



En classe :
comment travailler avec des mesures de CO₂ atmosphérique

1. Introduction

SchoolCO2web est un projet qui vise à permettre aux élèves de mieux appréhender le cycle du carbone et les fluctuations en teneur atmosphérique de CO₂. Il s'agit d'un sujet pluridisciplinaire qui recouvre les mathématiques, la physique, la chimie et la biologie. Les élèves apprennent aussi à analyser les données issues du projet, au moyen de statistiques et de programmes de tableurs. L'analyse de données est une compétence requise dans la recherche scientifique. Ainsi, SchoolCO2web sert de lien entre lycée et université. Il permet aussi aux élèves de se rapprocher de la science puisque les mesures sont effectuées au sein du lycée, et elles peuvent être mises à disposition de la recherche scientifique.

Le SchoolCO2web est un réseau européen de lycées. Cette dimension européenne reflète la nature internationale de la science des gaz à effet de serre, et elle permet aux élèves de travailler au-delà du contexte local en créant des opportunités de coopération entre des élèves de différents pays.

2. Les cycles de CO₂ simplifiés

Dans la troposphère (0-16km), l'air est plus mélangé sur une grande hauteur. Afin d'établir la concentration moyenne en CO₂ dans l'air, il faut le mesurer à haute altitude. Par exemple, des mesures en continu de la teneur atmosphérique en gaz à effet de serre sont effectuées à un observatoire sur l'île d'Hawaï. Celui-ci est situé sur le volcan Mauna Loa à une altitude de 3 400 m.

La courbe rouge dans la figure 1 montre les niveaux moyens mensuels de CO₂ mesurés à l'observatoire. On y observe une oscillation des niveaux sur une période d'un an. Ceci montre les effets saisonniers, qui sont dus à l'augmentation du CO₂ fixé par les plantes entre mai et septembre dans l'hémisphère Nord. En conséquence, on voit une diminution en CO₂ atmosphérique de quelques ppm.

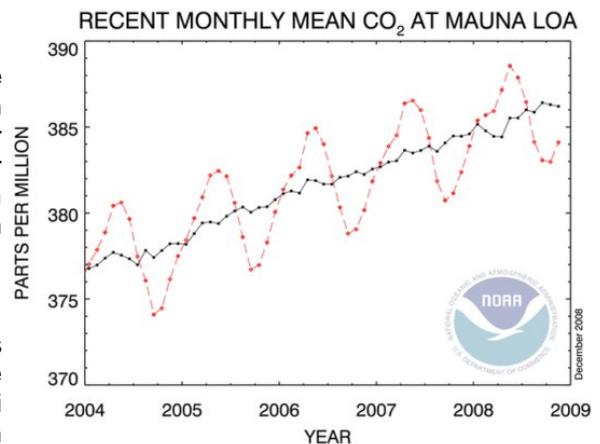


Figure 1. Niveaux moyens mensuels de CO₂ à la station de mesures de Mauna Loa.

La courbe noire montre les niveaux moyens mensuels de CO₂ qui ont été corrigés pour prendre en compte les effets saisonniers. Au cours des dernières années, le niveau moyen de CO₂ a augmenté de presque 2 ppm par an, augmentation due à la combustion d'énergie fossile.

L'air est moins mélangé près de la surface de la Terre. Les niveaux de CO₂ près de la Terre varient beaucoup à cause de la photosynthèse des plantes et de la respiration des animaux. Les données issues de SchoolCO2web nous montrent bien ces fluctuations. Dans la figure 2, on peut clairement observer la fluctuation des niveaux de CO₂ mesurés au sein des établissements « Carl-Zeiss » à Jena en Allemagne et « Maartenscollege » aux Pays Bas pendant la période du 10 au 14 novembre 2008. Vous et vos élèves pouvez construire ce genre de graphique à partir d'un outil disponible sur la page de SchoolCO2web (<http://www.carboeurope.org/education/schoolsweb.php>).

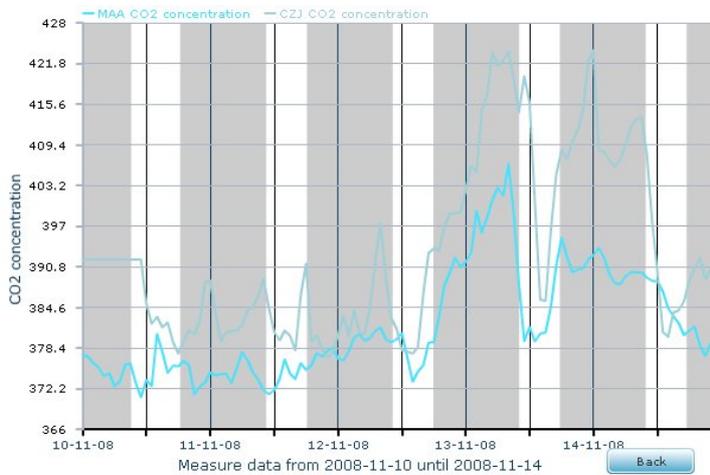


Figure 2. Niveaux de CO2 atmosphérique à Carl-Zeiss-Gymnasium, Jena (Allemagne) et à Maartenscollege, Haren (Pays bas)

Les parties grises et blanches du graphique représentent respectivement la nuit et le jour. Le 13 et le 14 novembre, on voit une augmentation de CO2 pendant la nuit et une descente pendant la journée. Ce cycle diurne de CO2 est dû principalement à deux processus : le cycle diurne des flux de la végétation (photosynthèse pendant le jour, et respiration pendant la nuit) et le cycle diurne de la hauteur de la couche limite. La couche limite est la couche d'air près du sol qui est influencée par la chaleur, l'humidité et le transfert de la quantité de mouvement vers ou depuis la surface. Plus la couche limite est épaisse, plus l'atmosphère (et ainsi le CO2) se mélange. La couche est souvent plus épaisse pendant la journée que pendant la nuit. Ceci est dû au réchauffement de la Terre par le soleil pendant la journée. La chaleur est émise dans l'air et une turbulence se produit qui fait mélanger les basses couches avec celles plus hautes dans l'atmosphère. Pendant la nuit, la Terre se refroidit rapidement, et l'air près de la surface refroidit aussi. Mais les couches au-dessus restent plus chaudes et fonctionnent comme un couvercle qui empêche l'air de se mélanger. Ceci s'appelle « l'effet d'inversion ». Ainsi, tout le CO2 respiré par les organismes s'accumule dans la couche de surface.

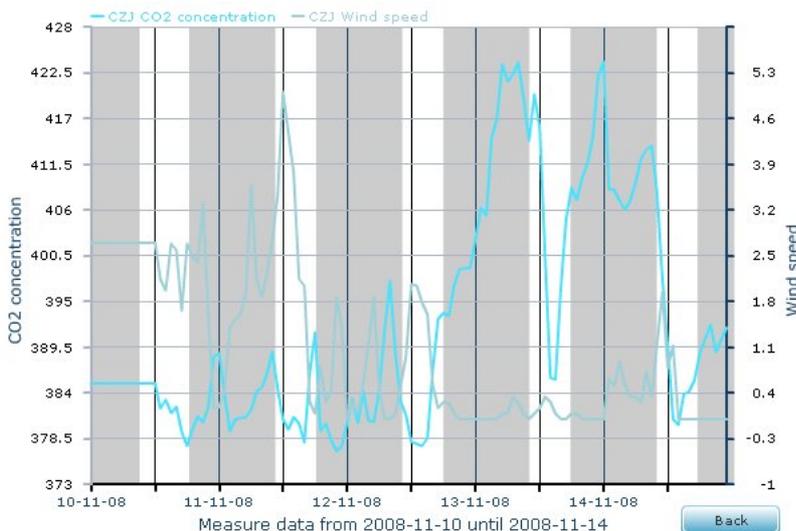


Figure 3. Niveaux de CO2 atmosphérique et vitesse du vent au lycée "Carl-Zeiss" de Jena

On peut se poser la question pourquoi il existe une forte inversion pendant les jours du 13 et du 14 novembre, mais pas entre le 11 et le 12 novembre. On trouve la réponse dans la figure 3 qui présente les niveaux de CO2 du lycée Carl-Zeiss. La vitesse du vent sur l'axe des y a été rajoutée. On voit que pendant les premiers jours de cette période, il y avait beaucoup de vent. Ce vent a mélangé l'atmosphère et ainsi empêché la création du phénomène d'inversion.

3. Outil pour télécharger les données de SchoolCO2web

Un outil a été développé afin de pouvoir télécharger et visualiser graphiquement les données issues de SchoolCO2web.

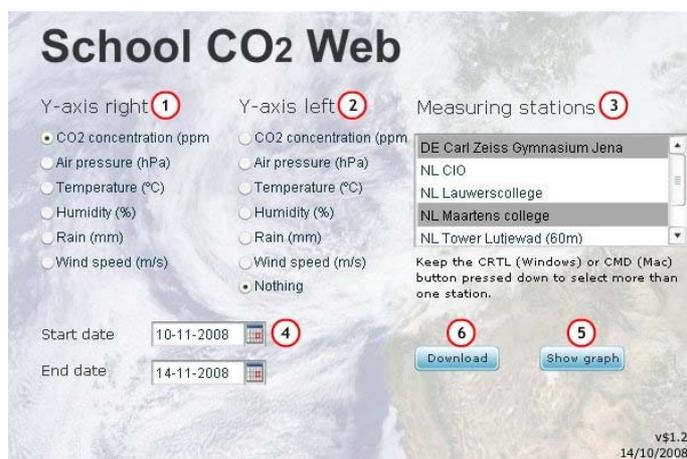


Figure 4 Outil pour télécharger les mesures

Le fonctionnement de cet outil est facile. Afin de créer un graphique suivez les étapes suivantes :

1. Cochez le paramètre que vous voulez afficher sur l'axe des ordonnées (attention ! les titres « Y-axis right » et « y-axis left » sont inversés), dans la figure 4 on a choisi « CO2 concentration (ppm)»
2. Sélectionnez le paramètre que vous souhaitez afficher sur l'axe des ordonnées de droite. Dans ce cas-ci, nous avons sélectionné « nothing » (rien).
3. Selon les mesures que vous voulez étudier, sélectionnez une ou plusieurs station(s). Pour sélectionner davantage d'établissements, gardez la touche CTRL (Windows) ou CMD (Mac) enfoncée pendant la sélection.
4. Saisissez les dates de début et de fin de la période dont vous voulez afficher les données.
5. Cliquez sur « Show graph » (afficher le graphique). Il faudra patienter quelques instants avant que les données soient affichées, surtout pour une longue période. Une fois affichées, les données seront stockées dans le cache du serveur. Ainsi, la prochaine fois où vous travaillerez avec les mêmes données, le graphique sera affiché immédiatement. Ceci est pratique si vous voulez que vos élèves sélectionnent et affichent leurs propres données : vous gagnerez beaucoup de temps si vous les affichez avant la séance avec eux afin qu'elles soient déjà stockées.

Vous pouvez aussi télécharger les données en forme de « datafile » (*.csv) et les insérer dans un tableur (voir partie 5 de ce document). Vous n'êtes pas obligés de sélectionner les paramètres parce que tous les paramètres seront automatiquement stockés. Tout simplement, sélectionnez les stations et cliquez sur « download ».

4. Sujets à aborder en classe

Cycles atmosphériques de CO2

Dans le chapitre 2, on a vu les oscillations annuelles, saisonnières et diurnes des niveaux de CO2. Actuellement, à travers les données issues de SchoolCO2web, on peut observer les effets diurnes. Mais au cours du temps avec l'expansion de la base de données on pourra aussi voir et comparer les effets saisonniers et annuels.

Erreurs d'étalonnage

Les courbes en figure 2 montrent la différence structurelle d'environ 12 ppm entre Maartenscollege et Carl-Zeiss-Gymnasium. Cette différence n'est pas due aux effets naturels, mais à l'imprécision des sondes. Pour que les sondes mesurent avec précision, il faut les étalonner avec du gaz d'étalonnage deux ou trois fois par an. Vous pouvez utiliser les erreurs d'étalonnage afin de faire comprendre à vos élèves que les capteurs ne sont pas toujours fiables.

Mesures précises

Dans la recherche en CO2 atmosphérique, les activités les plus difficiles et demandeuses en temps sont la réalisation des mesures précises et l'étalonnage des instruments. Si elles sont bien étalonnées, les sondes de SchoolCO2web donnent une précision de 1 ppm, qui est plus haute que celle des sondes qui sont utilisées dans les lycées (avec une précision de 25 à 50 ppm). La tour instrumentée pour les mesures du Centre de la Recherche à Groningen atteint une précision de 0.1 ppm et plus. Afin d'atteindre une si haute précision, la sonde s'étalonne automatiquement après chaque mesure effectuée.

Puits et sources

Pourquoi faut-il prendre des échantillons aussi précis ? En fait, les niveaux de CO2 atmosphérique entre les régions ne sont pas très différents. Ainsi, afin d'apercevoir les différences il faut prendre des mesures précises. Pourquoi faut-il être au courant de ces différences ? Dans le passé, la recherche scientifique sur le carbone visait principalement à déterminer les niveaux globaux de CO2, et à savoir s'ils augmentaient. Mais récemment, les différences entre les régions sont prises en compte, et le défi actuel est de modéliser le cycle du carbone d'une manière la plus précise possible. Il y a des régions qui fonctionnent comme un puits pour le CO2 atmosphérique, par exemple, dans les zones avec beaucoup de végétation ou d'eau. Par contre, d'autres régions sont une source de CO2 atmosphérique quand plus de CO2 est émis dans l'atmosphère qu'il n'en est d'absorbé.

Fonctionnement des sondes

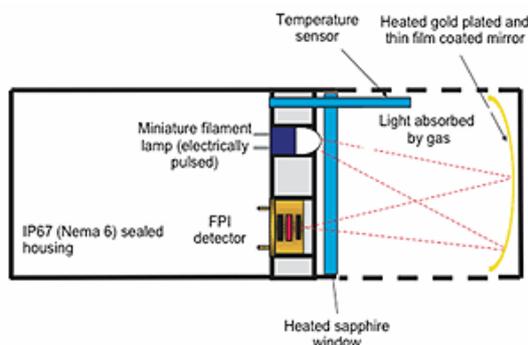


Figure 5 Composition de la sonde infr-rouge à CO2 de Vaisala

La Vaisala est une sonde infra-rouge non-dispersive. Elle contient une lampe qui émet du rayonnement infrarouge. Ce rayonnement est renvoyé d'un miroir à un capteur de rayonnement infrarouge. Pendant ce parcours, le rayonnement croise des molécules de CO2 dans l'air qui absorbent une partie du rayonnement. Ainsi, la sonde détecte moins de rayonnement que la lampe a émis au départ. Cette différence d'intensité est

une mesure du nombre de molécules de CO₂ qui ont absorbé la lumière, et par conséquent, elle est une mesure de la concentration de CO₂ dans l'air.

Au sein de chaque établissement, une station météo Davis Vantage PRO a été installée. Celle-ci envoie des valeurs de pression atmosphérique, de température et d'humidité à la Vaisala. La sonde a besoin de ces données afin de compenser les mesures de CO₂. Par exemple, une augmentation en pression atmosphérique signifie une augmentation en particules d'air dans un espace, résultant en plus des molécules de CO₂. Ainsi, la Vaisala mesure davantage de CO₂ quand la pression atmosphérique est plus haute. Cependant, nous voudrions savoir la concentration de CO₂ en dehors de la pression atmosphérique. La station météo envoie la valeur de la pression de l'air à la Vaisala, qui calcule la concentration en CO₂ selon une valeur fixe pour la pression atmosphérique.

La station météo enregistre aussi d'autres facteurs, tels que la quantité de précipitation, la vitesse et la direction de vent...

5. Travailler avec les mesures dans un tableur

Avec l'outil de SchoolCO₂web, on peut télécharger les données (voir chapitre 3) en forme du fichier *.csv. Il est conseillé de choisir juste une école chaque fois. Vous pourrez fusionner les données des différents établissements plus tard. Une fois téléchargé et enregistré, vous pouvez importer le fichier *.csv dans un tableur.

Comment importer un fichier *.csv dans MS Excel

Vous trouverez à votre disposition un tutorial audiovisuel « Tutorial 01 – How to import csv files in Excel ». Ci-dessous les étapes montrées dans le tutorial :

- Ouvrir MS Excel et créer une nouvelle fiche
- Dans le menu « *Données* » sélectionner « Données externes » et puis « importer des données »
- Ouvrir le fichier *.csv
- L'assistant importation de texte s'ouvre. Procéder comme indiqué ci-dessous:
 - o Etape 1 : cliquer sur Suivant
 - o Etape 2 : sélectionner comme séparateur « Virgule », puis « Terminer ».
- Dans la fenêtre "*Importer des données*" cliquer sur "OK".

Vous avez réussi à importer le fichier *.csv. Si Excel utilise des points afin de séparer les décimaux, votre fiche est prête à utiliser. Si Excel utilise des virgules afin de séparer les décimaux, il ne reconnaîtra pas la plupart des mesures, parce qu'un point a été utilisé pour séparer les décimaux. Dans ce cas-là, Excel le lira comme un texte et l'alignera dans les cellules à gauche. Afin de les changer en chiffres, il faut remplacer les points avec les virgules. Ouvrir le menu « Edit » et choisir « Remplacer ». Dans la case « Rechercher », mettre un point, et dans la case « Remplacer par », mettre une virgule. Ensuite cliquer sur « remplacer tout ».

Corrélation entre vitesse du vent et niveaux de CO₂

Comme exemple, j'ai utilisé les mêmes données que dans la figure 3. Ce sont les données de Carl-Zeiss-Gymnasium du 10 au 14 novembre. Nous avons déjà vu que les niveaux de CO₂ augmentent pendant la nuit à cause de l'inversion (sauf s'il y a beaucoup de vent qui mélange le CO₂ dans l'atmosphère). On attend que les niveaux de CO₂ diminuent avec une augmentation de la vitesse du vent. Dans le tutorial audiovisuel nommé « Tutorial 02 – Correlation between CO₂ concentration and wind speed » je montre les étapes pour faire un graphique afin de visualiser la corrélation entre les niveaux de CO₂ et la vitesse du vent.

Déterminer les niveaux moyens de CO₂

Afin de pouvoir bien observer les teneurs moyennes en atmosphère de CO₂, il faut prendre les mesures quand l'atmosphère est bien mélangée. L'atmosphère est bien mélangée pendant la journée à cause de l'effet de la turbulence, et d'une vitesse de vent élevée. Ainsi, on peut déterminer le niveau moyen de CO₂ à partir des mesures prises entre 13 et 17h, et avec une vitesse de vent moyenne qui dépasse 2.5 m/s.

Comment faire cela en Excel ? La première étape est de filtrer les données afin d'obtenir les mesures entre 13h et 17h qui incluent une vitesse de vent moyenne au-dessus de 2.5 m/s. Ceci est expliqué dans le tutoriel «Filtering CO2 levels in well-mixed atmosphere », avec les données SchoolCO2web issues de la station « NL CIO » de la période entre le 3 juin et le 5 septembre.

Dans la deuxième étape on calcule les niveaux de CO2 à partir de 1) toutes les données et 2) des données filtrées exclusivement. Notre hypothèse déclare que les niveaux de CO2 pour les données filtrées sont plus bas parce que les mesures étaient réalisées dans une atmosphère bien mélangée. Le tutoriel « Tutorial 4 – Calculation of the average CO2 levels » nous montre comment calculer les niveaux moyens de CO2. Même si cela n'est pas statistiquement reconnu, on peut observer que le niveau moyen de CO2 pour une atmosphère bien mélangée est moins élevé (370 ppm) que pour toutes les mesures (377 ppm).