



## Votre kit de démarrage

- ⇒ Guide enseignant-chercheur
- ⇒ Informations générales
- ⇒ Visites de sites expérimentaux
- ⇒ SchoolCO2web



## Qu'est-ce qu'un partenariat enseignant-chercheur ?

CarboSchools vise à mettre en relation directe des chercheurs travaillant sur le cycle du carbone et le changement climatique et des classes d'élèves du secondaire afin que ces derniers :

- réalisent des expériences sur les gaz à effet serre
- reçoivent une expérience pratique de la recherche et rencontrent de vrais chercheurs
- réfléchissent aux moyens de diminuer les émissions de CO<sub>2</sub> et les mettre en place
- font partager les fruits de leur travail avec la communauté à travers les articles, expositions, conférences, Internet...
- établissent éventuellement des liens avec d'autres établissements en Europe sous forme d'échanges, communications électroniques, etc.

Le but de ce genre de partenariat est de faire coopérer des chercheurs et des enseignants dans le cadre des projets avec une durée de quelques mois où les deux parties en retirent un bénéfice mutuel – de manière différente des approches « sens unique » où les scientifiques transmettent leurs connaissances à l'établissement. Ce document vous fournit les informations essentielles sur l'approche partenariat, ainsi que des conseils pratiques à partir des expériences rassemblées dans les pays européens depuis quelques années par les partenaires de CarboSchools.

*6 exemples de projets sont présentés dans le deuxième livret pédagogique de CarboSchools (voir [www.carboschools.org](http://www.carboschools.org) ou [www.carboschools-aquitaine.org](http://www.carboschools-aquitaine.org)).*

### **Les informations essentielles**

*- un partenariat équitable entre scientifique (y compris le coordinateur régional) et enseignant*

- L'enseignant est le coordinateur de son projet, le chercheur est un partenaire :
  - l'enseignant fait le premier contact
  - les besoins de l'enseignant sont le moteur des activités
- Planifier les activités ensemble, avant de travailler avec les élèves, et respecter les contraintes de l'un et de l'autre
- Etablir les moyens de communication les plus efficaces et fiables pour les deux
- Se mettre d'accord sur l'activité à réaliser et la comprendre, établir les rôles de chacun
- Essayer de se contacter souvent, surtout au début du projet
- Faire grandir le partenariat progressivement : les petits objectifs fixés et réalisés concourent aux activités les plus réussies
- Essayer de créer un partenariat direct, sans obstacles et hiérarchies bureaucratiques

### **Combien de temps faut-il ?**

Les enseignants, aussi bien que les chercheurs, ont peu de temps, et leur implication dans ce genre d'activités va au-delà de leurs attributions. Le temps qu'il faut consacrer dépendra ainsi des deux partenaires.

## Rôles, bénéfices, conseils et erreurs à éviter

« Partenariat » signifie des contributions mais aussi des bénéfices pour les deux parties

	Enseignants	Chercheurs
<b>Rôles clés</b>	<p>Etre le moteur et coordonner le partenariat. Fournir leur compétence pédagogique, ainsi que les meilleurs projets et méthodes qui réussiront dans le cadre d'un établissement secondaire. Créer une situation d'apprentissage motivante qui est basée sur un travail pratique. Soutenir et inspirer les élèves pendant leur projet de recherche.</p>	<p>Faire mieux connaître la recherche et la signification de la vraie science. Fournir les informations les plus récentes sur le sujet, et sur les nouveaux appareils et méthodes.</p>
<b>Bénéfices principaux</b>	<p>Acquérir des connaissances, surtout pratiques, des chercheurs. Créer des projets d'élèves qui ressemblent aux méthodes authentiques de recherches. S'inspirer afin d'essayer des nouvelles activités dans les cours, développer des nouvelles expériences et méthodes. Obtenir des financements et des nouveaux équipements. Rester informé sur les développements scientifiques les plus récents. Se motiver à travers une activité inhabituelle Transmettre aux élèves la nature stimulante de la science, qui ne se limite pas aux livres de textes.</p>	<p>Améliorer vos capacités de communiquer au public, clarifier vos propres idées. Rencontrer des enseignants et élèves enthousiastes et ambitieux. Attirer des élèves aux études scientifiques, augmenter leur intérêt pour la science. Se motiver à travers une activité inhabituelle.</p>
<b>Conseils principaux</b>	<p>Participez activement dans la recherche d'un contact. Se rencontrer avant de commencer le projet avec les élèves, et se mettre d'accord sur les actions à prendre, les objectifs communs, etc. Faites-en une activité régulière intégrée dans le programme scolaire. Discutez de l'emploi de temps à l'avance, fixez les contraintes dès le début. Soyez ouvert aux idées du scientifique, même si cela vous demande d'adapter vos connaissances et points de vue. Apprenez un peu d'anglais.</p>	<p>Ecoutez attentivement les enseignants. Assurez-vous que l'enseignant partenaire ait assez de temps pour le projet. Intégrez cette activité dans votre plan de travail de chercheur.</p>
<b>Erreurs à éviter</b>	<p>Ne démarrez pas avec de gros projets ou des activités compliquées. Ne limitez pas la participation d'un scientifique à une conférence, invitez-le à participer activement lors de la conception du projet. N'oubliez pas votre rôle d'enseignant, n'attendez pas que le scientifique vous remplace. N'expliquez pas tout aux élèves, incitez-les à se poser des questions et faire leur propre recherche. Ne forcez pas une classe, travaillez avec des groupes motivés.</p>	<p>Votre rôle n'est pas de diriger le partenariat. Ne vous appuyez pas seulement sur la transmission des connaissances. Ne vous fixez pas des attentes élevées des enseignants et élèves.</p>

## Qu'est-ce que les élèves font et y gagnent ?

### Les principales activités réalisables à travers une relation directe avec un scientifique :

- Des expériences en temps réel (sur place, dans un laboratoire scientifique, sur le terrain)
- Des visites de sites expérimentaux (visites avec des chercheurs, sans intermédiaire)
- Des conférences et débats
- Accès et manipulation des résultats de recherche scientifique (bases de données mises en ligne sur site Internet ou fournies par le scientifique)
- Suivi de leurs travaux (protocoles, résultats, ...) à travers des rencontres avec le chercheur

### Les bénéfices pour les élèves :

- Réaliser des expériences
- Apprendre sur la démarche de découverte scientifique
- Participer dans une « vraie » recherche scientifique
- Apprendre sur la carrière et travail d'un scientifique
- Découvrir si la science les intéresse et leur convient en tant que domaine d'étude
- Apprendre d'une façon ludique
- S'approprier leur apprentissage personnel et se valoriser à travers leurs réussites
- Augmenter leur confiance en eux du fait de la considération apportée par les scientifiques aux activités réalisées en commun
- Appliquer leurs connaissances en langues étrangères
- Placer la science dans un contexte social ; se préparer lorsqu'ils seront adultes à faire des choix politiques de façon informée

## Suivi et bilan du projet

### Au début

- Dès que vous avez établi un calendrier, je vous remercie de me l'envoyer par courriel et de me tenir au courant de tout changement.
- CarboSchools Europe doit réaliser des évaluations de projet. Vous recevrez des questionnaires à remplir par les élèves : un questionnaire **au début** de votre projet et une autre **vers la fin** de l'année scolaire.

### Au milieu

Je souhaiterais vous rencontrer afin de faire un bilan. Nous ferons le point sur ce qui aura été réalisé, et nous planifierons ensemble la prochaine partie du projet.

### Tout le long

Afin d'alimenter la page « projets » du site web régional, je vous remercie de m'envoyer les travaux des élèves que vous voudriez y présenter.

### A la fin

Vous recevrez des évaluations à remplir par les élèves vers la fin de l'année scolaire.

## Les interventions des scientifiques

Si vous souhaitez programmer des interventions des scientifiques ou des visites de sites expérimentaux, veuillez m'en informer au moins **4 semaines à l'avance**.

## Conférences finales

### Conférence régionale, Bordeaux

CarboSchools Aquitaine organisera un colloque pour que les élèves puissent présenter les fruits de leur travail aux autres établissements participants au projet. La date est à fixer (avril ou mai). Je vous conseille d'informer vos élèves de leur participation dans cet événement dès le début du projet, et de préparer les travaux à présenter tout le long du projet (présentations, petits films, posters, ateliers...), afin d'éviter un surcharge de travail juste avant la conférence.

### Conférence finale et « summerschool », Jena, Allemagne, 11-15 avril 2010

Un nombre d'élèves de chaque région seront sélectionnés pour participer à cet événement qui clôturera CarboSchools Europe. Je vous enverrai prochainement toutes les informations le concernant.

## Sites web CarboSchools

Avant d'essayer de réinventer la roue, il est conseillé de consulter les ressources à votre disposition dans les sites web de CarboSchools.

### Le site européen [www.carboschools.org](http://www.carboschools.org)

Ici vous trouverez des informations générales sur le projet et sur les autres partenaires européens, ainsi que des ressources pédagogiques et scientifiques (rubrique « Ressources for schools »). Même si beaucoup des ressources sont en anglais, quelques unes sont en français.

### Le site régional : [www.carboschools-aquitaine.org](http://www.carboschools-aquitaine.org)

Dans la rubrique « ressources », vous trouverez des types de ressources suivantes :

- Ressources pédagogiques avec des fiches d'activités, expériences etc.,
- Ressources scientifiques avec des données, présentations de chercheurs etc (accès restreint, il faut solliciter un mot de passe),
- Autres documents,
- Liens utiles pour vous et vos élèves.

### Equipements

Je vous prie de m'informer au début de votre projet de vos besoins en équipement. Si vous avez besoin d'un équipement en particulier, je peux peut-être le trouver ou l'acheter s'il n'est pas trop cher et si son utilisation ne se limitera pas à une seule fois.

A votre disposition, nous avons 4 sondes à CO<sub>2</sub> :

1 x Vaisala GMP70 <http://www.vaisala.fr/instruments/produits/dioxydedecarbone/gm70>,

3 x TSI 7535 [http://www.tsi.com/fr1036/models/3620/7535\\_new/Product\\_Literature.aspx](http://www.tsi.com/fr1036/models/3620/7535_new/Product_Literature.aspx)

### Autorisation usage photos

Dans le cadre du projet CarboSchools, vous serez amenés à prendre des photos ou à filmer des séances de travaux pratiques. Ces photos pourront être utilisées lors d'expositions ou sur les sites Internet (lycée et CarboSchools).

*Veillez à bien vouloir envoyer une lettre aux parents afin d'obtenir leur autorisation pour l'usage pédagogique des images de leur enfant dans ce contexte, et à m'en informer (sinon je ne pourrai pas mettre les photos en ligne)*

## ⇒ Visites de sites expérimentaux

Ce document contient des informations sur la recherche et les expériences et mesures en cours sur deux sites de l'INRA. Ces deux sites, ainsi que un ou deux scientifiques, sont à votre disposition pour une visite avec les élèves. Veuillez à bien vouloir collaborer avec Stéphanie Hayes ou un scientifique, afin d'organiser les activités que vous souhaiteriez réaliser pendant la visite.

### 1) Centre de l'Inra à Pierroton (Cestas)

Ce centre regroupe les bureaux et laboratoires de plusieurs unités de l'Inra. A travers une visite de ce site, les élèves apprendront tout sur des expériences et mesures en cours, l'écosystème du pin maritime et la sylviculture. De plus ils pourront situer les chercheurs dans leur contexte de travail.

Plan d'accès :



Adresse postale et coordonnées :  
Inra - Unité EPHYSE (1263)  
Site de recherche Forêt-Bois  
Domaine de l'Hermitage  
69 route d'Arcachon  
33612 Cestas cedex  
tél : 05 56 68 28 54  
fax : 05 56 68 05 46

Une expérience qui est particulièrement intéressante est celle de CATS (Integrated monitoring of Carbon Allocation in Tree and Soil (suivi intégré de l'allocation de carbone dans l'arbre et le sol)), qui est actuellement réalisée sur trois sites : Pierroton (pins maritimes), Nancy (hêtres) et Orsay (chênes)

Les objectifs généraux de ce projet sont :

- caractériser l'allocation du carbone dans des forêts tempérées,
- déterminer comment les paramètres environnementaux contrôlent cette allocation,
- déterminer la relation entre l'allocation et le fonctionnement de l'arbre et du sol, et entre les interactions arbres-sols.

Le but principal de l'expérience à Pierroton est de suivre la migration du  $^{13}\text{C}$  dans un pin maritime (dans le tronc, les branches, aiguilles, racines...). Une bâche est posée au dessus de l'arbre, qui est rendue hermétique. Du  $^{13}\text{CO}_2$  est injecté dans l'arbre. Un climatiseur dans la bâche permet de garder les mêmes conditions. La bâche est enlevée lorsque l'arbre a absorbé le  $^{13}\text{CO}_2$ , la durée d'absorption dépend des conditions climatiques. Les flux de gaz sont mesurés par le spectrophotomètre qui est lié à l'arbre par des tuyaux.

## ⇒ Visites de sites expérimentaux

---



### Les capteurs et systèmes de mesures

#### Sur l'arbre



*Chambres pour mesurer la respiration du tronc et des branches*



*Capteurs du flux de sève*

## ⇒ Visites de sites expérimentaux

---



*Microdendromètres (potentiomètres linéaires) – mesurer la croissance en diamètre du tronc*



*Thermocouples – mesurer la température du tronc*



*Chambres pour mesurer la respiration du sol et des racines*



*Capteur optique croissance de racines*

*Capteurs d'humidité de sol (pas d'image)*

## ⇒ Visites de sites expérimentaux

---

### Capteurs météorologiques



*Capteurs de température atmosphérique et humidité  
Capteurs de rayonnement global et PAR*

### Mesures de CO<sub>2</sub>

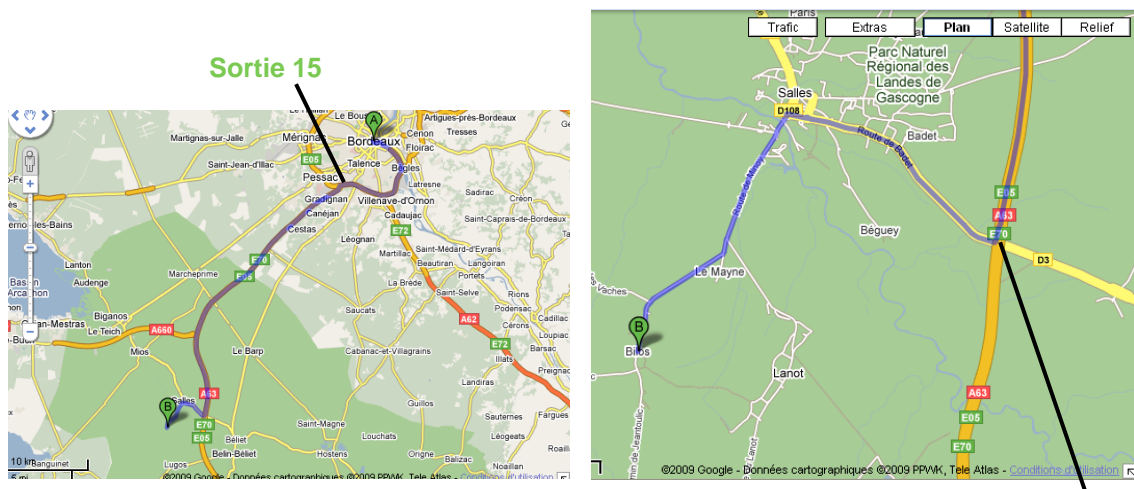


*Spectrophotomètre (Tunable Diode Laser Spectrophotometer)*

### 2) Bilos

Ceci est un site expérimental de l'unité Ephyse de l'Inra. Il s'agit de deux parcelles de jeunes pins maritimes (4-5 ans). Quatre grands projets de recherche y sont actuellement en cours. Ici, les élèves apprendront tout sur l'écosystème du pin maritime, la sylviculture, les expériences en cours et les capteurs et systèmes de mesure associés.

Plans d'accès :



Sortie 21



### Les paramètres mesurés

#### Atmosphère

- CO<sub>2</sub> (Licor 7500 + Licor 7000)
- Ozone (lent ESA + rapide (flux) NOAA)
- Vitesse et orientation du vent (anémomètre sonique à trois dimensions, girouettes, anémomètre à coupelles)
- Précipitation (au dessus du couvert, interception)
- Humidité
- Température
- Pression atmosphérique
- Rayonnement photosynthétiquement actif (PAR), rayonnement global, rayonnement net, rayonnement atmosphérique, terrestre

#### Sol

- Hauteur de nappe
- Flux de chaleur

#### Arbres

- Croissance en diamètre (potentiomètre)
- Flux de sève



## 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 CO<sub>2</sub>. 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> fixé par les plantes entre mai et septembre dans l'hémisphère Nord. En conséquence, on voit une diminution en CO<sub>2</sub> atmosphérique de quelques ppm.

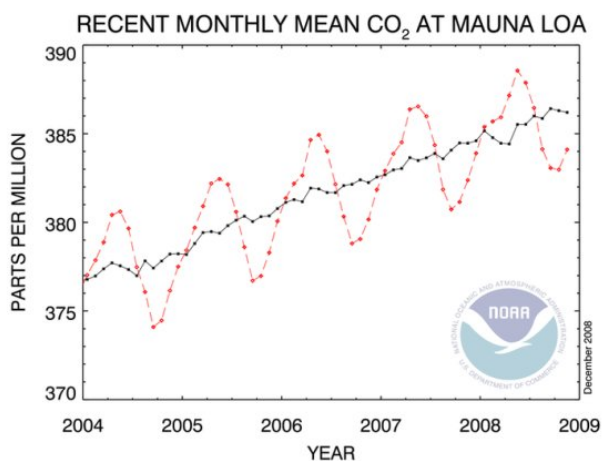


Figure 1. Niveaux moyens mensuels de CO<sub>2</sub> à la station de mesures de Mauna Loa.

La courbe noire montre les niveaux moyens mensuels de CO<sub>2</sub> qui ont été corrigés pour prendre en compte les effets saisonniers. Au cours des dernières années, le niveau moyen de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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>).

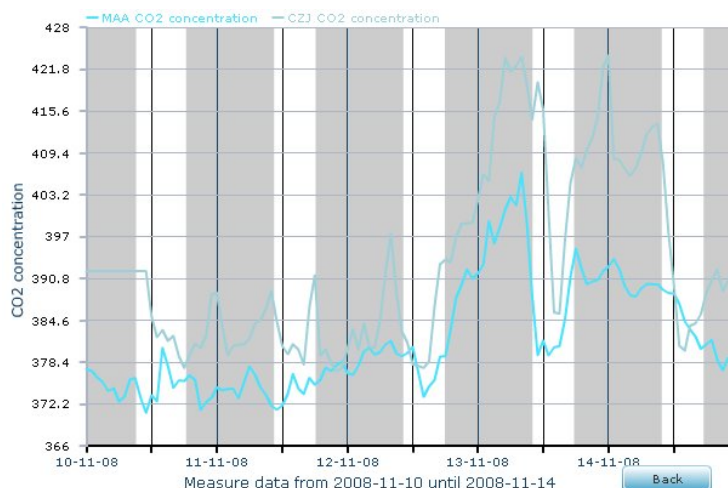


Figure 2. Niveaux de CO2 atmosphérique à Carl-Zeiss-Gymnasium, Jena (Allemagne) et à Maartenscollege, Haren (Pays bas)

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.

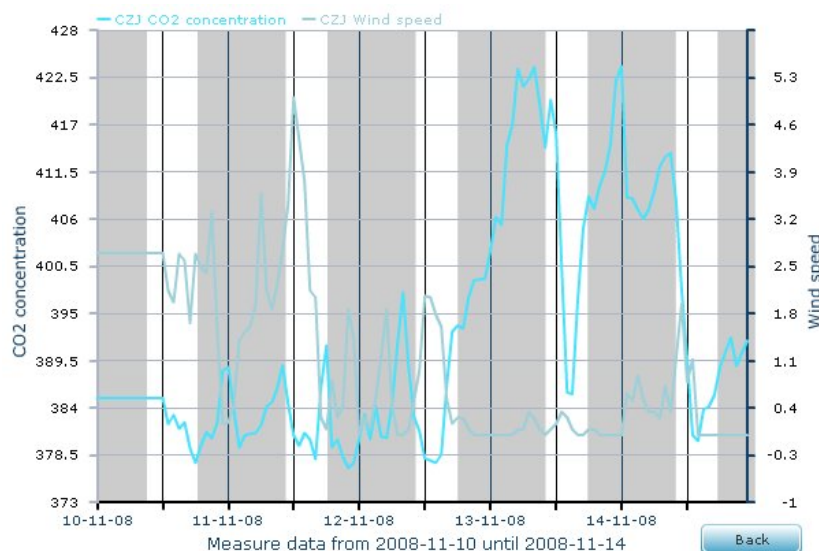


Figure 3. Niveaux de CO2 atmosphérique et vitesse du vent au lycée "Carl-Zeiss" de Jena

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 CO<sub>2</sub> 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.

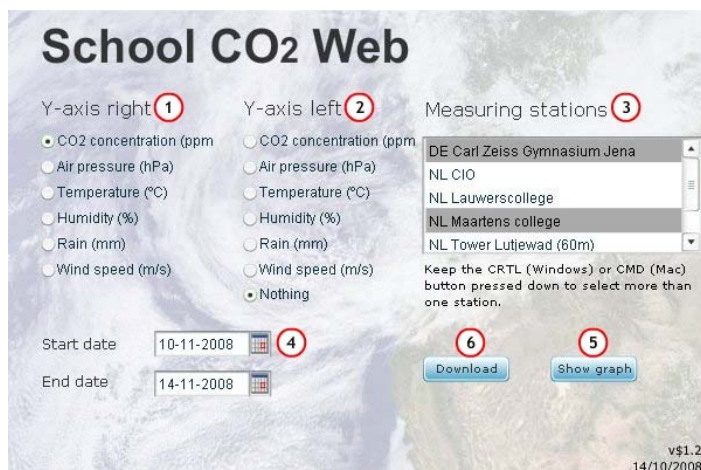


Figure 4. Outil pour télécharger les mesures

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 « CO<sub>2</sub> 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

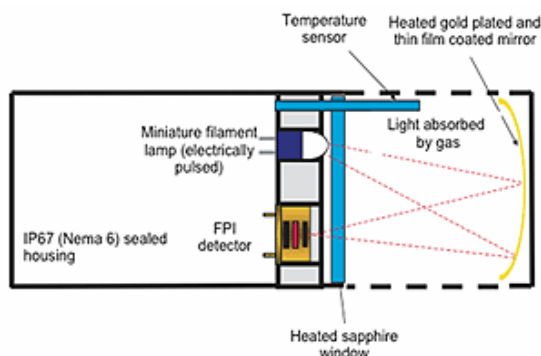


Figure 5 Composition de la sonde infr-rouge à CO2 de Vaisala

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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> qui ont absorbé la lumière, et par conséquent, elle est une mesure de la concentration de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>. Par exemple, une augmentation en pression atmosphérique signifie une augmentation en particules d'air dans un espace, résultant en plus des molécules de CO<sub>2</sub>. Ainsi, la Vaisala mesure davantage de CO<sub>2</sub> quand la pression atmosphérique est plus haute. Cependant, nous voudrions savoir la concentration de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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:
  - Etape 1 : cliquer sur Suivant
  - 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 CO<sub>2</sub>

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 CO<sub>2</sub> augmentent pendant la nuit à cause de l'inversion (sauf s'il y a beaucoup de vent qui mélange le CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère). On attend que les niveaux de CO<sub>2</sub> 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).