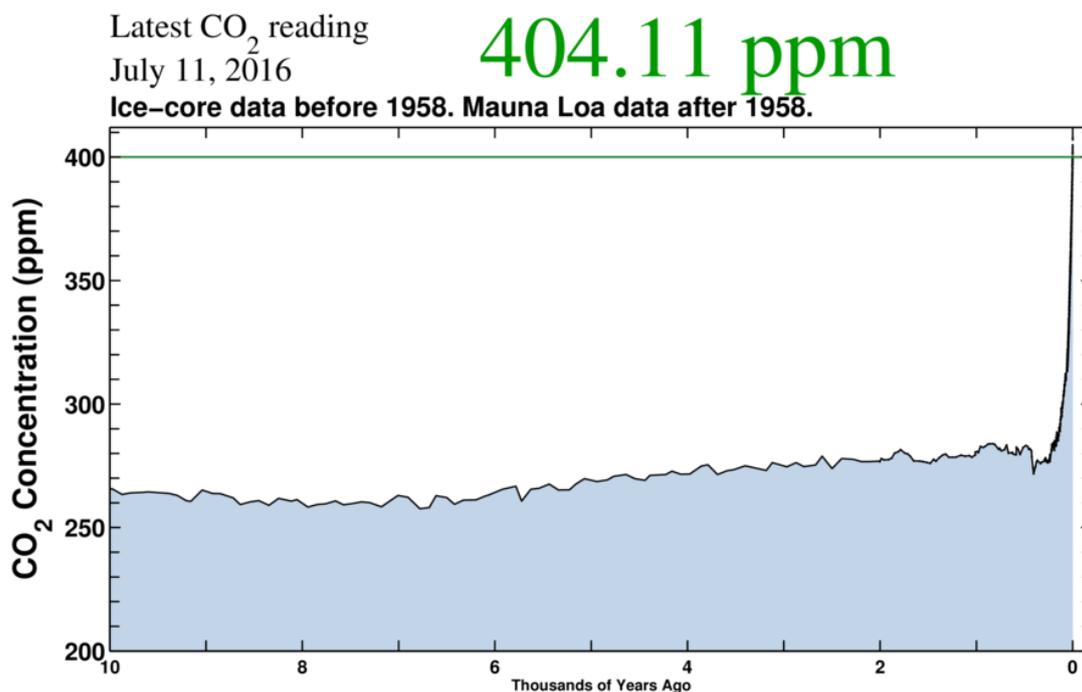


Figure 2 : Courbe de Keeling  
<https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>

## Fiche 3 : Perturbation des courants marins

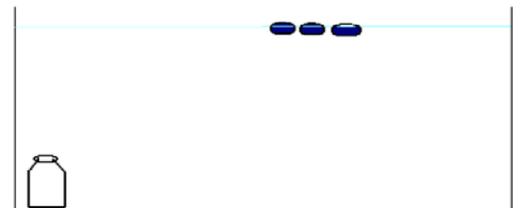
### a. Objectif

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

### b. Manipulation 3A

#### i. Matériel

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



#### ii. 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 de colorant.
- 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 près de l'autre paroi de l'aquarium.
- Observez.

#### iii. 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.

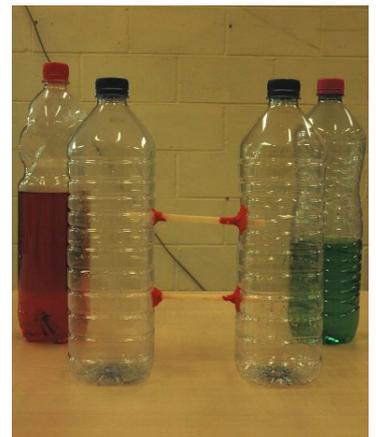
## c. Manipulation 3B

### i. 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)
- 4 pinces à linge
- 1 plaque chauffante ou une bouilloire électrique
- 1 bécher (si plaque chauffante)
- 1 thermomètre

### ii. Mode opératoire

- Préparez une bouteille réservoir d'eau chaude (max 45°C) 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 les bouteilles réservoirs.
- Fermez les bouteilles réservoirs 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.



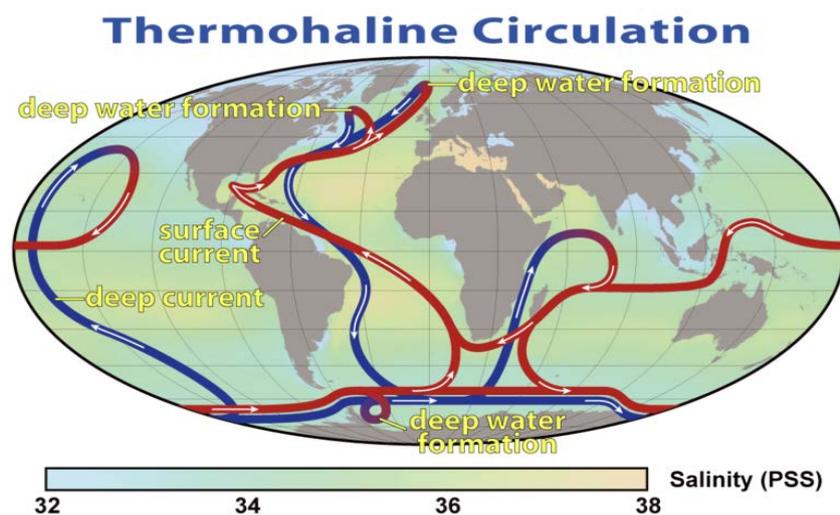
### iii. Observation

On observe un courant qui se met en place entre les 2 bouteilles : l'eau chaude (rouge) passe de la bouteille rouge à la bouteille bleue par la paille supérieure alors que l'eau froide (bleue) passe de la bouteille bleue à la bouteille rouge par la paille inférieure.

Par ailleurs, après quelques minutes, au toucher on constate pour les deux bouteilles que le bas de la bouteille est froid alors que le haut de la bouteille est chaud.

## d. 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).



Circulation thermohaline (Source :  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thermohaline\\_Circulation\\_2.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thermohaline_Circulation_2.png))

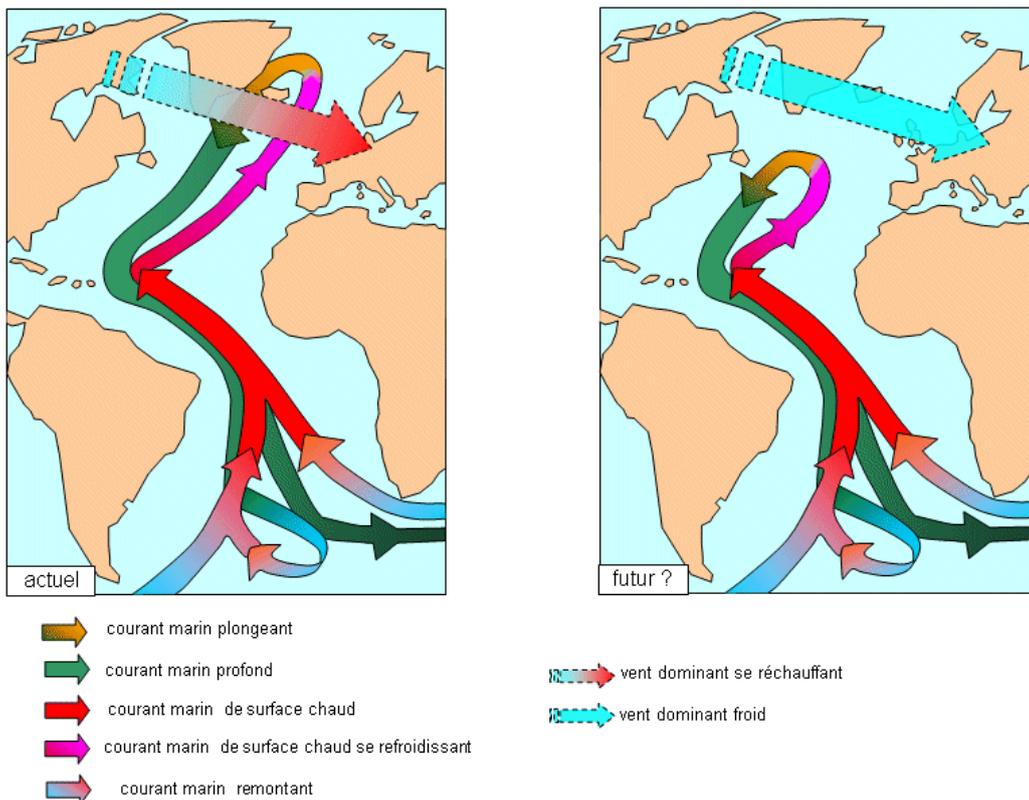
Ce tapis roulant se refroidit à hauteur du Pôle Nord et descend vers les profondeurs. En hiver, les sels rejetés lors de la formation de la glace alourdissent encore les masses d'eau froides qui plongent encore plus vers les profondeurs. Ensuite, les courants se réchauffent dans l'Océan Pacifique, provoquant 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. 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.

**déviat**ion du gulf stream: scénario froid sur l'Europe en période de réchauffement !!  
par fonte des calottes glaciaires : eau de fonte faisant une barrière froide => plongement du gulf stream à une latitude + basse



Déviat

ion du Gulf Stream, scénario froid sur l'Europe en période de réchauffement (source : <http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/spip.php?article1636>)

Pour en savoir plus :

- [http://www.climate.be/textbook/pdf/Chapter\\_1.pdf](http://www.climate.be/textbook/pdf/Chapter_1.pdf)
- [http://www.educapoles.org/fr/multimedia/animation\\_detail/les\\_impacts\\_du\\_changement\\_climatique\\_sur\\_locan/](http://www.educapoles.org/fr/multimedia/animation_detail/les_impacts_du_changement_climatique_sur_locan/)

## Fiche 4 : Cycle du carbone et origine du CO<sub>2</sub>

### a. Objectif

Montrer certaines origines du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et discuter du phénomène de combustion dans le contexte du réchauffement climatique.

### b. Matériel

- 1 bécher
- 1 bougie
- 1 paille
- 1 bocal
- 1 allumette
- Eau de chaux (Ca(OH)<sub>2</sub>)

*Pour préparer de l'eau de chaux, vous devez saturer une solution à l'aide d'hydroxyde de calcium. Une fois la solution saturée, vous devez la filtrer.*

### c. 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 contenant un fond d'eau de chaux (0,5 cm). Allumez la bougie, posez le couvercle tout en laissant un léger espace pour laisser passer l'air (et que la bougie ne s'éteigne pas trop vite).
- Observez.



### d. Observation

Première expérience: quand on souffle dans l'eau de chaux, celle-ci se trouble.

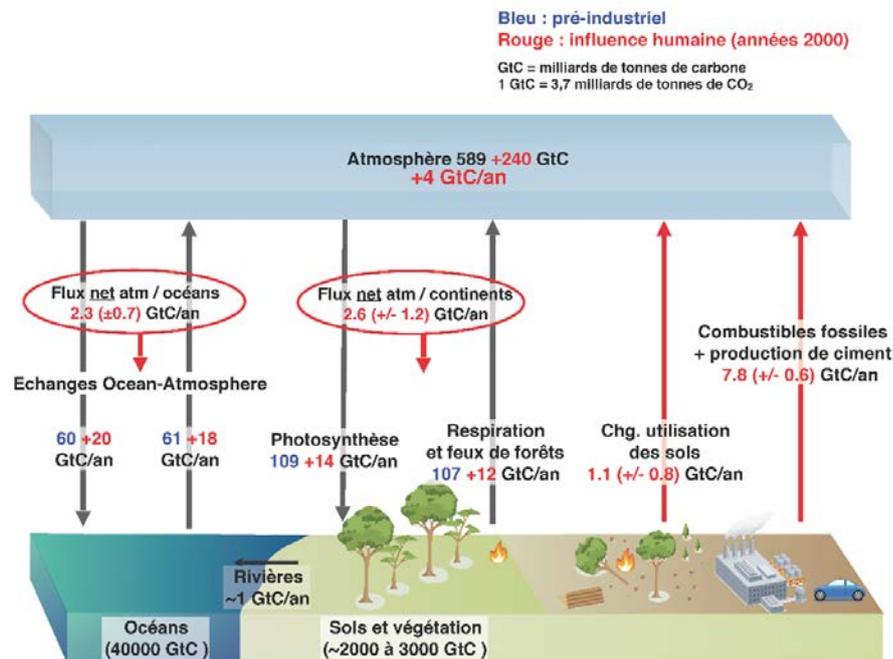
Deuxième expérience: l'eau de chaux se trouvant dans le bocal avec la bougie se trouble progressivement. Au bout d'un certain temps, la bougie s'éteint.

## e. Explications

Première expérience : à chaque expiration, nous envoyons du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) dans l'eau de chaux, ce qui la rend trouble  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ .

Deuxième expérience : l'eau de chaux se trouble au contact d'une bougie. La combustion dégage donc du  $\text{CO}_2$ . Au bout d'un certain temps la bougie s'éteint car elle a besoin d'oxygène pour réaliser la combustion.

Le  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  est ainsi ajouté à l'atmosphère (transports, industries, production d'électricité, chauffage...), 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).



Cycle du carbone. Les nombres en bleus 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 (UCLouvain / TECLIM (Philippe Marbaix), basé sur le 5e rapport du GIEC, groupe de travail 1, chapitre 6, figure 6.1).

Il est important de préciser que l'usage des combustibles fossiles ajoute du CO<sub>2</sub> à l'atmosphère, à l'échelle du temps qui nous concerne. Contrairement à la respiration des plantes qui n'ajoute pas de CO<sub>2</sub> de manière nette et donc n'est pas responsable de l'effet de serre car c'est du CO<sub>2</sub> que la plante a pris auparavant de l'atmosphère.

Le CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> est celui qui participe le plus à l'effet de serre.

Gaz	Durée de vie moyenne	Potentiel de réchauffement global sur 100 ans	Part dans l'effet de serre en 2005 (%)	Sources anthropiques
CO <sub>2</sub>	~100 ans (mais une part reste > 1000 ans)	1	63	Électricité, transports, chauffage, industrie
CH <sub>4</sub>	~12 ans	25	18	Mines, industries pétrole et gaz, déchets, cultures, élevage
N <sub>2</sub> O	114 ans	298	6	Agriculture, industrie chimique
PFCs- hydrocarbures	1000- 50 000 ans	9500- 18200	très faible	Industrie du froid

Tableau : Part de l'effet de serre de différents gaz (UCLouvain / TECLIM (Philippe Marbaix), basé sur GIEC, 4e rapport d'évaluation (2007), Groupe de travail 1, chapitre 1, (p204 et 212), ipcc.ch )

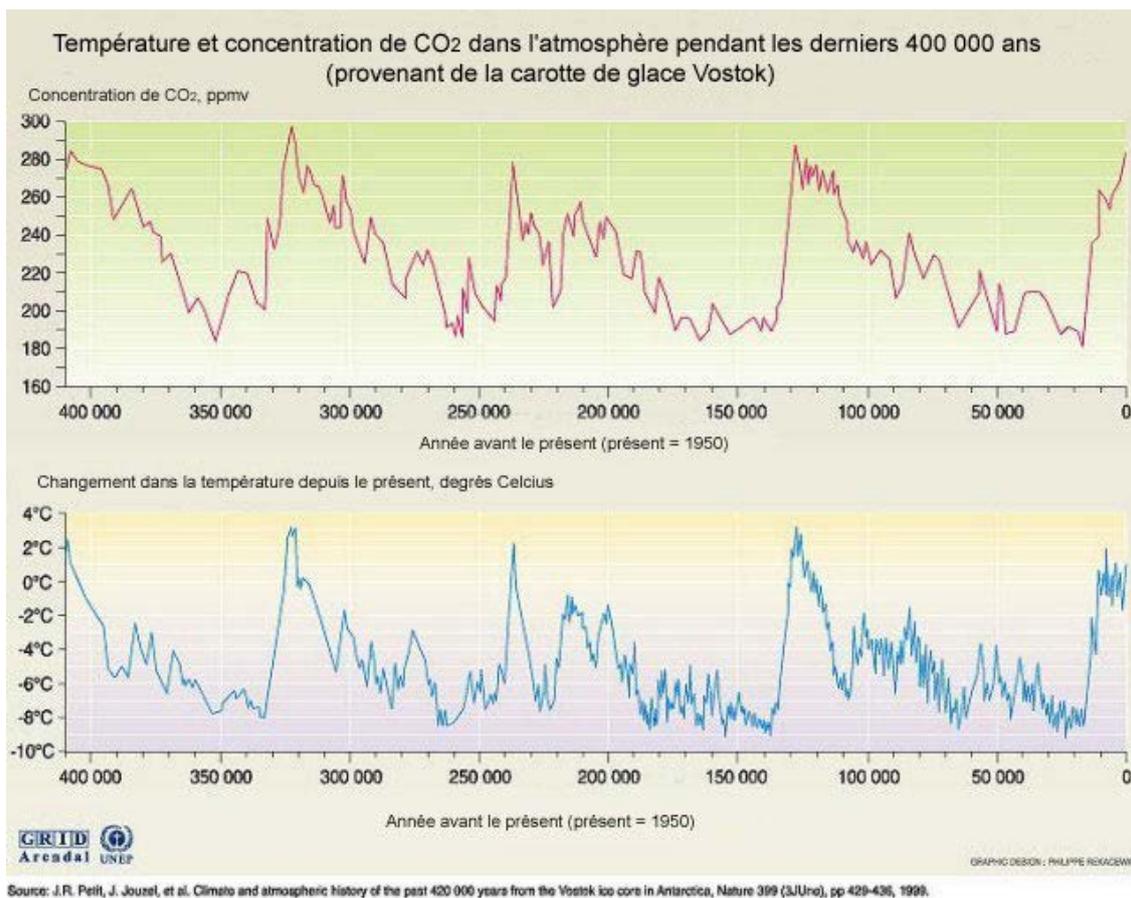
Le potentiel de réchauffement global est un indice de comparaison associé à un gaz à effet de serre qui quantifie sa contribution au réchauffement global comparativement à celle du dioxyde de carbone, cela sur une certaine période. Il tient compte de la durée de vie dans l'atmosphère et de la capacité d'absorption des IR. Il est par définition égal à 1 pour le CO<sub>2</sub>.

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 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation du GIEC (2007), groupe I (<https://www.ipcc.ch/>).

Il existe une corrélation nette, sur les derniers 400 000 ans, entre la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et la température sur Terre, comme nous le montre la figure ci-dessous.



[http://old.grida.no/graphicslib/detail/temperature-and-co2-concentration-in-the-atmosphere-over-the-past-400-000-years\\_25ae](http://old.grida.no/graphicslib/detail/temperature-and-co2-concentration-in-the-atmosphere-over-the-past-400-000-years_25ae)

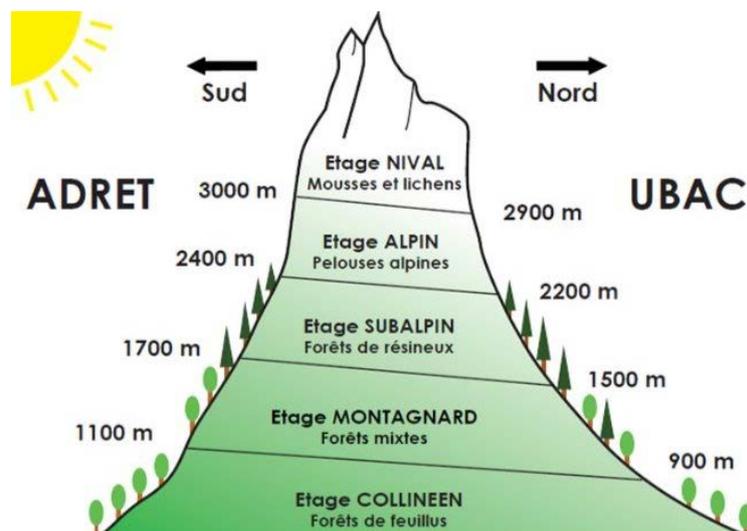
Il faut noter que corrélation ne signifie pas toujours causalité : les variations climatiques glaciaires – interglaciaires sont déclenchées par des variations d'ensoleillement dues aux changements de la position relative de la Terre et du Soleil. Cependant, ces variations de température sont amplifiées 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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  soit à l'origine du réchauffement climatique que nous vivons actuellement. Pour aller plus loin, il est intéressant d'utiliser le tableau ci-dessus 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  $\text{CO}_2$ , par le dégel du permafrost.

## Fiche 5 : Biodiversité

### a. 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).



L'étagement de la végétation en montagne (Source: <https://www.jardinalpindulautaret.fr/jardin/cadre-naturel-exceptionnel/letagement-vegetation-en-montagne>)

### b. Matériel

- Deux montagnes identiques, représentées à des moments différents, 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 ; conséquence du réchauffement climatique.
- 1 fiche explicative sur le lagopède alpin.
- Étiquettes représentant les lagopèdes alpins.
- Épingles



### c. 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.

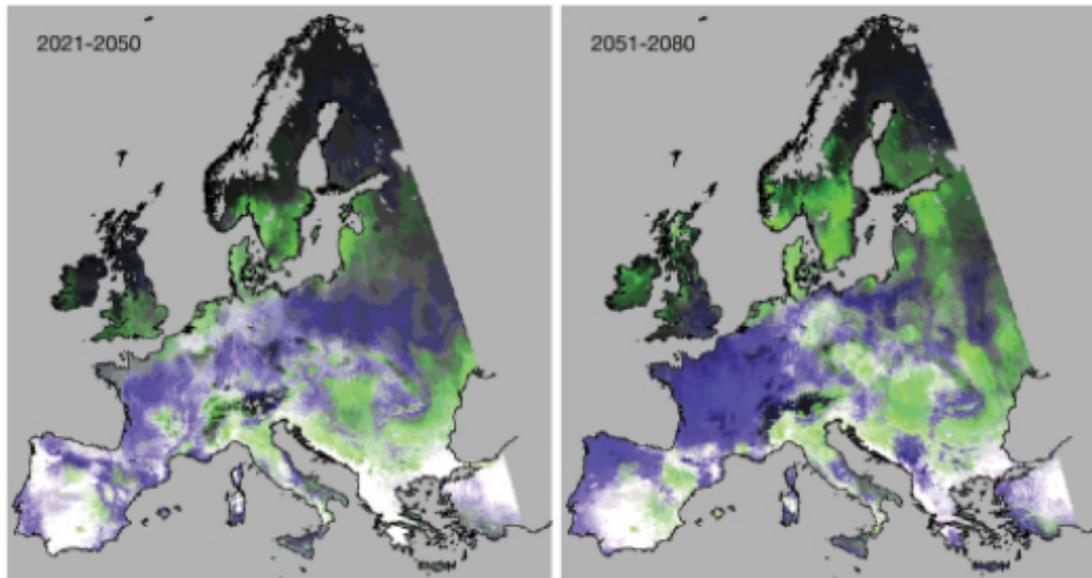
### d. Explications

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 vivent 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 de 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.

Pour 105000 espèces, on a estimé le nombre d'espèces qui perdraient plus de 50% de la zone géographique où le climat leur convient : avec un réchauffement moyen global de 1,5°C, il s'agirait de 9,6% des insectes, 8% des plantes et 4% des vertébrés. Pour un réchauffement de 2°C, la fraction d'espèces concernées est de 18% pour les insectes, 16% des plantes et 8% pour les vertébrés (Source : GIEC (2018), Résumé à l'intention des décideurs du

Rapport Spécial sur un réchauffement climatique de 1,5°C, <http://ipcc.ch/report/sr15/>).



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

Pour exemple, la figure ci-dessus montre des projections de 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

L'image ci-dessous montre l'évolution du glacier de Chacaltaya (5400 m) entre 1994 et 2009.



Evolution du glacier de Chacaltaya (Source : <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/actu/d/climatologie-sommet-copenhague-glaciers-andins-racontent-climat-21890/>)

Pour en savoir plus :

<http://www.educapoles.org/fr/multimedia/category/biodiversite/P10>

## Fiche 6 : Hausse du niveau de l'eau

### a. Objectif

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

### b. Matériel

- Deux bacs à peinture
- Maisons, immeubles miniatures (frigolite)
- Eau
- 1 récipient gradué
- 2 petits supports en verre

### c. Mode opératoire

- Dans chacun des bacs, versez de l'eau jusqu'au trait pour simuler la mer.
- Ajoutez à l'extrémité haute de chaque bac une rangée d'immeubles.
- Soulevez l'un des 2 bacs en posant son extrémité haute (là où se trouvent les immeubles) sur les 2 récipients en verre. Le bac sera ainsi soulevé de +/- 4 cm.
- Ajoutez 800ml d'eau dans les deux bacs et observez.



### d. Explications

La zone côtière constituée de plage à pente faible 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 ont du être rehaussées 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, 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.



En bleu, zone actuellement sous le niveau moyen de la mer. Sans tenir compte de la hausse globale du niveau des mers, le niveau maximal atteint environ une fois par an (en moyenne) suite aux marées et tempêtes est de 5.5 m en Belgique, et environ 7 m tous les 1000 ans. De larges zones sont sous ce niveau et donc déjà protégées des inondations actuellement, dans certaines limites qui deviendraient de moins en moins suffisantes si la hausse se poursuit.



Zone sous le niveau de la mer en cas de hausse de 1m du niveau moyen (en Belgique : 630 km<sup>2</sup>). Ces zones nécessiteraient une protection analogue à ce qui existe actuellement aux Pays-Bas. Pour un niveau de protection donné, le risque d'inondation est accru. Une hausse de 1m représente le maximum projeté à terme d'une centaine d'années (vers 2100).

<https://www.elic.ucl.ac.be/users/marbaix/impacts/>

## Fiche 7 : Fonte des glaces

### a. Objectif

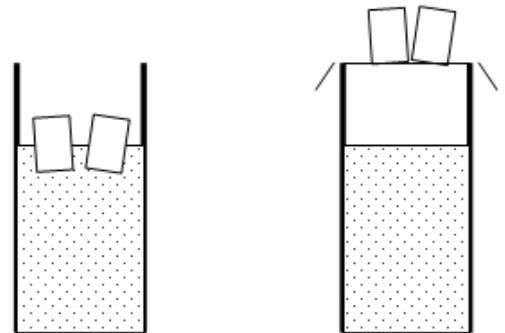
Démontrer que la fonte de la banquise n'augmente pas le niveau des mers, alors que la fonte des glaciers continentaux l'augmente.

### b. Matériel

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

### c. Mode opératoire

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



### d. Observation

Une fois les glaçons fondus, nous observons une augmentation du niveau dans l'eau uniquement dans le cas où les glaçons étaient présents au-dessus de l'eau.

### e. Explications

Quand les glaçons sont au départ dans l'eau, flottant comme des icebergs avec  $\frac{8}{9}$  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.

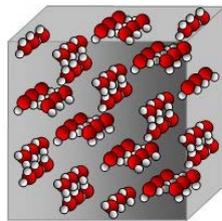
Si les icebergs ou la banquise ne modifient pas (ou augmentent de manière tout-à-fait négligeable) le niveau des océans en fondant, cela résulte d'une combinaison de facteurs qui demandent une analyse approfondie.

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, 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.

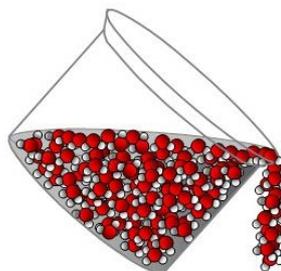
Lorsque la banquise fond, l'eau de fonte qui en résulte a une masse volumique plus élevée que la glace et occupe donc un volume moindre que celui de la banquise.

**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 1).**

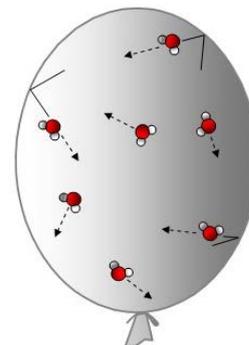
### L'EAU ET LES ÉTATS DE LA MATIÈRE



**SOLIDE**  
glace



**LIQUIDE**



**GAZ**  
Vapeur d'eau

Ào-toulouse / GL / image libre de droit

Organisation spécifique des molécules d'eau dans ses différents états (Source : <http://www.clayinformatique.ch/physiqueenquestions/wp-content/uploads/2011/09/EAU-et-ETATS-DE-LA-MATIERE.jpg>)

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.

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.

La dilatation de l'eau de mer est aussi responsable d'une partie importante de la hausse du niveau des mers. Préciser l'ampleur de la fonte des glaces continentales et son évolution future est une question difficile : les détails des mécanismes physiques sont complexes, et les connaissances s'améliorent notamment à mesure que le phénomène lui-même évolue, permettant de nouvelles observations. Les évaluations récentes suggèrent généralement une élévation plus rapide que les évaluations plus anciennes. Si le réchauffement se maintient pendant une certaine durée à un niveau de l'ordre de 1,5°C à 2°C, la fonte pourrait devenir irréversible et engendrer en quelques centaines à quelques milliers d'années une hausse de plusieurs mètres (<http://ipcc.ch/reort/sr15/>).

Si la fonte des banquises n'a aucun impact sur la montée du niveau des mers, elle a par contre des conséquences irréversibles en termes de biodiversité puisqu'elles sont l'habitat unique de certaines espèces animales comme l'ours polaire (banquise arctique).

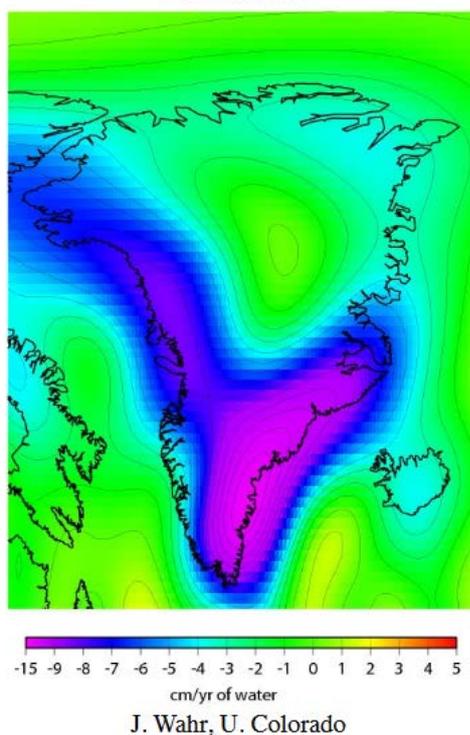
A cause du réchauffement climatique, la banquise arctique fond plus tôt dans l'année et plus qu'avant (perte de 1/3 de la superficie depuis 1960), ce qui diminue la saison de chasse. Les ours polaires ne trouvent donc plus assez de nourriture pour constituer leurs réserves avant d'hiberner et

maigrissent. Suite à cet amaigrissement, les femelles ne produisent plus assez de lait pour leurs petits qui s'affaiblissent.

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.

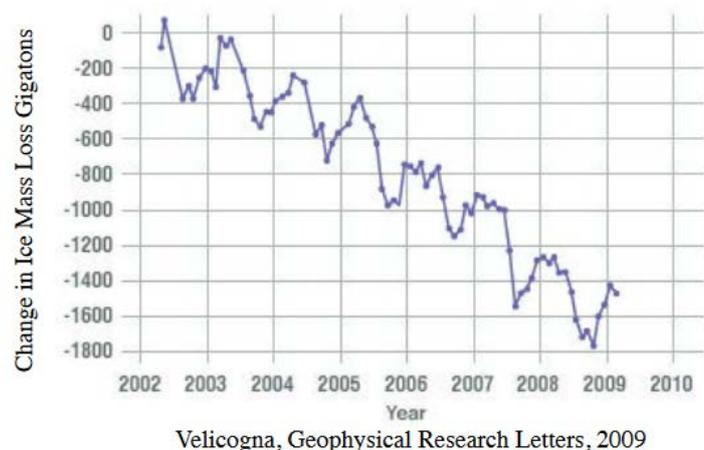
Rappelons aussi l'impact que pourrait avoir la fonte massive de la banquise sur les courants marins (cf. Fiche 3 Courants marins). Celle-ci apporterait une quantité importante d'eau douce au niveau du Pôle Nord, endroit où les courants (dont le Gulf Stream) sont censés plonger vers les profondeurs. Cet 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).

### Greenland



### GREENLAND MASS VARIATION SINCE 2002

Data source: Ice mass measurement by NASA's Grace satellites.



Diminution de la masse glaciaire du Groenland  
(Source : NASA GRACE Gravity mission)

## Fiche 8 : Albédo

### a. Objectif

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

### b. Matériel

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

### c. Mode opératoire

#### Manip 1

- Fermez chacune des bouteilles avec les bouchons percés.
- Insérez un thermomètre dans chacune des bouteilles.
- Placez les bouteilles devant la lampe allumée. *Ne pas placer les bouteilles trop proches des lampes si non elles risquent de fondre.*
- Notez la température de départ.
- Après cinq et dix minutes, relevez à nouveau les températures.

#### Manip 2

- Placez les plaques sous la lampe allumée 5 min.
- Touchez chaque plaque avec vos mains.
- Mesurez la température des plaques avec le thermomètre IR.

*Remarque: si les plaques et les bouteilles ont été utilisées par un groupe précédent, changez de plaques et de bouteilles.*

### d. Observation

On constate que la température est plus élevée à l'intérieur de la bouteille noire qu'à l'intérieur de la blanche, et sur la plaque noire par rapport à la plaque blanche.

### e. Explications

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.

Lorsque les changements climatiques génèrent une diminution de l'albédo, telle que lorsque de la glace fond et est remplacée par une surface plus sombre, la quantité d'énergie solaire absorbée en surface augmente, ce qui amplifie le réchauffement.

## Fiche 9 : Acidification des océans

### a. Objectif

Montrer que l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique entraîne une augmentation du CO<sub>2</sub> dans les mers et océans.

### b. Matériel

- 2 béchers
- 2 pailles
- Bleu de bromothymol (indicateur de pH)

### c. Mode opératoire

- 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 et observez.

### d. Observation

On observe un changement de couleur dans le bécher dans lequel on souffle, du bleu on passe au vert.

### e. Explications

A chaque expiration, nous envoyons du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans la solution. Le bleu de bromothymol étant un indicateur coloré de pH, celui-ci vire au vert par la présence de CO<sub>2</sub> qui acidifie la solution:  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ .

Les gaz dans l'air s'équilibrent naturellement avec les gaz contenus dans l'eau. Lorsque la concentration en CO<sub>2</sub> augmente dans l'air, elle augmente aussi dans l'eau (avec un peu de retard). Lorsque le CO<sub>2</sub> entre ainsi dans l'océan, il se combine avec les molécules d'eau pour former de l'acide carbonique (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). En termes simples, cette augmentation d'acide peut être considérée comme ce qui cause réellement l'acidification (cfr point 1, figure 1).

En réalité, la variation de pH en elle-même est le résultat de la libération d'ions hydrogènes (H<sup>+</sup>) se produisant lorsque l'acide carbonique se scinde naturellement en molécules de carbonate (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) et de bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

L'augmentation de la concentration en ions  $H^+$  conduit à une diminution du pH, et donc à une augmentation de l'acidité (cfr points 2 et 3, figure 1).

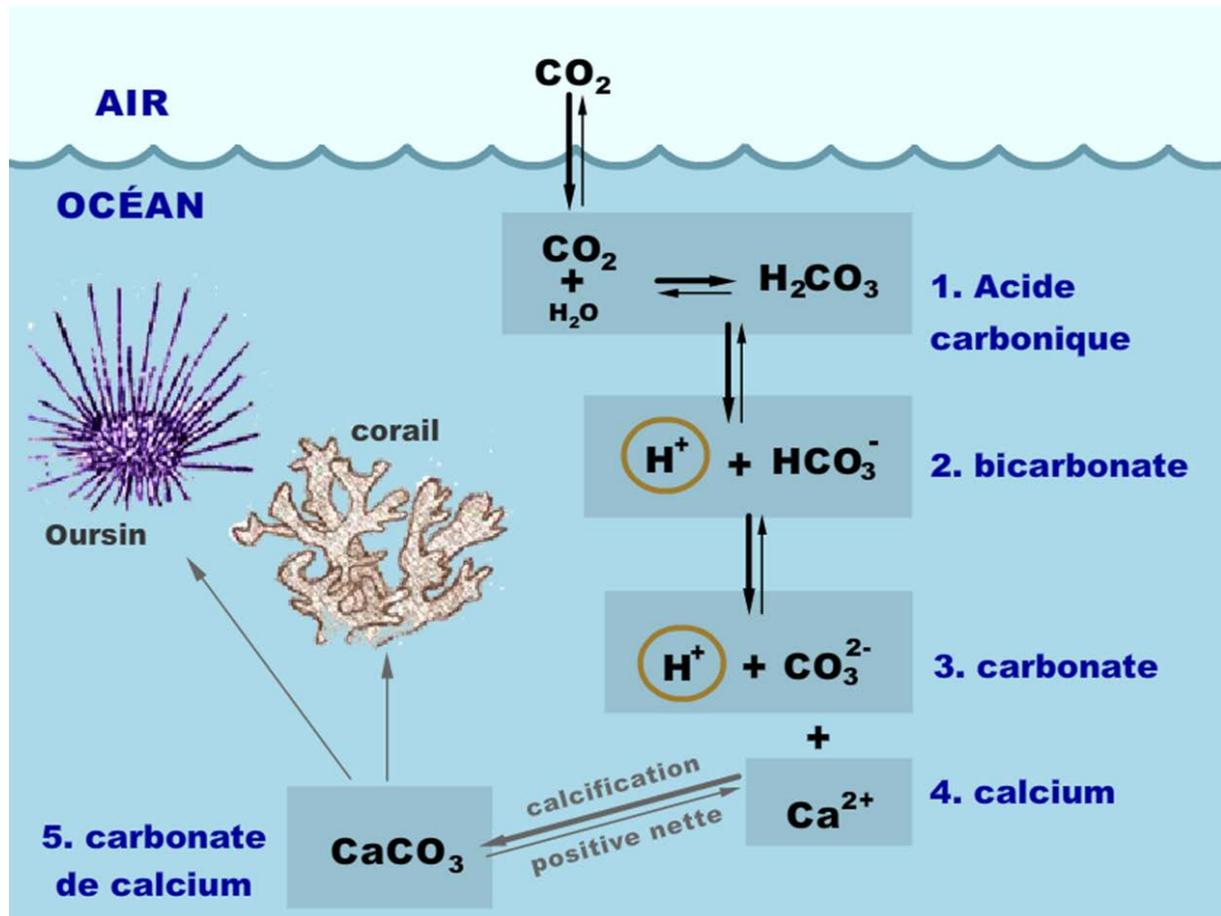


Figure 1: le carbone dans l'eau

Source : [http://i2sea.stanford.edu/AcidOcean/AcidOcean\\_Fr.htm](http://i2sea.stanford.edu/AcidOcean/AcidOcean_Fr.htm)

Avec les ions  $H^+$  supplémentaires dans l'eau, l'équilibre chimique est déplacé vers le bicarbonate. Cela se produit à cause de l'excès des ions  $H^+$  qui tendent à se combiner à du carbonate pour former du bicarbonate. L'acide carbonique est moins stable que le bicarbonate dans l'eau de mer, de sorte que la réaction est déplacée vers le bicarbonate :  $CO_3^{2-} + H^+ \rightarrow HCO_3^-$  (cfr réactions 3, figure 1).

En résumé, l'excès du  $CO_2$  entraîne une baisse du pH, une augmentation du bicarbonate et une réduction du carbonate. Le taux de calcium reste stable mais, avec moins de carbonate disponible, moins de carbonate de calcium peut se former chez les animaux qui l'utilisent pour construire leur squelette. Cela peut entraîner, entre autre, une fragilisation du squelette et un ralentissement de la croissance (cfr point 4, figure 1).

## Fiche 10 : Plantes et cycle du carbone

### a. Objectif

Montrer que les plantes consomment du  $\text{CO}_2$  lors de la photosynthèse et qu'elles jouent donc un rôle important dans la teneur en gaz dans l'atmosphère.

### b. Matériel

- 2 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

### c. Mode opératoire

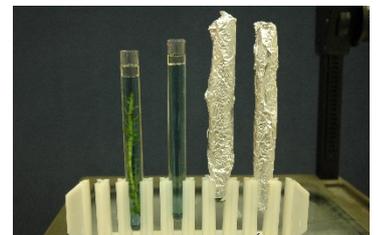
1<sup>ère</sup> étape :

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



2<sup>ème</sup> étape :

- Versez cette solution dans les 4 tubes à essai.
- 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.



## d. Explications

**1ère étape :** On observe un changement de couleur. A chaque expiration, nous envoyons du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ). Le bleu de bromothymol étant un indicateur coloré de pH, celui-ci vire au vert par la présence de  $\text{CO}_2$  qui acidifie la solution  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$ .

**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 :  $6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$ .

Cette expérience nous montre que les plantes jouent un rôle important dans la teneur en gaz (et plus précisément en  $\text{O}_2$  et  $\text{CO}_2$ ) dans l'atmosphère.

Les végétaux jouent un rôle prépondérant dans la fixation du  $\text{CO}_2$  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. Ce déboisement se poursuit à un rythme qui reste très élevé, avec un effet non négligeable sur la teneur en  $\text{CO}_2$  atmosphérique : comme il y a moins d'arbres, les forêts absorbent moins de  $\text{CO}_2$ . En même temps, du  $\text{CO}_2$  est émis suite à l'incendie des arbres.

La déforestation représente ainsi 20 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre.



Déforestation annuelle et cumulée de l'Amazonie brésilienne (Source : <https://www.cbd.int/doc/publications/gbo/gbo3-final-fr.pdf>)

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.