

## Chapitre 4

### Expériences – Un rapide aperçu de la bibliothèque CarboSchools

Par Sally Soria-Dengg,  
IFM-GEOMAR (Institut Leibniz des sciences océaniques), Kiel, Allemagne  
et Marc Jamous, LSCE-IPSL, Paris, France

*Faire des expériences est un moyen motivant et stimulant de faire découvrir et d'enseigner la science, que les élèves adorent parce que c'est « amusant ». Il est rare d'avoir l'occasion d'apprendre en s'amusant, et il faut saisir cette chance chaque fois qu'elle se présente. L'expérimentation permet aux élèves de visualiser les idées abstraites dont ils ont entendu parler dans les livres ou en cours. Pourtant en Europe, les opportunités de réaliser des expériences en classe, différentes selon les pays, sont le plus souvent réduites par les contraintes des programmes et surtout, hélas, par manque de ressources. Dans un pays comme l'Allemagne, où le système éducatif est sous l'autorité de plusieurs États, les différences de programmes entraînent aussi différentes approches d'une discipline.*

*Les élèves croient souvent à tort que faire une expérience consiste à exécuter un ensemble de gestes définis pour aboutir à un résultat attendu. Pourtant, un des charmes de l'expérimentation est précisément que les choses peuvent aller mal et que l'on est autorisé à se tromper – car ces « accidents » augmentent la valeur des expériences en permettant aux élèves d'apprendre de leurs erreurs. Idéalement, on devrait laisser aux élèves la possibilité de formuler leurs propres questions et hypothèses et, sous la conduite d'un professeur, de trouver comment les tester à travers leurs propres expériences – un fonctionnement difficile à mettre en œuvre dans le cadre de l'école car il demande beaucoup de temps et d'efforts.*

*L'un des objectifs des expériences développées par CarboSchools est de fournir aux professeurs un large éventail d'activités pour introduire le concept de cycle du carbone en classe. Ces activités peuvent être utilisées directement ou modifiées et adaptées pour des besoins spécifiques. Les expériences peuvent servir de base aux élèves pour approfondir leur réflexion sur le cycle du carbone et inspirer leurs propres expériences.*

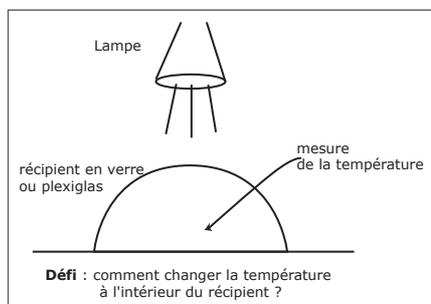
*La majorité des expériences développées par CarboSchools peuvent être réalisées à faible coût et ne requièrent aucun équipement spécifique. On a pris soin de s'assurer qu'elles peuvent être reprises en classe avec un temps de préparation minimal pour le professeur. Pour certaines expériences cependant, des instruments coûteux sont nécessaires et il faudra alors chercher l'aide d'un institut de recherche, ce qui permettra par ailleurs de mettre les élèves en contact avec le monde de la recherche et les chercheurs, dans un véritable laboratoire (le chapitre 3 décrit en détail comment trouver et établir des contacts avec les instituts de recherche). La diversité des approches dans les différents projets CarboSchools se reflète dans la variété des activités et expériences développées. Des descriptions détaillées de toutes les expériences sont disponibles dans la bibliothèque en ligne de CarboSchools ([www.carbo-schools.org/libraryHome.php](http://www.carbo-schools.org/libraryHome.php)).*

*Dans ce chapitre, trois expériences représentatives ont été choisies ; elles concernent des phénomènes en jeu dans respectivement l'atmosphère, l'hydrosphère et la lithosphère, trois compartiments de la structure terrestre qui jouent un rôle majeur dans le cycle du Carbone. Ces exemples veulent montrer la structure et la présentation des expériences dans la bibliothèque ; ils rendent compte de la diversité des ressources disponibles.*

## Atmosphère

### Comment la température globale est-elle régulée ? Une représentation expérimentale

Voici une première expérience très simple pour introduire l'étude des changements climatiques. Le modèle expérimental qui suit résume la régulation de la température à la surface de la Terre.



La terre ou le sable dans le récipient représentent la surface terrestre, la lampe représente le soleil. Le récipient représente les gaz à effet de serre (mais PAS l'atmosphère), parce que le verre ou le plexiglas ont la même transparence et les mêmes propriétés d'absorption que ces gaz vis-à-vis de la lumière : transparence à la lumière visible mais opacité aux radiations infrarouges. Cette expérience illustre aussi l'origine du nom « gaz à effet de serre » car il s'agit en effet de créer une serre.

### Objectif

Aider les étudiants à comprendre les phénomènes en jeu lors de la régulation de la température à la surface de la Terre.

TEMPS DE PRÉPARATION : 10-15 minutes  
 DURÉE DE L'ACTIVITÉ : 2 heures  
 TYPE D'ACTIVITÉ : pratique expérimentale  
 ÂGE DES ÉLÈVES AYANT TESTÉ L'ACTIVITÉ : 14-17 ans  
 APPLICATION : physique, absorption et réflexion de la lumière  
 DURÉE DE L'ANALYSE DES DONNÉES ET DE LA DISCUSSION : 1-2 heures  
 CONNAISSANCES PRÉALABLES REQUISES : bases sur les gaz à effet de serre et l'atmosphère  
 COÛT : faible ; les matériaux nécessaires sont disponibles dans les établissements scolaires  
 DEGRÉ DE DIFFICULTÉ : facile

### Matériel

- Récipients transparents du type saladier (en verre ou en plexiglas) qui peuvent s'emboîter les uns dans les autres
- Thermomètres
- Sable et terre de différentes couleurs (du papier noir et blanc peut suffire)
- Lampes de bureaux

### Procédure

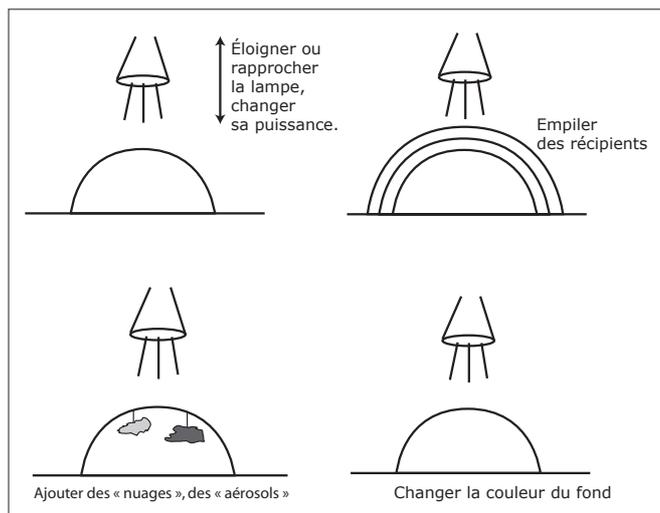
1. Installez le récipient retourné, la lampe et le thermomètre comme sur la photo ci-dessus.
2. Demandez aux élèves comment changer la température dans le récipient en restant réaliste : puisque la lampe représente le Soleil, l'éteindre pour réduire la température n'est pas une solution possible, car elle reviendrait à éteindre le Soleil.
3. Si vous le souhaitez, posez un défi encore plus précis aux élèves : augmenter la température de 1 degré en suggérant différentes solutions. Cet exercice est intéressant parce qu'il montre que différents phénomènes peuvent avoir le même résultat ; la température à la surface de la Terre peut varier pour diverses raisons.

### Solutions possibles (mais laissez les élèves les trouver seuls)

- Placer la lampe plus ou moins loin du récipient correspond à l'éloignement plus ou moins grand du Soleil par rapport à la Terre en fonction de sa trajectoire, ou à la variation d'intensité de ses

rayons. Modifier la puissance de la lampe peut aussi être accepté comme une représentation du même phénomène.

- Augmenter le nombre des récipients correspond à une augmentation des gaz à effet de serre. Afin d'observer un gradient de température similaire à celui de l'atmosphère (ou de la troposphère pour être précis), placez un thermomètre entre chaque récipient.
- Changer la couleur de fond représente les changements de couleur de l'atmosphère (du fait de la présence de nuages par exemple) ou de la surface terrestre (la fonte des glaces contribue à assombrir la couleur moyenne de la surface terrestre alors que l'extension des déserts l'éclaircit).
- Ajouter des morceaux de feuilles d'aluminium représente les nuages et les aérosols. C'est intéressant car les résultats sont imprévisibles. Les nuages et les aérosols constituent de grandes inconnues dans les modèles de prévisions des changements climatiques.



### Comment réaliser les mesures ?

La difficulté de cette expérience est que la température sous le récipient met du temps à se stabiliser (plus de 50 minutes). Cela oblige soit à attendre la stabilisation pour obtenir des températures comparables, soit à commencer l'expérience avec les mêmes températures initiales et à prendre note des changements de température. La seconde solution est plus simple à mettre en œuvre en classe car elle permet aux élèves de voir rapidement les différences de température (entre 2 et 5 minutes). Elle donne en outre l'occasion d'aborder la notion d'équilibre : lorsque l'on change un paramètre, une variable change lentement, jusqu'à atteindre une nouvelle valeur, qui est le résultat d'un équilibre. Il en va de même pour les changements climatiques : même si on arrête maintenant nos émissions de gaz à effet de serre, la température continuera d'augmenter.

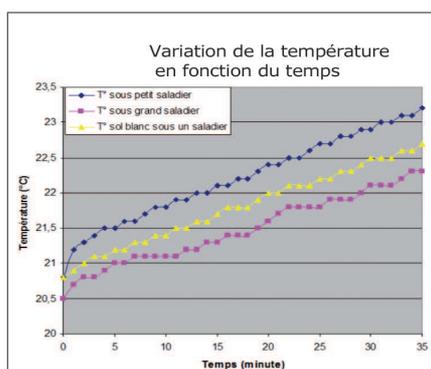
### Quelques exemples de dispositifs mis en place

Ces exemples sont issus de travaux réalisés par une classe de seconde (lycée de Vilgenis, Massy) en cours de SVT, lors de deux séances d'une heure et demie incluant le temps nécessaire à la prise de photos et à la réalisation de posters. Les élèves ont opté pour la deuxième façon de mesurer (noter les changements de température) puisqu'ils n'avaient pas le temps d'attendre que la température se stabilise.

#### 1) Augmentation de la concentration de gaz à effets de serre

MODÈLE EXPÉRIMENTAL :

les élèves ont choisi d'empiler deux récipients. La température était mesurée sous les deux bols (courbe bleue du graphique ci-dessous) et entre les deux (courbe rose).



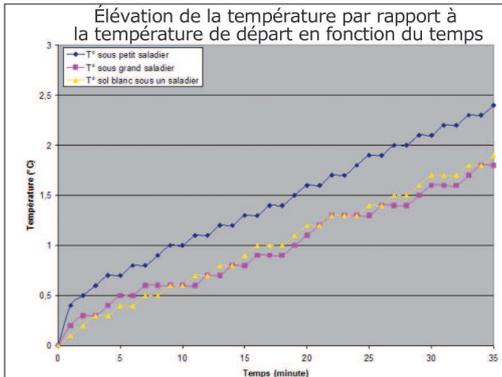
RÉSULTATS

Le graphique ci-contre rend compte des variations des températures mesurées en fonction du temps :

- Courbe jaune : température sous un seul récipient, courbe témoin
- Courbe bleue : température sous les deux récipients (correspondant à une situation dans laquelle la concentration en gaz à effet de serre a augmenté)
- Courbe rose : température entre les deux récipients (correspondant aux températures mesurées au milieu de la troposphère)



On observe sur le graphique que les températures varient dès le début de l'expérience. Pour obtenir des résultats comparables, les élèves produisent un graphique montrant l'augmentation de la température en relation avec le début de l'expérience (graphique ci-dessous).



Augmentation de la température au cours du temps par rapport aux conditions initiales :

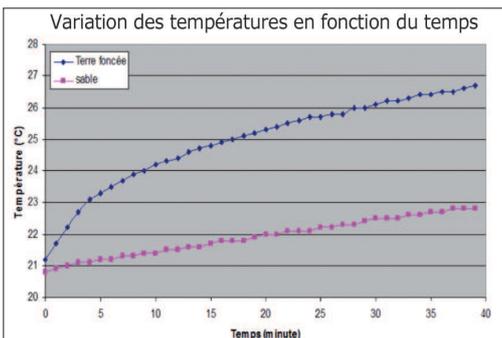
- Courbe jaune : température sous un seul récipient, courbe témoin
- Courbe bleue : température sous les deux récipients (correspondant à une situation dans laquelle la concentration en gaz à effet de serre a augmenté)
- Courbe rose : température entre les deux récipients (correspondant aux températures mesurées au milieu de la troposphère)

Ces expériences montrent qu'en augmentant le nombre de récipients entre la lumière et la terre, les températures de la terre augmentent. En outre, un gradient de température est créé en augmentant les couches de verre. Ce modèle expérimental est donc une bonne analogie des gaz à effet de serre.



## 2) Changer la couleur de la surface de la Terre

MODÈLE EXPÉRIMENTAL : a) sous un récipient avec un sol sombre, b) sous un récipient avec un sol de sable clair.

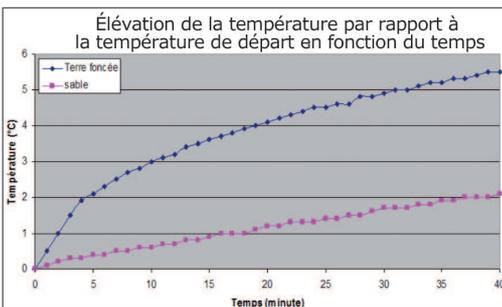


RÉSULTATS

Le graphique ci-contre rend compte des variations des températures mesurées en fonction du temps :

- Courbe rose : température mesurée avec un sol de sable clair
- Courbe bleue : température mesurée avec un sol sombre

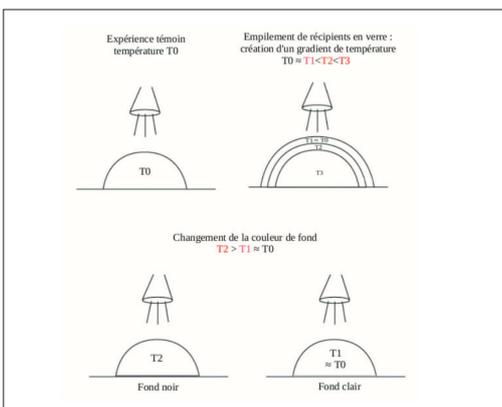
Là encore, comme les conditions de température initiales différaient un peu, les élèves ont produit un second graphique pour montrer la hausse de température par rapport à ce qu'ils avaient mesuré au début de l'expérience.



Augmentation de la température au cours du temps par rapport aux conditions initiales :

- Courbe rose : température mesurée avec un sol de sable clair
- Courbe bleue : température mesurée avec un sol sombre

Ces expériences montrent que la couleur du sol a une influence sur ses températures : plus le sol est sombre, plus la température est haute. Ce phénomène peut être expliqué par le fait que les surfaces sombres absorbent davantage l'énergie de la lumière visible.



Lors d'une discussion avec les élèves, il a été souligné que la fonte des glaces a un effet aggravant sur la hausse des températures : une augmentation de la température conduit à la fonte des glaces aux pôles, qui provoque un assombrissement de la couleur moyenne de la Terre (le blanc est remplacé par le bleu sombre de l'océan ou le brun des continents); en conséquence l'énergie absorbée par la Terre augmente, d'où hausse des températures, fonte des glaces, etc. Un cercle vicieux connu sous le nom de « retour positif » a commencé.

# Hydrosphère

## Interaction à l'interface air-eau

Que se passe-t-il à la surface d'un plan d'eau (lac ou mer) quand du dioxyde de carbone se dissout dans l'eau? Les surfaces d'air et d'eau sont le lieu d'échanges gazeux constants. La température est l'un des facteurs susceptibles d'affecter ces échanges. Dans une large étendue d'eau, qu'arrive-t-il aux gaz qui sont dissous à la surface et ne sont pas transportés dans des couches plus profondes? Ils resteront à la surface et s'équilibreront avec la concentration en gaz de l'atmosphère.

### Objectifs

Démontrer les échanges gazeux à la frontière entre l'air et l'eau pour les relier à ce qui arrive à l'interface air-océan. Montrer comment la température affecte ce processus.

TEMPS DE PRÉPARATION : 15 minutes  
 DURÉE DE L'ACTIVITÉ : 15-45 minutes  
 TYPE D'ACTIVITÉ : pratique expérimentale  
 ÂGE DES ÉLÈVES AYANT TESTÉ L'ACTIVITÉ : 10-12 ans  
 APPLICATIONS : physique, chimie  
 DURÉE DE L'ANALYSE DES DONNÉES ET DE LA DISCUSSION : 20 minutes  
 CONNAISSANCES PRÉALABLES REQUISES : interactions acide-base,  
 concept de marqueur coloré  
 COÛT : marqueur coloré  
 (15 euros/250 ml), bougies  
 flottantes (3 euros)  
 DEGRÉ DE DIFFICULTÉ : facile



Matériel nécessaire à l'expérience

### Matériel\*

- 6 saladiers de même diamètre (deux d'entre eux servent de témoins)
- Eau distillée à température ambiante
- Eau distillée glacée (cubes de glace)
- Allumettes
- 12 bougies flottantes blanches
- Papier blanc (fond)
- Marqueur universel (McCrum)

\* Pour économiser du matériel, vous pouvez faire les expériences une par une. Vous n'aurez alors besoin que de 2 saladiers et 4 bougies.



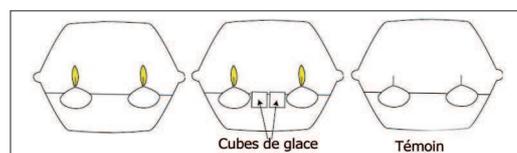
Quatre bougies flottantes allumées sont placées dans un saladier plein d'eau. Notez la couleur de l'eau à l'interface air-eau.

### Procédure

1. Placez trois saladiers sur un fond blanc. Remplissez-les avec le même volume d'eau distillée environ aux trois quarts. Refroidissez un saladier avec des cubes d'eau distillée glacée. Ajoutez quelques gouttes de marqueur coloré dans les saladiers. Assurez-vous qu'ils ont la même intensité de couleur verte.
2. Allumez 8 bougies flottantes et placez-en 4 dans chaque saladier. Mettez les 4 dernières bougies non allumées dans le troisième saladier, cela servira de témoin. Couvrez les saladiers avec les trois saladiers restant. Notez la couleur de l'eau au début de l'expérience.
3. Observez les changements de couleur de l'eau dans les trois saladiers. Pour les voir, regardez à la limite entre l'air et l'eau.



Le saladier est couvert par un autre saladier. Au bout de quelques minutes, après avoir consommé tout l'oxygène, les bougies s'éteignent. Le dispositif témoin est le même avec les bougies éteintes.



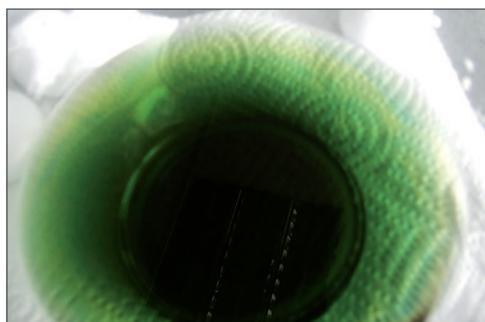
Les trois dispositifs

## Résultats et points de discussion

- Quels changements de couleur observez-vous? Qu'indiquent-ils?
- Où se passent les changements de couleur? Est-ce que toute l'eau du saladier change de couleur? Que peut-on en conclure concernant les océans?
- Dans quel saladier le changement de couleur est-il le plus visible? Comment expliquez-vous cela?



*Quelques minutes après l'extinction des bougies, une fine couche jaune se forme à la surface de l'eau. Cela indique une acidification de la surface en raison de la dissolution du dioxyde de carbone.*



*Couleur de l'eau avant et après l'expérience avec les bougies allumées*

## Remarques

- I. Le passage du vert au jaune (basique à acide) se produit seulement à la surface de l'eau qui est en contact direct avec l'air. La surface de l'eau est rendue acide par la dissolution du dioxyde de carbone dégagé par la combustion des bougies. C'est pourquoi, elle ne change pas dans le saladier témoin, où il n'y a pas d'augmentation de  $\text{CO}_2$  (pas de combustion de bougie).
- II. Si l'eau n'est pas du tout remuée, la couleur reste à la surface et ne se diffuse pas dans les profondeurs du saladier. Dans l'océan, le  $\text{CO}_2$  dissous à la surface disparaît effectivement de l'atmosphère s'il est transporté physiquement dans les couches plus profondes par convection.
- III. L'eau refroidie d'un des saladiers devrait être plus jaune car les gaz sont plus solubles dans l'eau froide. Toutefois, comme l'eau dans le saladier a une température uniforme, il n'y a pas de transport de l'eau acide vers le fond du saladier.
- IV. Dans cette expérience, on utilise délibérément de l'eau distillée pour montrer que le pH change à la surface de l'eau en utilisant le marqueur universel McCrumb. L'eau de mer ne fonctionne pas dans cette expérience car le marqueur n'est pas assez sensible pour mesurer un faible changement de pH. Le pouvoir tampon de l'eau de mer conduira à un changement de pH plus petit que celui qui est obtenu avec de l'eau distillée.

## Expériences complémentaires

Retirez le saladier-couvercle et laissez le dispositif pendant un moment. Observez le changement de couleur à la surface de l'eau. Après quelques minutes, la couleur jaune disparaît car il se crée un équilibre avec l'air ambiant, moins concentré en dioxyde de carbone. Ce phénomène est plus rapide si vous remuez le contenu du saladier.

Pour montrer le phénomène de la convection, retirez le saladier-couvercle du dispositif qui ne contient pas les cubes de glace. Ajoutez des cubes de glace et remplacez le couvercle : une partie de l'eau de surface va refroidir, et commencer à plonger au fond du saladier.

Les expériences qui précèdent requièrent un matériel simple, facile à trouver dans un collège ou au magasin d'à côté, et peuvent être réalisées en classe. Cependant, plusieurs projets CarboSchools ont été conçus pour des élèves de lycées qui avaient acquis suffisamment de connaissances sur le cycle du carbone pour comprendre des expériences plus complexes. C'est pourquoi certaines expériences décrites dans la bibliothèque CarboSchools nécessitent des équipements spécifiques qui peuvent être fournis par un laboratoire partenaire.

L'expérience qui suit sur la respiration des sols en est un exemple. Nous donnons toutefois une méthode alternative utilisant un matériel moins onéreux que l'analyseur de gaz. La méthodologie décrite ci-dessous est utilisée dans la recherche actuelle, ce qui la rend encore plus intéressante pour les élèves.

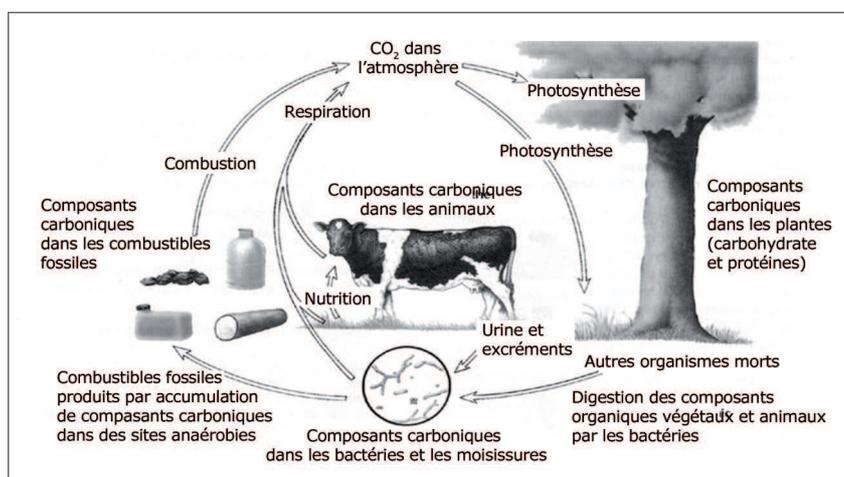
Seule la partie concernant la respiration des sols est décrite dans ce chapitre. La définition des autres paramètres comme l'humidité du sol, sa densité, son pH, etc. peut être téléchargée de la bibliothèque en ligne.

## Lithosphère

### Le sol respire

Les sols représentent un énorme stock de carbone et jouent un rôle important dans le cycle du carbone. Le dioxyde de carbone est absorbé par la végétation et est transformé en matière organique dans les écosystèmes marins et terrestres.

Le dioxyde de carbone retourne aussi à l'atmosphère à partir des sols. Les sols sont en fait le substrat dans lequel les organismes vivants interagissent avec les matériaux non vivants, les processus de décomposition et de minéralisation par les microorganismes et les bactéries ont lieu, et dans lequel d'autres échanges se développent entre le sol et l'atmosphère. On appelle la production de dioxyde de carbone et sa diffusion dans l'atmosphère «la respiration des sols».



Le cycle du carbone

La respiration du sol dépend des caractéristiques de la matière organique d'un sol donné, des conditions pédoclimatiques et de la présence d'organismes. La transformation de la matière organique peut mettre de un à dix ans selon l'écosystème végétal. L'humidité et la température du sol influencent les processus de minéralisation produits par les organismes vivants, donc, par conséquent, la libération de CO<sub>2</sub> vers l'atmosphère. Les échanges de CO<sub>2</sub> sont augmentés aussi par une grande porosité des sols.

L'activité décrite ici ne montre pas seulement les échanges de dioxyde de carbone entre l'atmosphère et les sols, mais aussi comment la végétation influence ces échanges. Les élèves vont comparer des utilisations et des couvertures différentes des sols. Par exemple, ils peuvent réaliser leurs mesures dans une forêt naturelle, dans un champ cultivé, dans un jardin ou dans un potager.

TEMPS DE PRÉPARATION : il consiste à s'habituer au matériel.  
Compter une séance de 45 minutes pour cela.

DURÉE DE L'ACTIVITÉ : cette activité peut être étalée sur plusieurs mois en refaisant l'expérience régulièrement si l'objectif consiste à observer la respiration des sols au cours des saisons.  
Chaque reprise dure environ 20 minutes.

APPLICATIONS : sciences de la terre, chimie, biologie

DURÉE DE L'ANALYSE DES DONNÉES ET DE LA DISCUSSION : 20 minutes

CONNAISSANCES PRÉALABLES REQUISES : connaissances de base en chimie ; des connaissances en science de la terre sont appréciables ; photosynthèse

COÛT : la sonde pour mesurer le CO<sub>2</sub> (EGM1 de PPSsystem, Hitchin, Royaume-Uni) est fournie par le centre de recherche. D'autres sondes peuvent être utilisés à la place (prêtées par un laboratoire, ou équipant déjà certains établissements scolaires). Le détecteur colorimétrique de gaz coûte environ 30 euros.

DEGRÉ DE DIFFICULTÉ : Moyen à élevé

## Matériel

- Sonde à CO<sub>2</sub> EGM-1 avec sa chambre d'analyse, ou tout autre analyseur à infrarouge équipé d'une chambre d'analyse

Comme alternative, on peut utiliser :

- Une chambre cylindrique en PVC, de 10 cm de diamètre et 15 cm de hauteur
- Des cylindres de caoutchouc ajustés pour fermer la chambre
- Deux tubes en plastique souple
- Un marteau et un bloc de bois
- Un bâton de 1 mètre
- Un chronomètre
- Un tube de détection de gaz colorimétrique
- 2 aiguilles et une seringue de 150 ml
- Un thermomètre pour mesurer la température du sol
- Carnets de note et crayon

## Procédure

### *En utilisant l'EGM-1*

EGM-1 est un analyseur de gaz à infrarouge qui mesure les échanges de dioxyde de carbone entre le sol et l'atmosphère. Il est équipé d'un filtre à eau qui extrait la vapeur d'eau du flux d'air et ainsi ne mesure pas l'absorption par les infrarouges de l'eau contenue dans le sol. L'appareil est connecté à une chambre cylindrique d'une hauteur de 15 cm et d'un diamètre de 10 cm, placée sur le sol juste avant le début des mesures.

Une fois la chambre placée sur le sol (avec précautions, voir plus bas), le CO<sub>2</sub> dégagé par le sol est mesuré automatiquement par l'analyseur de gaz. Un ventilateur intérieur automatique assure la circulation continue de l'air dans la chambre, garantissant une valeur représentative du flux mesuré. L'appareil mesure la concentration en CO<sub>2</sub> et s'arrête après 120 secondes ou dès qu'une différence de 60 ppm avec la valeur initiale est atteinte.

L'appareil mesure la concentration en dioxyde de carbone (ppmv) et les échanges de dioxyde de carbone depuis le sol (g/m<sup>2</sup>/h)

1. Découpez un morceau de terre d'environ 10 cm de profondeur dans un jardin ou une forêt. Essayer de garder l'échantillon intact et compact, ou si vous pouvez, faites l'expérience dehors en choisissant un ou plusieurs sites avec des caractéristiques différentes.

- Retirez les résidus végétaux et supprimez toute végétation dans un périmètre d'environ 15 cm de diamètre afin d'éviter de mesurer du CO<sub>2</sub> provenant de la respiration des feuilles.
- Placez la chambre de l'EGM sur le sol en bouchant l'ouverture avec la main jusqu'à ce que la chambre soit posée pour éviter que de l'air n'y entre; attendez jusqu'à ce que la mesure soit terminée. Répétez la mesure sur tous les sites préparés (une mesure dure environ 120 secondes).
- Relevez les valeurs sur un carnet.

#### Procédure utilisant une méthode alternative

(source : *Soil quality test kit guide*, 1999, du Natural Resources Conservation Service du Department of Agriculture des États-Unis d'Amérique)

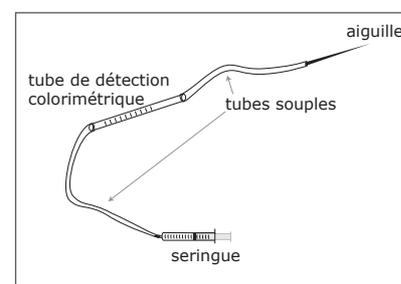
- Nettoyez la surface du sol de la végétation et des résidus végétaux. Enfoncez la chambre cylindrique dans le sol d'environ 10 cm, en vous aidant éventuellement d'un marteau et du bloc en bois. Si le sol est rocheux, enfoncez la chambre seulement jusqu'à ce que vous sentiez la résistance des cailloux.
- Estimez de quelle hauteur la chambre est enfoncée (en centimètres) en mesurant la hauteur qui dépasse (faites 4 estimations et prenez la moyenne).
- Couvrez la chambre avec le couvercle et attendez **exactement** 30 minutes.
- Pendant que vous attendez, préparez l'appareil qui va mesurer le CO<sub>2</sub> :
  - plantez une aiguille à l'extrémité d'un des tubes de plastique souple (la pointe doit sortir du tube),
  - ouvrez les deux extrémités du tube de détection de gaz colorimétrique,
  - reliez le tube de détection de gaz colorimétrique à l'extrémité libre du tube de plastique souple dans lequel vous avez planté l'aiguille,
  - prenez le second tube en plastique souple et reliez-en un bout à l'extrémité libre du tube de détection de gaz colorimétrique, l'autre à la seringue.
- Après les 30 minutes, enfoncez l'aiguille dans le couvercle de la chambre et la deuxième aiguille dans le second couvercle pour permettre un flux d'air dans l'espace supérieur pendant le prélèvement du gaz. La deuxième aiguille doit être plantée juste avant que l'espace supérieur ne soit prélevé.
- Prélevez doucement 100 cc d'air dans la seringue (100 cc = 100 ml)
- Si le tube de détection de gaz colorimétrique indique une valeur inférieure à 0,5 %, prélevez quatre autres échantillons de 100 cc à travers le même tube de détection de gaz colorimétrique. Pour réaliser ces opérations, débranchez le tube de la seringue pour retirer l'air et rebranchez le tube à la seringue. Prélevez à nouveau un échantillon de 100 cc.
- Notez le pourcentage de CO<sub>2</sub> mesuré par le tube de détection de gaz colorimétrique : lisez le résultat dans la colonne « n = 1 » si 100 cc ont été prélevés ou dans la colonne « n = 5 » si 500 cc ont été prélevés. On estime que le pourcentage de CO<sub>2</sub> présent dans la chambre correspond au plus haut point présentant une couleur violette facilement visible.
- Mesurez la température du sol le plus proche de la chambre. Retirez le couvercle quand les mesures sont terminées.
- Calculez la respiration du sol

La respiration du sol (RS) est la quantité de CO<sub>2</sub> qui est libérée pour une surface du sol pendant un temps donné (g/m<sup>2</sup>/h).

La première étape consiste à convertir le pourcentage de CO<sub>2</sub> mesuré en grammes de CO<sub>2</sub> par m<sup>3</sup> :

- Masse molaire du CO<sub>2</sub> : 44,01 g/mol
- On considère qu'une mole de CO<sub>2</sub> occupe 22,4 x 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup> (loi des gaz parfait)
- On calcule le nombre de moles de CO<sub>2</sub> dans la chambre à l'aide du volume au dessus de cette chambre : nombre de moles de CO<sub>2</sub> = % de CO<sub>2</sub> x volume au-dessus du sol (en m<sup>3</sup>) / (22,4 x 10<sup>-3</sup>)
- Volume au-dessus du sol : Surface de la chambre x hauteur **en mètres** de la chambre au-dessus du sol = (0,1<sup>2</sup> x Π/4) x hauteur **en mètres** de la chambre au-dessus du sol (0,1<sup>2</sup> car le diamètre de la chambre est de 10 cm et on souhaite obtenir le volume en m<sup>3</sup>) = volume en m<sup>3</sup>
- Masse du CO<sub>2</sub> dans la chambre = nombre de moles de CO<sub>2</sub> x 44,01 (masse molaire du CO<sub>2</sub>)

Le calcul précédent fonctionne pour les gaz parfaits dans des conditions standard (15° C et une pression de 1013 hPa). Comme vous ferez rarement vos mesures à 15° C, cela entraînera une petite erreur dans le nombre de moles (les différences de pression sont trop faibles pour être considérées). Il faut donc ajouter un facteur correctif : le facteur de température, FT.



- Le facteur de température (FT) est exprimé en degrés Kelvin (°K). Il est égal à la température mesurée en °C plus 273,15, le tout divisé par 273,15 (0° C = 273,15° K). Donc  $FT = (T \text{ en } ^\circ\text{C} + 273,15) / 273,15$
- Et ainsi, la masse du CO<sub>2</sub> dans la chambre correspond au résultat précédent multiplié par FT.

Vous avez la masse du CO<sub>2</sub> dans la chambre à la fin de l'expérience. Pour connaître la masse de CO<sub>2</sub> au départ de l'expérience, vous devez refaire le calcul précédent avec un pourcentage de CO<sub>2</sub> correspondant à l'air ambiant. C'est pour cette raison qu'il est important de mesurer la concentration en CO<sub>2</sub> avant le début de l'expérience. À la fin de votre calcul, n'oubliez pas de multiplier la masse de CO<sub>2</sub> trouvée par le même facteur de température (FT) utilisé pour la masse de CO<sub>2</sub> calculée en fin d'expérience.

Une fois la masse de CO<sub>2</sub> en début et en fin d'expérience calculée, faites la différence entre les deux masses, divisez par la surface de la chambre puis par le temps de l'expérience (en heure) et vous obtiendrez la respiration du sol en grammes de CO<sub>2</sub> par m<sup>2</sup> par heure.

Le calcul complet se réalise ainsi :

$$RS = [(T + 273,15) / 273,15] \times (\% \text{ CO}_2 \text{ fin exp.} - \% \text{ CO}_2 \text{ début exp.}) \times (44,01 / 22,4 \times 10^{-3}) \times (0,1^2 \times \pi / 4) \times H] / [(0,1^2 \times \pi / 4) \times 0,5]$$

T est la température du sol, en **degrés celsius**. H est la hauteur de la chambre au-dessus du sol, exprimée en **mètres**. Nous rappelons que  $0,1^2 \times \pi / 4$  est le calcul de la surface, en m<sup>2</sup>, d'une section de la chambre, qui a un diamètre de 10 cm (0,1 m). Et le dernier 0,5 correspond à la durée de l'expérience en heure (30 minutes, donc 0,5 heure).

Comme le calcul de la surface d'une section de la chambre se retrouve à la fois dans le numérateur et le dénominateur, on peut l'enlever et obtenir un calcul simplifié :

$$RS = [(T + 273,15) / 273,15] \times (\% \text{ CO}_2 \text{ fin exp.} - \% \text{ CO}_2 \text{ début exp.}) \times (44,01 / 22,4 \times 10^{-3}) \times H] / 0,5$$

Après les mesures, les échantillons de sol peuvent être analysés : on estime le nombre de racines, la masse des microorganismes et certaines caractéristiques physico-chimiques : pH, humidité...



Élèves effectuant les mesures avec une sonde EGM-1 sur un sol herbeux

### Comparaison des données et discussion

- Dressez un tableau pour comparer la respiration des sols en fonction de leur nature ou de leur utilisation. Différents facteurs peuvent produire ou influencer la production de CO<sub>2</sub> : comparez, pour les différents emplacements, la biomasse, la couverture, la densité et la texture du sol.
- Faites un autre tableau pour comparer les concentrations de CO<sub>2</sub> du sol et la concentration atmosphérique juste au-dessus.

### Discussion des résultats

1. Quels sont les facteurs qui produisent du CO<sub>2</sub> dans le sol et qui influencent sa libération vers l'atmosphère ?
2. Quels sont les facteurs limitants ?
3. Réfléchissez sur la gestion des sols et leur couverture. Quel est l'écosystème le plus actif pour la respiration des sols ?
4. Que pensez-vous des sols agricoles ?

Exemples de tableaux remplis par nos élèves

15 janvier 2009	CO <sub>2</sub> (ppmv)	RS (g CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /h)
Couverture : herbe	447,2	0,73
Sol exploité	473	3,64

Tableau 1 : concentration du CO<sub>2</sub> et respiration d'un sol herbeux (2<sup>e</sup> ligne) et d'un sol préparé pour une plantation (3<sup>e</sup> ligne). La sonde EGM-1 a été utilisée.

Le tableau 1 (données obtenues par des élèves) montre une respiration importante pour les sols préparés à être plantés. Cette préparation change les caractéristiques du sol, notamment sa porosité ; des fractions de sol habituellement enfouies sont exposées à

l'atmosphère ; des réactions d'oxydation et des processus de minéralisation s'accroissent. La production de CO<sub>2</sub> augmente, ainsi que sa libération vers l'atmosphère. Ce résultat stimule des hypothèses et des discussions sur les relations entre les techniques agricoles et le stock de carbone. Dans des sols non perturbés, la respiration augmente avec la température.

Date	Couverture du sol	CO <sub>2</sub> (ppmv)	+/-	RS (g CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /h)	+/-	HR (%)	+/-	T (°C)	+/-
28/11/09	herbes	482,5	24,82	2,33	1,45	17,9	0	10,75	0,5
16/01/10	herbes	411,2	6,13	0,38	0,16	42,5	0,06	3	0
10/02/10	herbes	397,5	27,86	0,58	0,57	33	0,1	3,75	0,5
23/02/10	herbes	432,5	13,82	0,97	0,19	17,6	0	8	0
13/03/10	herbes	467,5	55,65	0,83	0,63	18,1	0	3	0

Tableau 2 : Exemples de résultats obtenus pendant l'année 2009-2010 sur des sols herbeux : moyennes et écart-types (+/-) de la concentration en CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>), de la respiration du sol (RS), de l'humidité relative (HR) et de la température du sol (T).

Les données du tableau 2 montrent une forte baisse de la concentration en CO<sub>2</sub> et de la respiration des sols au milieu de l'hiver (février). La faible température des sols réduit l'activité biologique, ce qui influence le relâchement de CO<sub>2</sub>. Pendant les saisons plus chaudes, l'humidité relative joue un rôle plus important dans l'importance de la respiration des sols (si on exclut les conditions extrêmes de saturation en eau ou de sécheresse).

## La bibliothèque CarboSchools

Parvenir à développer et concevoir du matériel que les professeurs et autres éducateurs puissent utiliser pour enseigner le cycle du carbone à l'école constitue une des clés de la réussite de CarboSchools. C'est pourquoi nous avons collecté dans la bibliothèque en ligne toutes les expériences, les protocoles, la littérature et tout autre matériel utile développé au cours des différents projets régionaux.

Les projets régionaux de CarboSchools étaient principalement destinés aux élèves du secondaire, âgés de 14 à 18 ans, mais nombres d'expériences peuvent être adaptées à des élèves plus jeunes. Certains professeurs peuvent trouver difficile d'introduire l'étude du cycle du carbone en classe parce qu'ils n'ont pas les connaissances nécessaires en sciences ou, dans certains cas, en mathématiques, ou bien parce qu'ils n'ont pas l'habitude de travailler avec des ordinateurs. Pour surmonter ce problème, des références bibliographiques complémentaires sont fournies à la fin des expériences pour orienter les professeurs vers la littérature pertinente. Bien que ce ne soit pas une obligation, le soutien d'un institut de recherche et l'implication de chercheurs peut aussi aider les professeurs à affronter cet obstacle.

Pour faciliter la recherche d'expériences et d'activités adaptées aux besoins et envies des utilisateurs, chaque description comporte les éléments suivants :

- temps de préparation,
- durée de l'activité,
- type d'activité,
- âge des élèves ayant testé l'activité,
- applications (partie du programme ou matières dans le cadre desquelles l'expérience peut être réalisée),
- durée de l'analyse des données et de la discussion,
- connaissances préalables requises,
- coût,
- degré de difficulté.

Beaucoup d'expériences figurant dans la bibliothèque de CarboSchools sont simples, à usages multiples et adaptables. Les activités ont été testées sur des élèves d'âge donné; des chercheurs ont validé leur pertinence scientifique et des professeurs ont confirmé qu'elles étaient bien appropriées à un usage scolaire. Chaque description d'activité comporte une courte introduction aux sujets en jeu. Des conseils et suggestions pour adapter l'activité à différentes situations y figurent aussi. Par exemple, si des appareils très spécifiques sont requis pour une expérience, une alternative avec d'autres instruments

plus courants peut être proposée. Certaines descriptions peuvent inclure les notes d'un professeur ayant réalisé l'expérience pour aider l'utilisateur à organiser l'activité dans sa propre classe.

On trouvera ci-dessous une liste partielle des expériences qui figurent dans la bibliothèque en ligne de CarboSchools. Pour des raisons pratiques, les expériences sont classées sur le site en trois catégories : activités à l'intérieur, activités à l'extérieur, travail avec des données. À l'intérieur de cette simple classification, on peut trouver les expériences suivantes :

### Expériences démontrant les propriétés de base du dioxyde de carbone



#### *Comment produire du CO<sub>2</sub> et tester ses propriétés ?*

Les élèves découvrent comment produire du CO<sub>2</sub> et réalisent des expériences simples pour étudier certaines de ses propriétés.



#### *Effet de serre in vitro !*

Pour démontrer que le CO<sub>2</sub> absorbe des rayonnements thermiques et est responsable du réchauffement atmosphérique.



#### *L'effet de serre*

Dans cette expérience, les élèves observent et comparent comment deux gaz à effet de serre, le CO<sub>2</sub> et la vapeur d'eau, absorbent les rayonnements thermiques.



#### *Interactions à l'interface air-eau*

Un jeu d'expériences très simples utilisant du matériel peu onéreux et facilement disponible pour observer les échanges gazeux entre l'air et l'eau et l'équilibre qui se crée à la frontière de ces deux éléments. Ces expériences ouvrent aussi à l'étude de l'acidification des océans.



#### *Comment la température affecte-t-elle la solubilité du CO<sub>2</sub> dans l'eau ?*

Ces expériences explorent les effets de la température de l'eau sur la solubilité du CO<sub>2</sub> et analysent leurs conséquences sur l'ensemble du cycle du carbone.

### Expériences montrant le comportement du dioxyde de carbone dans les différentes « sphères » de la Terre



#### *Comment la température mondiale est-elle régulée ? Une représentation expérimentale*

Des expériences simples pour aider les élèves à comprendre comment des paramètres comme la couleur du sol et la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> régulent la température à la surface de la Terre.



#### *Régulation du pH de l'eau de mer : le rôle du carbonate (CO<sub>3</sub>) et du bicarbonate (HCO<sub>3</sub>)*

Une expérience simple avec des indicateurs colorés pour montrer comment les différentes formes de carbone inorganique dissous régulent le pH de l'eau de mer.



#### *Effets de l'augmentation du CO<sub>2</sub> dans l'air sur l'eau de mer et l'eau distillée*

Dans cette expérience, les élèves comparent les effets de l'augmentation de la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> sur les étendues d'eau de mer et sur celles d'eau douce comme les lacs et les cours d'eau. Cela leur donnera un aperçu de l'importance de l'océan comme puits de carbone.



#### *Le sol respire*

Dans cette activité, on mesure trois paramètres du sol et on analyse leurs effets sur les flux de CO<sub>2</sub> : la respiration du sol, son humidité et sa densité. D'autres activités suggérées permettent de déterminer le rôle de la végétation, des racines et des organismes du sol dans les flux de CO<sub>2</sub> produits par la lithosphère.



### Activités recueillies lors de projets CarboSchools sur le cycle du carbone

#### *Quelle concentration de CO<sub>2</sub> y a-t-il dans ma classe ?*

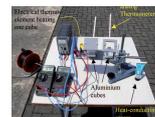
En utilisant un capteur de CO<sub>2</sub> les élèves mesurent les concentrations de dioxyde de carbone dans la classe et examinent les facteurs qui peuvent les faire varier.

*Sélection d'expériences utilisant un capteur de CO<sub>2</sub>*

Des démonstrations d'expériences qui peuvent être réalisées en classe avec un capteur de CO<sub>2</sub>.

*Expériences pratiques pour les élèves du secondaire*

Une sélection d'expériences pour encourager les élèves et les professeurs à concevoir leurs propres expérimentations ou à améliorer certaines de celles qui sont présentées. La plupart ont été collectées par la section « Physique » du lycée Neufeld à Berne, Suisse.

*Série d'expériences sur le CO<sub>2</sub> et l'effet de serre*

Douze expériences pour découvrir et démontrer différents aspects des changements climatiques : expériences de physique sur les rayonnements émis par le Soleil et la température ; expériences de biologie sur le métabolisme (physiologie) ; expériences de chimie sur le cycle du carbone ; expériences de physiologie-chimie sur la combustion et le métabolisme.

**Expériences qui montrent comment une biocénose affecte et est affectée par les concentrations de CO<sub>2</sub>***Capture de dioxyde de carbone par les plantes aquatiques*

Cette expérience démontre le rôle des plantes pour atténuer l'acidification causée par la dissolution de CO<sub>2</sub> dans l'eau. Elle sert aussi à mettre en évidence la photosynthèse aquatique.

*Fertilisation de cultures de micro-algues marines (Dunaliella) par du dioxyde de carbone*

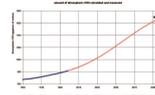
Une expérience conçue pour illustrer l'effet du dioxyde de carbone sur la croissance de micro-algues.

*Le CO<sub>2</sub> atmosphérique peut provoquer l'acidification des océans*

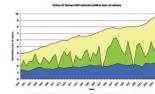
Ces expériences démontrent que de fortes concentrations de CO<sub>2</sub> atmosphérique provoquent l'acidification des océans et elles illustrent les conséquences possibles de ce phénomène pour les organismes marins.

**Expériences impliquant l'utilisation de données provenant de la recherche récente***Introduction aux principes de la modélisation climatique*

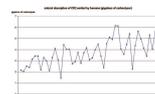
En travaillant dans un tableur avec des données récentes du cycle du carbone, les élèves créent un premier modèle climatique, découvrent le bilan mondial du carbone et font leurs propres prévisions de l'évolution future de la concentration atmosphérique du CO<sub>2</sub>.

*Bilan mondial du carbone entre 1958 et 2008*

En travaillant avec les données réelles du cycle du carbone, les élèves réalisent des graphiques pour trouver la meilleure représentation de ce cycle et pour prévoir l'évolution du CO<sub>2</sub> atmosphérique pour le prochain siècle. Cette activité est aussi une belle application des pourcentages.

*Estimation des puits naturels de carbone*

À partir de données réelles du cycle du carbone, les élèves recherchent quelle part du CO<sub>2</sub> émis par les activités humaines vers l'atmosphère est absorbée par les puits naturels (cette activité suit les deux précédentes).



## Suggestions pour les professeurs

Les plans de cours qui suivent sont des suggestions pour aider les professeurs à organiser un projet sur le cycle du carbone. Ils proposent une suite d'expériences en précisant quand et comment elles peuvent être réalisées en classe. La première séquence a été conçue et testée pour des élèves de 10-14 ans et requiert un minimum de connaissances préalables sur le cycle du carbone. Elle permettra aux élèves de se familiariser avec le cycle du carbone de façon ludique. Le second plan de cours a été conçu et utilisé pour des élèves de 14-18 ans.

### Le cycle du carbone pour des élèves de 10 à 14 ans : séquence indicative utilisant des expériences CarboSchools

Dans la plupart des cas, les plus jeunes élèves ont rencontré le terme CO<sub>2</sub> à l'école primaire, associé avec des informations sur leur respiration ou sur la photosynthèse des plantes. Il est aussi probable, qu'étant exposés à une foule d'informations sur les changements climatiques par différents médias (radio, télévision, magazines, jeux électroniques, Internet, etc.), ils soient capables d'associer le CO<sub>2</sub> avec la question actuelle des changements globaux. Cependant, à cet âge, où les élèves n'ont pas encore eu de cours de chimie, physique ou biologie, le CO<sub>2</sub> reste une chose abstraite qu'ils ne connaissent qu'en théorie. Peut-être peuvent-ils réciter ou répéter ce qu'ils ont lu ou vu à la télévision, et impressionner leurs professeurs par leurs connaissances « théoriques », mais « voir » réellement de quoi il retourne dans un contexte expérimental est une autre question. La séquence d'expériences présentée ci-dessous a été conçue pour aider les élèves à mieux comprendre le cycle du carbone, tout en partant du principe que l'on peut apprendre en s'amusant.

*NB : Les entrées en italiques ne sont pas disponibles dans la bibliothèque mais elles sont décrites brièvement dans le tableau. Les expériences/activités en gras peuvent être téléchargées depuis le site. Les sujets sont présentés selon un ordre logique d'enseignement, mais ces suggestions peuvent être adaptées car aucune expérience n'est dépendante de la précédente. Le professeur peut choisir de n'en réaliser qu'une ou d'en combiner autant qu'il veut.*

Sujet	Logique	Durée (en heures)	Activités/expériences suggérées	Objectifs pour les élèves
Introduction	Orienter les élèves	1	<i>Séance de questions-réponses avec les élèves : le professeur demandera aux élèves ce qu'ils savent sur le cycle du carbone. Les questions peuvent aussi être formulées par les élèves disant ce qu'ils aimeraient savoir.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Formuler leurs propres questions sur ce qu'ils veulent savoir</li> <li>– Attiser leur curiosité sur le cycle du carbone</li> </ul> <p>(Cette activité donnera aussi aux professeurs une idée plus précise des connaissances des élèves sur le CO<sub>2</sub>.)</p>
Qu'est-ce que le dioxyde de carbone ?	Faire « voir » aux élèves le CO <sub>2</sub>	1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Des élèves équipés de capteurs de CO<sub>2</sub> peuvent mesurer le CO<sub>2</sub> dans différents endroits de l'école</i></li> <li>2. <b>Comment produire du CO<sub>2</sub> et tester ses propriétés ?</b></li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Réaliser que le CO<sub>2</sub> est mesurable, qu'il existe !</li> <li>– Se familiariser avec le maniement du capteur de CO<sub>2</sub></li> <li>– Voir que les concentrations de CO<sub>2</sub> peuvent varier</li> </ul>
Influer sur les concentrations de CO <sub>2</sub>	Faire réaliser aux élèves qu'ils peuvent avoir un effet sur les concentrations de CO <sub>2</sub> de l'air qu'ils respirent	4*	1. <b>Quelle concentration de CO<sub>2</sub> y a-t-il dans ma classe ?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Découvrir quels facteurs peuvent agir sur la concentration en CO<sub>2</sub> de l'air ambiant</li> <li>– Expérimenter pour la première fois une démarche d'investigation (expérimentation, relevé de données, analyse des données, documentation et présentation des résultats)</li> </ul>

\* La durée de cette activité dépend des idées des élèves et des paramètres qu'ils souhaitent tester. L'activité en ligne correspond à une période de une à trois semaines mais le professeur peut ajuster la durée selon les besoins.

L'atmosphère et le cycle du carbone	Permettre aux élèves de suivre et voir les conséquences des émissions de CO <sub>2</sub> vers l'atmosphère	3	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>L'effet de serre <i>in vitro</i></b></li> <li>2. <b>L'effet de serre</b></li> <li>3. <b>Comment la température mondiale est-elle régulée? Une représentation expérimentale</b></li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprendre en quoi consiste « l'effet de serre »</li> <li>- Observer et mesurer la hausse des températures quand la concentration en CO<sub>2</sub> augmente</li> <li>- Découvrir que d'autres facteurs peuvent aussi amplifier ou limiter cet effet</li> </ul>
La lithosphère et le cycle du carbone	Faire comprendre aux élèves le rôle des plantes et du sol dans le cycle du carbone	3	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>L'expérience 8 de la « Collection d'expérience sur le CO<sub>2</sub> et l'effet de serre »</b></li> <li>2. <b>Le sol respire (version simplifiée)</b></li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apprendre les notions de sources et puits de carbone</li> <li>- Prendre conscience de l'importance de la végétation dans le cycle du carbone</li> <li>- Avoir un premier contact avec la microbiologie; comprendre l'importance du rôle des bactéries dans le cycle du carbone</li> </ul>
Acides et bases	Avoir une connaissance grossière de ce que sont les acides et les bases avant d'étudier l'hydrosphère	2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Réaliser l'expérience classique du chou rouge : préparer un jus de chou rouge et l'utiliser comme indicateur coloré pour les acides et les bases</i></li> <li>2. <i>Laisser les élèves tester l'acidité de différentes substances grâce à du papier pH ou des indicateurs colorés</i></li> <li>3. <i>Laisser les élèves faire la même chose avec un pH-mètre</i></li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apprendre comment distinguer les acides des bases</li> <li>- Apprendre à utiliser des indicateurs colorés de pH, du papier pH et un pH-mètre</li> <li>- Apprendre le concept de pH</li> </ul>
L'hydrosphère et le cycle du carbone	Introduire l'importance de l'océan et des autres étendues d'eau dans le cycle du carbone	4	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Interactions à l'interface air-eau, parties 1 et 2</b></li> <li>2. <b>Effets de l'augmentation de CO<sub>2</sub> dans l'air sur l'eau de mer et l'eau distillée</b></li> <li>3. <b>Comment la température affecte la solubilité du CO<sub>2</sub> dans l'eau ?</b></li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprendre ce qu'il advient du CO<sub>2</sub> quand il entre en contact avec l'eau (océans ou lacs)</li> <li>- Voir les conséquences de l'augmentation du CO<sub>2</sub> sur l'environnement aquatique</li> <li>- Comprendre l'importance des océans dans le cycle du carbone</li> </ul>

#### Autres activités « ludiques » suggérées :

1. Les élèves peuvent calculer leur empreinte écologique. S'il y a assez d'ordinateurs dans l'établissement, cette activité nécessite une heure. Il y a de nombreux liens sur Internet vers des calculateurs.
2. Pour l'activité « acides-bases », les élèves peuvent fabriquer leur propre papier pH. Laissez tremper des filtres à café (ou n'importe quels filtres de papier blanc) dans du jus de chou rouge pendant 30 minutes à 1 heure. Faites sécher le papier. En utilisant différentes substances et différentes méthodes d'application les élèves peuvent créer une « œuvre » colorée.
3. Faites construire par les élèves des cuisinières et des fours solaires. Les instructions sont disponibles sur <http://solarcooking.wikia.com/wiki/CooKit>. D'autres types de cuisinières solaires sont décrits sur Internet. Si le temps le permet, faites un repas cuisiné : les élèves seront fiers de leurs cuisinières et les hot-dogs seront bien meilleurs s'ils sont cuits dedans.

**Le cycle du carbone et ses liens avec les changements climatiques :  
séquence indicative d'expériences  
du projet CarboSchools destinées à des élèves de 14-18 ans**

Cette séquence comprend des activités qui ont été décrites dans ce chapitre ainsi que d'autres disponibles sur le site CarboSchools. Elle peut être adaptée selon les besoins au cours de l'année. Toutes les entrées se trouvent dans la bibliothèque en ligne.

Sujet	Logique	Durée (en heures)	Activités/expériences suggérées	Objectifs pour les élèves
Évolution de la température	Réfléchir sur la température à la surface de la Terre	1-2	Travail sur les données disponibles de la température à la surface de la Terre depuis 1850	Comprendre et retenir la valeur de la température terrestre et son évolution relative
Régulation de la température terrestre	Chercher les facteurs qui agissent sur la régulation de la température à la surface de la Terre	2	Comment la température mondiale est-elle régulée ? Une représentation expérimentale	Découvrir que différents facteurs peuvent produire les mêmes effets sur la température et que la hausse de la température et l'augmentation du CO <sub>2</sub> ne se produisent pas toujours dans le même ordre
Utiliser des données pour découvrir le cycle du carbone	Travailler et réfléchir sur les données véritables du bilan carbone	3	1. Introduction aux principes de la modélisation climatique 2. Le bilan mondial du carbone de 1958 à 2008 3. Estimation des puits de carbone naturels	Travailler sur les données réelles concernant les émissions de CO <sub>2</sub> et apprendre sur la concentration de CO <sub>2</sub> dans l'atmosphère et son absorption par les puits naturels
Mesurer le CO <sub>2</sub> dans la classe dans différentes conditions	Se familiariser avec le CO <sub>2</sub> et les facteurs qui font varier sa concentration	2	1. Quelle concentration de CO <sub>2</sub> y a-t-il dans ma classe ?	Apprendre plus sur le CO <sub>2</sub> qui les entoure
Étudier les plantes et/ou la régulation du cycle du carbone océanique*	Mettre en œuvre des recherches plus poussées sur les échanges de CO <sub>2</sub> entre l'atmosphère, la biosphère et l'hydrosphère, une fois comprises les notions de puits et sources de carbone	3 heures par « réservoirs » (plantes et océans)	1. Expériences mettant en jeu la photosynthèse. 2. Interactions à l'interface air-eau, parties 1 et 2 3. Le CO <sub>2</sub> atmosphérique peut produire l'acidification des océans	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Comprendre le rôle des différents compartiments (biosphère, hydrosphère, atmosphère) sur le cycle du carbone</li> <li>– Apprendre à écrire des protocoles*</li> <li>– Apprendre à conduire ses propres expériences*</li> </ul>
Faire des prévisions pour le prochain siècle	Activité de conclusion : les questions suivantes peuvent être discutées – l'activité des puits de carbone va-t-elle se modifier ? – les émissions anthropiques de CO <sub>2</sub> vont-elles continuer d'augmenter ? À quelle vitesse ?	2	Les élèves reviennent sur leur travail précédent sur les données (« Utiliser des données pour découvrir le cycle du carbone ») et améliorent leurs prévisions. C'est une occasion de revoir les faits importants.	Utiliser les connaissances acquises au cours des expériences pour envisager des scénarios plus crédibles

\* Assurez vous que les élèves aient assez de temps pour mener ces activités. Prévoyez du temps pour :

- réaliser une recherche documentaire s'il le faut,
- écrire des protocoles expérimentaux,
- construire un bon montage expérimental,
- mener les expériences et, souvent, les répéter,
- analyser les résultats et arriver à une conclusion, qui peut être générale pour la classe.

L'écriture des protocoles est souvent une tâche difficile. Les élèves ont tendance à écrire quelques mots puis pensent avoir fini. Nous avons testé deux méthodes pour améliorer cette étape :

- fournir aux élèves un guide qui donne des indications pas à pas pour l'écriture de protocoles,
- faire des échanges de protocoles : un groupe d'élèves est chargé de réaliser l'expérience écrite par un autre groupe.



## THE CO<sub>2</sub> MONITORING IN SEVERAL SITES OF CLUJ-NAPOCA AREA: STUDY MADE BY "NICOLAE BĂLCESCU" COLLEGE IN THE FRAME OF FP 7 CARBOSCHOOLS PROJECT WE CARE ABOUT CLIMATIC CHANGES



Teachers: Marinela Zamfir, Mirsela Budigan, Doru Chifor, Adriana Cheres,  
Students: Alexandru Radu, Alexandru Don, Vlad Miral, Andra Coldea, Diana Pepine, Oana Cosma, Andrei Gadatcan, Mihai Costiug, Mihai Anton, Cristian Anton, Radu Somlea  
Researcher: Valentin Miral,  
National Institute for Research and Development of Isotopic and Molecular Technologies

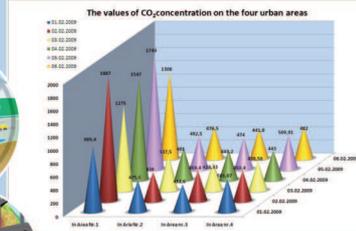
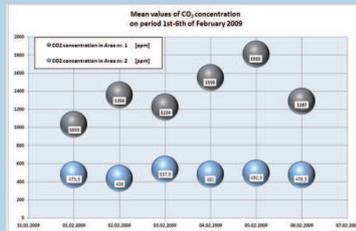
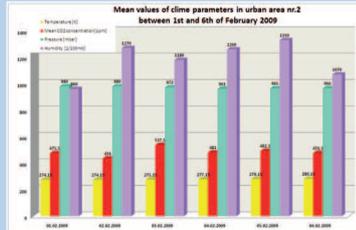


### CarboSchools project at "Nicolae Bălcescu" High School

**The project involves a co-operation between teachers from "Nicolae Bălcescu" High School and scientists from National Institute for Research and Development of Isotopic and Molecular Technologies** in order to open for the students a window of knowledge regarding the causes and impact of the climate change. The students will be encouraged and assisted by the teachers and scientists to collect and analyse experimental data, to become aware of local implications of the global changes and to be more responsible for the environment's protection. They will learn how they should prevent the arguments for reduction of greenhouse gases (GHG) and how the citizens can play a positive role in the reduction of the emissions of greenhouse gases.

#### Age of pupils involved in the project: 15-17

- The planned activities**
- Organizing activities, teachers and students project team.
  - A first session meeting in order to introduce the project team, to make an analysis of the needs, to set an agenda of the activities and a calendar of the project.
  - To organize a workshop to discuss the following aspects:
    - Students' Science of Climate Change Classes
    - How can we identify and quantify the Sources and Sinks of CO<sub>2</sub>
    - How can we reduce the CO<sub>2</sub>
  - Attend the conference and training materials, for the disciplines and classes involved in the project to include extra-curricular activities in order to better understand the environmental issues and climate change.
  - Visit at the institute partner (INCDM) Cluj Napoca so the students and teachers will be familiarized with the scientific fields of research with the equipments and techniques that are used for measurements and experiments.
  - Take and outdoor activities in order the student can identify the environmental issues and to measure and compare CO<sub>2</sub> concentrations in urban areas and in forests.
  - Discussions and interpretation of the results. The pupils will make the data processing. They will be supported by teachers and scientists in order to obtain a scientific report.
  - Organizing a round table with the representatives of local authorities, companies, parents, NGO, in order to find solutions to reduce the CO<sub>2</sub> emissions and to have a cleaner environment.
  - Elaborate the main products and dissemination of the project activities and benefits.
  - Present the project end-products: Papers, Web-page, Scientific reports, Power Point Presentations, different educational materials.
  - Evaluate the progress of the project and its impact.



**The measurements were made in four areas:**

- Area nr. 1: Laboratory of National Institute for Research and Development of Isotopic and Molecular Technologies
- Area nr. 2: Outdoors in proximity of the laboratory
- Area nr. 3: The institute's yard
- Area nr. 4: The cross road

The air sampling was performed in an area of Cluj-Napoca (46°7' N; 23°59' E). CO<sub>2</sub> concentration was measured using an EGM-4 Environmental Gas monitor for CO<sub>2</sub>. The EGM-4 is designed for applications that demand portability and a high degree of accuracy and control with minimal maintenance. This technology ensures long term stability, accuracy and analyser calibration.

**The greenhouse effect:** A diagram showing solar radiation hitting the Earth's surface, which is then reflected back towards the Earth by greenhouse gases, warming the planet.

**Why?** A globe with a fire-like effect, representing the warming caused by CO<sub>2</sub>.

**Effects?** A polar bear in a melting ice cap, illustrating the impact of climate change on wildlife.

**What can we do?** A person riding a bicycle, representing sustainable transportation.

**RECYCLE:** A recycling symbol with the word 'RECYCLE' written below it.



Un des nombreux posters réalisés par les élèves lors de projets CarboSchools