

# Examen L2 L'Homme et la Planète

14 décembre 2006 (2h)

## 1 Effet de serre et changement climatique (5 pts)

### 1.1 (2 pts)

Expliquez rapidement ce qu'est l'effet de serre et comment l'homme intervient sur celui-ci. Tracer rapidement l'évolution de la teneur en  $CO_2$  dans l'atmosphère (en ppmv) depuis 1850.

### 1.2 (1 pt)

Savez-vous à combien est estimé le "coût total" du changement climatique ?

### 1.3 (2 pts)

Donner la quantité annuelle de carbone rejeté par l'homme à l'atmosphère. Comment cette quantité s'équilibre-t-elle avec les différents puits et l'accumulation de l'atmosphère ?

## La géo-ingénierie

Aujourd'hui, quelques scientifiques pensent qu'il est plus rentable et plus faisable de "contrecarrer" le changement climatique par des dispositifs techniques de grande ampleur plutôt que de chercher à réduire ses causes : c'est la *géo-ingénierie*. Dans la suite de l'examen, nous allons examiner trois propositions de géo-ingénierie faites par des scientifiques pour contrebalancer l'effet de serre. *Note : ces projets sont tirés du journal "Science et Vie" (Décembre 2006). Néanmoins, les résultats applications numériques ne correspondent pas nécessairement aux chiffres donnés dans l'article...*

## 2 Mettre la Terre à l'ombre (13 pts)

Une solution proposée est de placer des miroirs en orbite autour de la Terre, afin de refléter la lumière du soleil.

### 2.1 (2 pts)

Ecrire l'équilibre radiatif de la Terre en fonction de l'énergie solaire totale  $L$  reçue par la Terre au sommet de son atmosphère par unité de surface et de l'albédo de la Terre  $A$ . On rappelle la loi de Stefan-Boltzmann, pour un "corps noir" :

$$B = \sigma T^4 ,$$

où  $B$  est l'énergie reçue par le corps noir,  $T$  est sa température de surface et  $\sigma$  la constante de Stefan-Boltzmann.

### 2.2 (1 pt)

Avec  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$ ,  $A = 0,3$  et  $L = 338 W \cdot m^{-2}$ , calculer la température d'équilibre de la Terre  $T_{eq}$ .

### 2.3 (1 pt)

La température moyenne réelle  $T_r$  est de 15°C. A quoi est dûe cette différence ?

### 2.4 (1 pt)

On pose  $\mu = T_r - T_{eq}$ .  $\mu$  est donc une quantification de l'effet de serre en terme de température. A combien est égal  $\mu$  aujourd'hui ( $\mu_{2006}$ ).

### 2.5 (1 pt)

Parmi les paramètres  $\mu$ ,  $T_r$  et  $T_{eq}$ , qu'est-ce qui risque d'évoluer fortement dans les années à venir, si les choses continuent à évoluer comme elles le font aujourd'hui ?

### 2.6 (2 pts)

On voudrait que la température réelle reste la même d'ici 2050. Ecrire cette condition sous la forme d'une relation entre  $\mu_{2006}$ ,  $T_{eq2006}$ ,  $\mu_{2050}$  et  $T_{eq2050}$ .

### 2.7 (2 pts)

On pense que d'ici 2050, si l'on continue à émettre des gaz à effet de serre et qu'on ne propose aucune solution, la température réelle pourrait être de 17,5°C. De combien faudrait-il diminuer le flux d'énergie arrivant du soleil pour que cette température reste la même ?

### 2.8 (2 pts)

Roger Angel, de l'Université d'Arizona, propose de diminuer le flux solaire incident en plaçant des miroirs en orbite de la Terre. En supposant que ces miroirs seront toujours entre la Terre et le Soleil, à une distance fixe de la Terre, et parfaitement orientés vers le soleil, de combien de miroirs de 60 cm de diamètre a-t-on besoin pour diminuer le flux d'énergie solaire de 4% ? On rappelle le rayon de la Terre  $R_T = 6400$  km.

### 2.9 (1 pt)

Que pensez-vous de la faisabilité d'une telle entreprise ?

## 3 Les ballons de soufre (14 pts)

Une deuxième solution proposée par le prix nobel de chimie Paul Crutzen serait d'injecter une grande quantité d'aérosols dans l'atmosphère.

### 3.1 (3 pts)

Qu'est-ce qu'un aérosol ? Quel est l'effet des aérosols sur le climat ? Citer quelques sources d'aérosols (naturelles et anthropiques) aujourd'hui ?

Le projet consiste en l'injection du sulfure de dihydrogène  $H_2S$  sous forme de gaz, qui s'oxyde très rapidement avec le dioxygène  $O_2$  de l'air pour former de l'oxyde de soufre  $SO_2$ . Enfin, celui-ci s'hydrate pour former de l'acide sulfurique  $H_2SO_4$ , qui condense en aérosol.

### 3.2 (2 pts)

Voici le schéma (FIG 1) des sources et des puits de soufre pour la troposphère. Les flux anthropiques sont en pointillés. Le soufre troposphérique était-il à l'état stationnaire avant l'ère industrielle ? L'est-il aujourd'hui ?

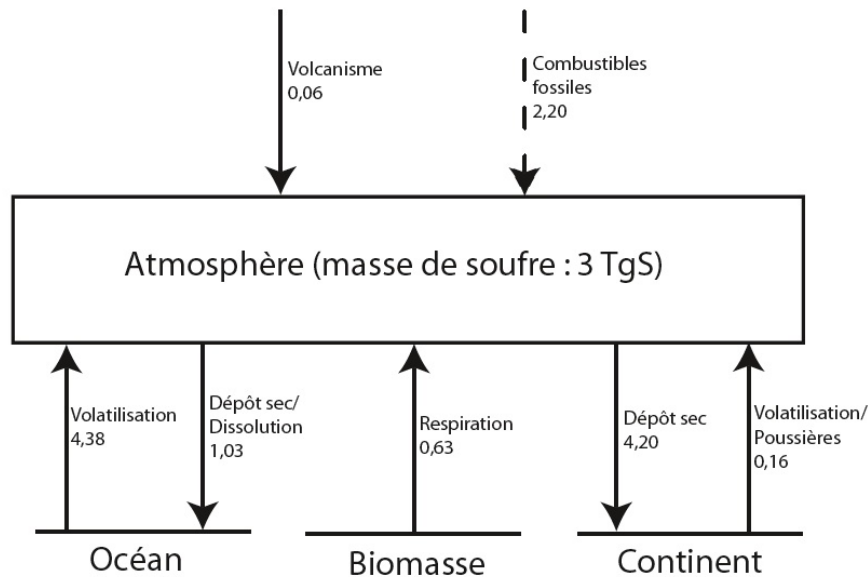


FIG. 1 – Puits et sources du soufre troposphérique. Les flux sont en  $10^{12}$  molS.an $^{-1}$ . On rappelle que 1 Tg vaut  $10^{12}$ g et que la masse molaire du soufre  $M_S$  est de  $32$  g.mol $^{-1}$ .

### 3.3 (2 pts)

On simplifie maintenant le schéma du soufre troposphérique. On considère un flux entrant constant  $F$  (égal à la somme des flux entrants présentés sur le schéma FIG 1) et un flux sortant (égal à la somme des flux sortants présentés sur le schéma FIG 1) proportionnel à la masse de soufre dans la troposphère. A quoi est égale la constante de proportionnalité, d'après les chiffres pré-anthropiques de la FIG 1 ?

### 3.4 (3 pts)

A  $t = 0$ , on injecte 20 millions de tonnes de soufre dans la troposphère. Etablir l'équation différentielle qui régit l'évolution de la masse de soufre dans la troposphère. Résoudre cette équation.

### 3.5 (4 pts)

Quel est l'état stationnaire atteint par le système au bout d'un temps suffisamment long ? Quel est le temps caractéristique de l'évolution de la teneur en soufre dans ce système ? Quel commentaire peut-on faire sur la durée de vie du soufre dans la troposphère ? Comment faire en sorte que le soufre reste plus longtemps dans l'atmosphère ?

## 4 Booster la pompe biologique (13 pts)

Victor Smetacek, de l'Institut Alfred Wegener, préconise de fertiliser l'océan avec du fer afin d'augmenter la productivité planctonique et donc de consommer du  $CO_2$ . On pense en effet que certaines régions de l'océan sont trop appauvries en fer pour permettre une activité planctonique importante.

### 4.1 (2 pts)

Qu'est-ce que la pompe biologique ? Quel est l'ordre de grandeur du flux de  $CO_2$  associé ?

#### 4.2 (1 pt)

Qu'est-ce qui peut expliquer l'appauvrissement en fer de certaines régions de l'océan ?

#### 4.3 (2 pts)

En imaginant que le rapport massique  $\frac{C}{Fe}$  dans le phytoplancton soit de 1000, et que tout le fer ajouté dans l'océan soit incorporé dans du phytoplancton au bout d'une année, quelle est la masse de carbone phytoplanctonique nouvelle à la suite d'une fertilisation avec 30000 tonnes de fer (en Pg.an<sup>-1</sup>) ? Comparer ce chiffre à d'autres flux caractéristiques du cycle du carbone.

#### 4.4 (2 pts)

Donner deux conditions pour que cette fertilisation fonctionne.

#### 4.5 (1 pt)

Que faut-il pour que du carbone atmosphérique soit effectivement séquestré ?

#### 4.6 (2 pts)

Le carbone pompé de cette façon est en fait prélevé à l'océan. Pour évaluer l'impact sur le carbone atmosphérique, nous avons besoin du facteur de Revelle  $RF$  :

$$RF = \frac{\frac{dCO_2}{CO_2}}{\frac{dDIC}{DIC}},$$

où  $CO_2$  est la teneur en carbone atmosphérique et DIC la teneur en carbone dissous dans l'océan de surface. Si on veut diminuer la teneur en carbone atmosphérique de 10%, de combien de % faut-il diminuer la teneur en carbone dissous dans l'eau de mer de surface ? On prendra un facteur de Revelle égal à 10.

#### 4.7 (1 pts)

La masse de l'océan de surface est de  $1,5 \cdot 10^{19}$  kg, et sa teneur en carbone dissous est de  $2,45 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Quelle est la masse de carbone dissous qu'il faut pomper à l'océan de surface grâce au phytoplancton pour obtenir une diminution de 10% de la teneur en carbone atmosphérique ?

#### 4.8 (2 pts)

A quelle masse de fer larguée dans l'océan cela correspond-t-il, si on suppose que 1% du carbone est effectivement séquestré et pas ré-oxydé ? Qu'en déduisez-vous sur la faisabilité et la validité de ce projet ?

### 5 Et... (5 pts)

Connaissez-vous d'autres projets (ou avez-vous d'autres idées) de geo-ingénierie qui permettraient de lutter contre le changement climatique ?