

# CO<sub>2</sub> et réchauffement global



**Projet porté par :**  
**IPSL, Université Pierre et Marie-Curie**  
**Académie de Versailles**

**Responsables :**  
**Marc Jamous (chargé de médiation scientifique),**  
**l'IPSL ;**  
**Muriel Blot, Michel Coste, Françoise Ribola, (IPR**  
**SVT)**  
**Laurence Lossouarn (professeur), Académie de**  
**Versailles.**

# **Table des matières**

1. Description du projet
2. La composante interactive avec les lycées proposant l'option MI SVT dans l'académie de Versailles
  - a. Les lycées concernés
  - b. Objectifs du projet
  - c. Les capteurs utilisés
  - d. Le protocole de travail
  - e. Dispositif de formation et d'accompagnement des enseignants
    - i. Stage initial de mise en place du projet
    - ii. Planning de travail et accompagnement au cours du projet
    - iii. Sites de mutualisation des données
  - f. Evaluation du projet
    - i. Colloque scientifique des lycées
    - ii. Mutualisation des données sur le site de l'académie
3. Les sites à disposition des enseignants
  - a. Lien avec les programmes de lycée
  - b. L'évaluation des besoins au cours du stage initial
  - c. Architecture et contenu des sites
4. Annexes
  - Annexe 1 : Les lycées de l'académie concernés
  - Annexe 2 : Les capteurs utilisés
  - Annexe 3 : Programme de travail du stage initial
  - Annexe 4 : Protocole de travail mis en place au cours du stage initial
  - Annexe 5 : Planning de travail (mis en place au cours du stage initial)
  - Annexe 6 : Les parties de programme concernées par le projet
  - Annexe 7 : Liste des documents attendus par les enseignants

## 1. Description du projet

La question du réchauffement climatique global et sa relation avec la concentration de CO<sub>2</sub> atmosphérique est devenu un enjeu majeur pour nos sociétés. Eduquer les élèves à être des citoyens conscients de leurs choix et de leurs conséquences sur l'environnement est un des objectifs du système éducatif du XXI<sup>ème</sup> siècle. C'est dans ce contexte que l'Académie de Versailles et l'IPSL ont décidé de s'associer pour mettre à disposition des enseignants un panel de documents scientifiques leur permettant d'aborder ces problématiques au sein d'une démarche expérimentale.

Ce projet comporte deux composantes :

- Un ensemble d'expérimentations autour de la concentration de CO<sub>2</sub> atmosphérique et de ses effets à concevoir et réaliser par des lycéens de l'académie de Versailles accompagnés par l'IPSL
- Un site documentaire proposant un ensemble de documents scientifiques à destination des enseignants et des élèves, mis en place par l'IPSL.

## 2. La composante interactive avec les lycées proposant l'option MI SVT dans l'académie de Versailles

### *a. Les lycées concernés*<sup>1</sup>

L'académie de Versailles a la spécificité de proposer dans certains de ses établissements l'option MI SVT (Mesures et Informatique en Sciences de la Vie et de la Terre). Cette option s'adresse à des élèves de seconde. C'est une option choisie en début d'année par les élèves pour l'ensemble de l'année. Les élèves travaillent en groupe réduit (16 à 18 élèves maximum), sur une durée de 3 heures hebdomadaires. Ce contexte permet aux élèves de mener une démarche expérimentale de bout en bout. Vingt établissements proposant l'option MI SVT ont souhaité entrer dans le dispositif d'expérimentation.

### *b. Objectifs du projet*

Les objectifs sont multiples :

- Concevoir un protocole expérimental permettant de mener une étude à long terme (de Septembre à Mai) de la concentration du CO<sub>2</sub> atmosphérique au niveau de l'académie de Versailles. Ce protocole sera travaillé au niveau de l'établissement puis au niveau de l'ensemble des établissements du dispositif, afin d'avoir un protocole le plus performant possible, suivi par l'ensemble des établissements,
- Mettre en pratique le protocole conçu afin de réaliser une base de données académique, les résultats seront publiés de façon régulière par chaque établissement sur un site de mutualisation,
- Concevoir et réaliser une autre série d'expérimentations autour du CO<sub>2</sub> et de ses effets. Ce deuxième objectif sera plus spécifique de chaque établissement et permettra de montrer la richesse des expérimentations qui peuvent être envisagées autour d'une même problématique,

---

<sup>1</sup> Voir Annexe 1 : carte des établissements proposant l'option MISVT dans l'académie de Versailles

- Permettre une relation directe entre le travail réalisé dans les établissements scolaires et le milieu de la recherche : chaque établissement devrait en plus du contact avec l'IPSL établir un partenariat avec un organisme de recherche,
- Permettre une communication et un travail collaboratif entre groupe de MI SVT appartenant à des établissements différents mais travaillant sur des problématiques communes, à l'instar des laboratoires de recherche qui travaillent en commun sur un même projet.

### ***c. Les capteurs utilisés***<sup>2</sup>

Une série de capteurs sera mise à disposition par l'IPSL dans les établissements participant au projet. Un capteur plus performant devrait être mis en place dans un établissement pilote.

### ***d. Le protocole de travail***

Le protocole de travail a été mis en place en deux temps :

- une trame générale du protocole, mise en place par l'ensemble de l'équipe des professeurs engagés dans le projet lors du stage initial de mise en place du projet,
- un protocole détaillé, mis en place dans chaque établissement par les élèves. Pour la partie commune ce protocole sera confronté à celui des autres établissements afin de dégager un protocole commun. Pour la partie spécifique à chaque établissement le protocole sera travaillé par les élèves au sein de l'établissement. Des interactions peuvent être envisagées entre établissements travaillant sur des thèmes proches.

### ***e. Dispositif de formation et d'accompagnement des enseignants***

#### ***i. Stage initial de mise en place du projet***<sup>3</sup>

Un stage de mise en place du projet s'est déroulé les 13 et 16 Juin 2008. Regroupant au moins un membre de chaque équipe pédagogique des lycées intéressés, il a permis :

- de clarifier les objectifs du projet
- d'identifier les lycées désirant participer au projet
- de présenter les capteurs à CO<sub>2</sub> et de réaliser une première prise en main
- de mettre en place une trame de protocole expérimental<sup>4</sup>
- de concevoir un planning de travail
- de réfléchir à des documents de travail ainsi qu'aux outils d'accompagnement nécessaires.

---

<sup>2</sup> Voir Annexe 2 : Fiche technique présentant les capteurs utilisés

<sup>3</sup> Voir Annexe 3 : Programme du stage initial

<sup>4</sup> Voir Annexe 4 : Protocole de travail mis en place au cours du stage initial

## *ii. Planning de travail et accompagnement au cours du projet<sup>5</sup>*

Un planning définissant les tâches de chacun tout au long du projet et les délimitant dans le temps a été mis en place au cours du stage initial. Une réflexion a été menée sur les accompagnements à mettre en place pour permettre une réalisation optimale du projet. Un stage de formation sur la mise en ligne de données sur le site académique ainsi que l'utilisation d'un tableur est prévu courant Octobre. Trois sites internet vont être mis en place pour mutualiser les données et apporter des compléments scientifiques.

## *iii. Site de mutualisation des données*

Un site de mutualisation des documents de travail a été mis en place sur la partie à accès limité du site académique SVT (PRODSVT ; MISVT ; Projet CO2). Chaque enseignant participant au projet possède un droit de lecteur et d'auteur, il peut y déposer tous les documents de travail utilisés dans le cadre du projet. Ce portail est accessible en lecture à tout enseignant de l'académie de Versailles.

Un portail va être ouvert sur le site académique SVT pour le projet. Chaque établissement aura un accès auteur ce qui lui permettra de mettre en ligne régulièrement :

- les résultats des mesures de concentration de CO<sub>2</sub> obtenues
- éventuellement un état de l'avancé du travail spécifique à chaque établissement.

Ce portail est accessible par toute personne qui se connecte sur le site académique.

Un site est en cours de rédaction par Marc Jamous. Il a pour but d'apporter un support scientifique au projet mais également à tous les thèmes en relation avec cette problématique dans les programmes scolaires. On pourra y trouver aussi bien des articles de mise au point rédigés par des scientifiques, que des documents scientifiques utilisables dans le cadre pédagogique et des protocoles expérimentaux réalisables en classe. La mise en place d'un forum sur le site permettra un échange entre établissement et les chercheurs de l'IPSL.

## ***f. Evaluation du projet***

### *i. Colloque scientifique des lycées*

L'organisation d'un colloque scientifique courant Mai permettra de réunir élèves, professeurs et scientifiques ayant participé au projet. Des élèves de chaque établissement présenteront à l'ensemble des membres présents le résultat de leurs recherches. Une interaction avec les scientifiques présents sera possible.

### *ii. Mutualisation des données sur le site de l'académie*

Afin que l'ensemble des travaux puisse être partagé par un maximum de lycéens et de collègues, chaque établissement présentera l'ensemble de ses travaux sous forme d'une page web. L'ensemble des pages alimenteront une rubrique prévue à cet effet sur le site de l'Académie de Versailles. Certains travaux pourront également venir enrichir le site d'informations scientifiques mis en place par l'IPSL.

---

<sup>5</sup> Voir Annexe 5 : Planning mis en place au cours du stage

### **3. Le site à disposition des enseignants mis en place par l'IPSL**

#### ***a. Lien avec les programmes de lycée***

Une lecture des programmes de lycée a permis de repérer les parties de programme au niveau desquelles l'IPSL pouvait apporter un complément scientifique.<sup>6</sup>

#### ***b. L'évaluation des besoins***

Afin de guider Marc Jamous dans la mise en place de ce site, une réflexion a été menée lors du stage initial et une liste de documents pédagogiques qui pourraient être intéressants a été établie.<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> Voir Annexe 6 : Les parties de programmes concernées par le projet

<sup>7</sup> Voir Annexe 7 : Liste de documents attendus par les enseignants

# **Annexes**

Annexe 1 : Les lycées de l'académie concernés

Annexe 2 : Les capteurs utilisés

Annexe 3 : Programme de travail du stage initial

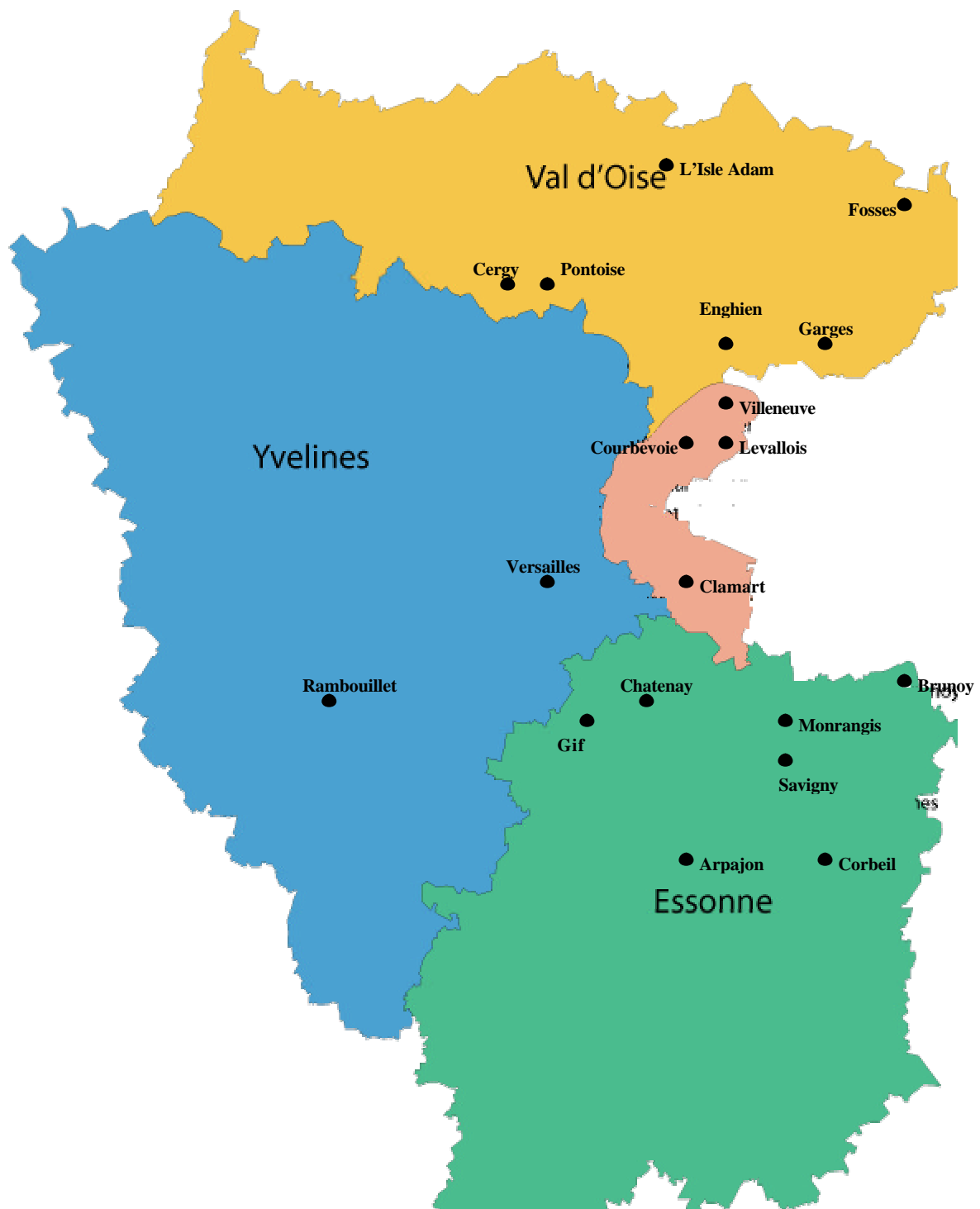
Annexe 4 : Protocole de travail mis en place au cours du stage initial

Annexe 5 : Planning de travail (mis en place au cours du stage initial)

Annexe 6 : Les parties de programme concernées par le projet

Annexe 7 : Liste des documents attendus par les enseignants

## ANNEXE 1 : Etablissements MI SVT participant au projet CO2





## ANNEXE 2 : Les capteurs utilisés

Les capteurs de CO<sub>2</sub> utilisés sont produits par Testo®. Par affichage direct, ils indiquent la concentration de CO<sub>2</sub> contenu dans l'air ambiant de la sonde, en partie par millions en volume (ppmv). Il n'existe pas de sortie possible vers un ordinateur, ni de mise en mémoire. Cependant, il est possible de réaliser des mesures par moyenne ponctuelle (moyenne de plusieurs points de mesure) ou moyenne temporelle (moyenne d'une mesure continue pendant un temps donné). L'utilisation des capteurs est simple et nécessite une courte prise en main.

La plage de mesure, comprise entre 0 et 9999 ppmv, est suffisante pour les variations de la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone et pour mener des expériences permettant d'en comprendre la régulation. La faible sensibilité des appareils rend difficile l'observation des cycles fins (cycles saisonniers et journaliers) mais permet de montrer les variations dues aux différentes activités humaines. Il est ainsi intéressant pour les élèves de réfléchir aux données à mesurer en même temps que la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> pour comprendre les grandes variations de cette concentration. Il peut s'agir de la direction et de la force du vent, des quantités de précipitations, de l'état de la couverture nuageuse.

### Données techniques des capteurs

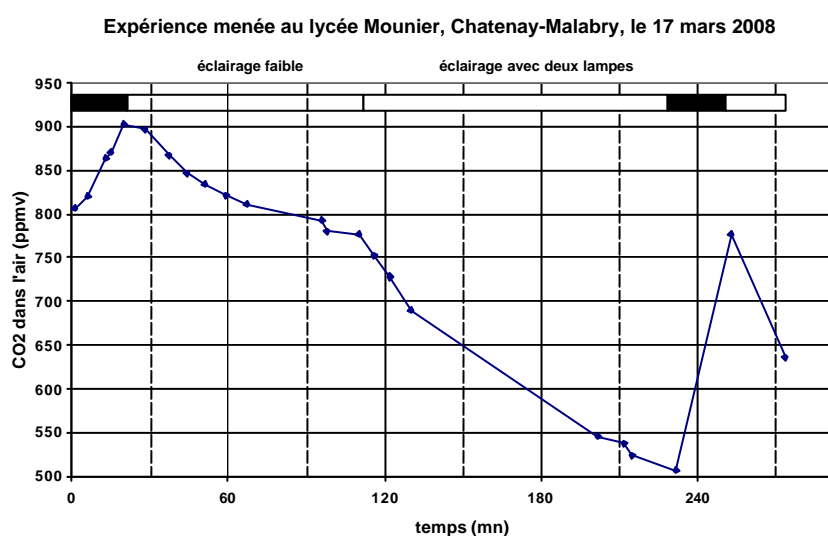
Température de stockage	-20 ... +70 °C
Température de fonctionnement	0 ... +50 °C
Type de batteries	Pile 9V
Autonomie	6 h
Poids	300 g
Dimension	190 x 57 x 42 mm
Plage de mesure	0 ... +9999 ppm CO <sub>2</sub>
Précision	±(50 ppm CO <sub>2</sub> ±2% v.m.) (0 ... +5000 ppm CO <sub>2</sub> ) ±(100 ppm CO <sub>2</sub> ±3% v.m.) (+5001 ... +9999 ppm CO <sub>2</sub> )
Résolution	1 ppm CO <sub>2</sub>

Vue du capteur et matériel utilisé pour l'expérimentation :

le capteur indique une concentration en CO<sub>2</sub> de 784 ppmv dans la serre.



Exemple d'une série de mesure réalisée dans un lycée



### ANNEXE 3 : Programme du stage initial Programme séminaire de travail Projet CO<sub>2</sub>

#### Journée N° 1

**Public concerné :** Enseignants en MI SVT désirant ou susceptibles de désirer travailler sur le projet SVT.

**Lieu :** Faculté de Jussieu (Lieu précis et plan d'accès joints à la convocation)

**Durée :** 9h00 /16h00

#### Déroulement de la journée :

- 9h00/9h30 :** Accueil *Muriel Blot*  
Bilan des établissements représentés, identification des demandes : décision prise de participer au projet ou information avant prise de décision.
- 9h30/10h00 :** Présentation du projet *Marc Jamous, Michel Coste, Françoise Ribola, Muriel Blot*
- 10h00/10h30 :** Présentation des sondes *Marc Jamous (IPSL)*  
Présentation générale, mode de fonctionnement, caractéristiques techniques, types de résultats que l'on peut obtenir, types de manipulations envisageables.
- 10h30/10h45 :** Pause café
- 10h45/11h45 :** Travail en atelier  
Prise en main des sondes, première réflexion sur le protocole de travail collectif, piste de travail par établissement, cahier des charges, planning sur la partie collective.
- 11h45/12h30 :** Bilan des ateliers et réponses aux questions diverses *Un rapporteur par groupe*
- 12h30/14h00 :** Pause repas (les modalités seront précisées sur la convocation)
- 14h00/14h30 :** Synthèse des ateliers *Muriel Blot*  
Arrêt d'un protocole de travail collectif, du cahier des charges et d'un planning.
- 14h30/15h15 :** Travail en atelier  
Réflexion sur les documents d'accompagnement à produire, les points à travailler, le rôle de chacun au sein du projet.
- 15h15/15h45 :** Synthèse *Un rapporteur par groupe*
- 15h45/16h00 :** Mise en place organigramme et groupe de travail du lendemain  
Conclusion
- 16h00 :** Fin de la première journée de séminaire

#### Journée N° 2

**Public concerné :** Groupe de travail déterminé lors de la réunion N°1

**Lieu :** Faculté de Jussieu

**Durée :** 9h00 /13h00

#### Déroulement de la journée :

- 9h00/9h15 :** Répartition des tâches dans les sous-groupes de travail. *Muriel Blot*
- 9h15/12h00 :** Travail en atelier
- 12h00/13h00 :** Bilan
- 13h00 :** Fin du séminaire

## ANNEXE 4 : Protocole de travail mis en place

### FICHE PROTOCOLE :

#### Comment mesurer le CO2 ?

- Etalonnage : 30 secondes à l'allumage + 30 secondes
- Enregistrement : mesure moyenne sur 1 minute
- Sonde fixée (sonde non tenue à la main afin d'éviter rejets humains), protégée de la pluie et sans exposition directe au soleil (fenêtre laboratoire ?)

#### Suivi annuel :

- Mesure journalière à 10h au moment de la récréation
- Si 2 groupes de Mi SVT, alors un deuxième relevé à 15h !
- Mesure journalière pendant une semaine avant les vacances (premier groupe du 22 au 26 septembre) puis après hebdomadaire.
- 1 seul lieu de mesure dans le lycée pour le suivi annuel.
- Trace écrite :
  - Remplir manuellement la fiche élève
  - Compléter le fichier Excel pour la mise en ligne

#### Autres projets :

- Possibilité de mesure dans plusieurs lieux pour une étude ponctuelle dans le lycée.
- Possibilité d'effectuer plusieurs mesures au cours de la journée afin de suivre les variations horaires.

## ANNEXE 5 : Planning de travail

NB : tous les lycées effectuent la **mesure journalière** du CO2 atm au cours de la première semaine de chaque période. En dehors de cette semaine, une mesure hebdomadaire est attendue (pendant la séance de MI par exemple), pour les groupes qui souhaiteraient faire plus de mesures aucun problème.

Semaine	Date	Base de données		Expérimentation complémentaire	Autres événements	
1	1/6 Sept				Pré-rentree et rentrée	
2	8/13 Sept	Lancement du thème, mise en place				
3	15/19 Sept					
4	22/27 Sept	Mesures journalières	<b>Période 1</b> Groupe 1			
5	29Sept/4 Oct	Mesures hebdomadaires				
6	6/11 Oct					
7	13/18 Oct					
8	20/24 Oct	Envoi des résultats de la période 1	<b>Période 2</b> Groupe 2 Mesures journalières			
<b>VACANCES TOUSSAINT</b>						
9	10/15 Nov	Groupe 2 Mesures hebdomadaires				
10	17/22 Nov					
11	24/29 Nov					
12	1 /6 Déc					
13	8/13 Déc				Carboocéan	
14	15/20 Déc	Envoi des résultats de la période 2	<b>Période 3</b> Groupe 3 Mesures journalières			
<b>VACANCES NOEL</b>						
15	5/10 Janv	Groupe 3 Mesures hebdomadaires				
16	12/17 Janv					
17	19/24 Janv					
18	26/31 Janv					
19	2/7 Fév					
20	9/14 Fév	Envoi des résultats de la période 3	<b>Période 4</b> Groupe 4 Mesures journalières			
<b>VACANCES FEVRIER</b>						
21	2/7 Mars	Groupe 4 Mesures hebdomadaires				
22	9/14 Mars					
23	16/21 Mars					
24	23/28 Mars					
25	30/4 Avr					
26	6/11 Avr	Envoi des résultats de la période 4				
<b>VACANCES PAQUES</b>						
27	27 Avr/2 Mai	Préparation colloque				
28	4/9 Mai					
29	11/16 Mai				Colloque	
30	18/23 Mai					

## ANNEXE 6 : Les parties de programme concernées par le projet

### Programme de seconde :

#### Planète Terre et environnement global

La structure et l'évolution des enveloppes externes de la Terre (atmosphère, hydrosphère, lithosphère et biosphère) s'étudient à partir d'images satellitales (2).

L'effet de serre résulte comme sur Mars et Vénus de la présence d'une atmosphère (3).

Les mouvements des masses atmosphériques et océaniques résultent de l'inégale répartition géographique de l'énergie solaire parvenant à la surface de la Terre et de la rotation terrestre. Ces mouvements ont des conséquences sur l'évolution de l'environnement planétaire.

L'atmosphère terrestre a une composition chimique et une structure thermique qui varient avec l'altitude (4). L'ozone protège la Terre du rayonnement UV ; il est aussi responsable de la séparation

troposphère/stratosphère. Les mouvements atmosphériques sont rapides (de l'ordre de la dizaine de  $m.s^{-1}$ ) et permettent un mélange efficace des gaz et polluants ( $CO_2$ , CFC, poussières, etc) à l'échelle planétaire.

Les masses océaniques sont animées de mouvements de deux types : les courants de surface (couplés à la circulation atmosphérique) et les courants profonds (liés aux différences de température et de salinité de l'eau de mer (5)). Ces deux types de courants ont des vitesses de déplacement différentes. Ces vitesses sont plus faibles que celle de l'atmosphère et disséminent moins rapidement les polluants à l'échelle planétaire.

La biosphère ensemble de la matière vivante.

Notion de respiration, de fermentation, synthèse chlorophyllienne.

Les cycles de l'oxygène, du  $CO_2$  et de l'eau (6)

Ils montrent comment la lithosphère-l'hydrosphère, l'atmosphère et la biosphère sont couplées. Influence de l'homme. Action sur la température de surface.

Evolution historique de la composition de l'atmosphère :

La courbe des teneurs en  $CO_2$  et  $O_2$  de l'atmosphère terrestre depuis 4,5 milliards d'années.

La courbe des températures fossiles et des teneurs en  $CO_2$  au cours du quaternaire récent déterminée grâce à l'étude des isotopes de l'oxygène et des inclusions gazeuses des carottes polaires.

- Le bilan énergétique détaillé de l'effet de serre

- Le détail des réactions photochimiques de fabrication et de destruction de l'ozone.

- Les développements théoriques et quantitatifs sur la force de Coriolis.

- Les mécanismes de la photosynthèse, de la respiration et de la fermentation.

- Le bilan détaillé de l'écosystème terrestre.

- Les bilans quantitatifs des cycles géochimiques.

- Les mécanismes exacts des fractionnements isotopiques de l'oxygène.

## ANNEXE 7 : Liste des documents attendus par les enseignants

- **Documents d'accompagnement à la mesure et aux relevés quotidiens :**
  - **Docs d'appel** : Cycle du carbone – Puits – Sources et effets anthropiques
  - **Fiche Protocole d'utilisation de la sonde à CO<sub>2</sub>** (cf. Groupe de réflexion N°2)
  - **Fiche commune de mesures**
  - **Fiche technique de la sonde à CO<sub>2</sub>** (cf. Document Word de la valise "sondeCO2")
  
- **Documents d'accompagnement au développement d'activités spécifiques :**
  - Exemples de **manipulations simples** sur le CO<sub>2</sub> avec descriptif rapide (Ex. : construction mini-serre et culture hors-sol, manipulation échanges océan-atmosphère et coquille de palourde...)
  
- **Documents d'accompagnement à l'exploitation des données brutes collectées dans les établissements :**
  - **Fiche technique Excel**
  - Résumé de la *correspondance entre les unités et formules de calcul* : Pour le CO<sub>2</sub> = ppm, %, Gt/an, Ppartielle ; Pour la lumière = lux, Watt.m<sup>2</sup>, Pour l'hygrométrie = %, ppm, Ppartielle
  - **Formule de calcul et argumentation de la relation entre CO<sub>2</sub> atmosphérique et augmentation de température ;**
  - Tableau récapitulatif de la **composition de l'air** (% , Ppartielle, ppm)
  
- **Documents d'accompagnement à la poursuite du raisonnement : données de recherche précises :**
  - **Banques de données au format Excel** :
  - Données brutes de Glaciologie ;
  - Données brutes plus précises sur la part des différentes émissions humaines (détail des types d'émissions : transport, industrie, déforestation...) au cours du temps et sur une même année ;
  - Données brutes d'évolution de la capture de CO<sub>2</sub> par les différents puits au cours du temps et sur une même année ;
  - Document simple récapitulatif sur la **lumière, énergie, onde et photons** ;
  - **Spectre Infrarouge émis en fonction de la température** pour différents objets ;
  - Données précises sur la **relation biomasse / type de sol et échanges de CO<sub>2</sub>** ;
  - Données précises et explications théoriques sur le **bilan radiatif théorique à latitude équivalente de l'océan et d'un continent** ;
  - Données précises sur le **bilan hydrique des plantes** ;
  - **Formules de calcul** de la valeur moyenne de l'**effet de serre** et de la **température d'équilibre de la planète** (en prenant en compte albédo moyen et distance au soleil) ;
  - **Traduction simple des différents scénarios envisagés par le GIEC** (signification des possibilités envisagées) ;
  - **Mécanismes explicatifs de la remontée océanique** (Océans Indien et Pacifique) et du « **plongement** » Nord Atlantique ;
  - **Données sur le réel bilan des effets des forêts sur le CO<sub>2</sub>** ;
  - **Données expérimentales en plein champ pour les plantes C4 et CAM** ;
  - **Relevés océanographiques et relation CO<sub>2</sub> / pH** ;
  - **Autres puits de carbone non encore mobilisés** : permafrost sibérien ?
  - **Images satellitaires phytoplancton** et canaux utilisés – traitement fausses couleurs ;
  
- **Bibliographie - sitographie ;**