

Exercices avec le logiciel 

Épreuve Biologie & Modélisation - Contrôle terminal - 6 janvier 2010

M. Bailly-Bechet & S. Mousset

Durée 1h30

*Tous documents autorisés - échanges strictement interdits. Émission
de gaz à effets de serre dans le monde.*

Répondre directement sur la feuille

Nom :
Prénom :
Numéro de la carte d'étudiant :

1 Statistiques : Analyse des données du WRI sur l'émission de gaz à effets de serre.

1.1 Introduction

Le *World Resources Institute* est un lobby américain qui étudie les questions de réchauffement climatique et d'émission de gazs à effets de serre (abréviés GES par la suite). Il a publié un dossier très complet qui a été repris récemment dans plusieurs publications à destination du grand public (*Courrier International* n° 994, nov. 2009). Ce dossier contient, entre autres, de nombreuses données chiffrées sur les émissions de gazs à effet de serre par de nombreux pays, ainsi que des données démographiques et économiques.

Le but de cet examen est d'étudier un peu ces données et de voir quelles conclusions elles permettent de tirer. Les données présentées dans l'examen sont réelles, mais parfois incomplètes. On peut obtenir les données complètes sur Internet, à l'adresse www.wri.org/publication/navigating-the-numbers.

Au départ, les données ont été enregistrées dans le `data.frame` nommé `clim`. Celui-ci est composé ainsi :

```
head(clim, n = 10)
  Pays Emission Emission_cumulees_1850 Intensite Population
1   Etats Unis 6928           29.3         720         293
2     Chine 4938            7.6        1023        1280
3 Union Europeenne 4725           26.5         449         454
4     Russie 1915            8.1        1817         144
5     Inde 1884             2.2         768        1049
6     Japon 1317             4.1         400         127
7  Allemagne 1009             7.3         471          82
8     Bresil  851             0.8         679         174
9     Canada  680             2.1         793          34
10 Royaume-Uni  654             6.3         450          59
```

Les différentes colonnes correspondent aux données suivantes :

Pays est le nom du pays ou groupement de pays étudié. **Union Européenne** est l'ensemble des 25 pays de l'UE.

Emission représente le volume de CO_2 et autres GES émis en 2000, en millions de tonnes équivalent CO_2 , par chaque pays.

Emission_cumulees_1850 représente le pourcentage de la quantité totale de GES émis par chaque pays de 1850 à 2000, relatif à l'ensemble de ces émissions.

Intensite représente le taux d'émission de GES en 2000, par unité de "capital économique". Pour simplifier, on peut imaginer que cette valeur est calculée en divisant l'émission de GES divisé par un indicateur comme le PIB du pays.

Population est la population, en millions d'habitant, du pays.

1.2 Questions

Quelle commande permet de savoir combien de pays ou groupement de pays ont été inclus dans l'étude, et donne comme résultat :

[1] 25 5

Réponse :

Les 25 pays choisis sont ceux qui émettaient le plus de GES en 2000, en valeur absolue. On considère que ces pays sont les plus importants en ce qui concerne le réchauffement climatique, puisque un changement de politique d'émission de GES dans ceux-ci pourrait réduire notablement l'émission totale de GES à l'échelle mondiale.

Quelle commande `R` permet d'obtenir la liste des pays, parmi ces 25, qui ont émis plus que la moyenne des 25 en 2000 ?

[1] `Etats Unis` `Chine` `Union Europeenne` `Russie`
 [5] `Inde` `Japon`
 25 Levels: `Afrique du sud` `Allemagne` `Arabie Saoudite` `Argentine` `Australie` ... `Union Europeenne`

Réponse :

On considère cependant souvent que l'on doit tenir en compte la population ou l'activité économique de ces pays avant de pouvoir prendre des mesures contre l'émission de GES.

Comment calculer l'émission de GES de chaque pays par habitant ? Écrivez la commande `R` qui fait ce calcul et le met en mémoire dans un vecteur `Emission_habitant`, puis l'affiche.

Réponse :

Du point de vue de l'émission par habitant, les pays les plus émetteurs sont¹ :

```
head(clim[order(Emission_habitant, decreasing = TRUE), ])
      Pays Emission Emission_cumulees_1850 Intensite Population
1      Etats Unis 6928                29.3         720         293
16     Australie  491                 1.1         977          22
9      Canada    680                 2.1         793          34
4      Russie   1915                 8.1        1817         144
7      Allemagne 1009                 7.3         471          82
23 Arabie Saoudite 341                 0.5        1309          28
```

Et les moins émetteurs sont :

```
head(clim[order(Emission_habitant, decreasing = FALSE), ])
      Pays Emission Emission_cumulees_1850 Intensite Population
5      Inde  1884                 2.2         768        1049
25 Pakistan  285                 0.2        1074         145
15 Indonésie 503                 0.5         799          212
2      Chine 4938                 7.6        1023        1280
8      Brésil 851                 0.8         679          174
14 Mexique  512                 1.0         586          101
```

Quelles commandes permettent d'obtenir les mêmes classements, mais cette fois-ci en ordonnant les pays par rapport à leur émission par niveau d'activité économique ?

Réponse :

On obtient comme résultat de cette commande (les 5 premiers pays sont les plus émetteurs par unité d'activité économique, les 5 suivants sont les moins émetteurs) :

```
      Pays Emission Emission_cumulees_1850 Intensite Population
17     Ukraine  482                 2.2        2369          49
4      Russie  1915                 8.1        1817         144
18      Iran   480                 0.6        1353          66
23 Arabie Saoudite 341                 0.5        1309          28
25 Pakistan  285                 0.2        1074         145
2      Chine  4938                 7.6        1023        1280

      Pays Emission Emission_cumulees_1850 Intensite Population
13      France  513                 2.9         344           59
11      Italie  531                 1.6         369           58
6      Japon   1317                 4.1         400           127
3      Union Européenne 4725                26.5         449          454
10     Royaume-Uni 654                 6.3         450           59
7      Allemagne 1009                 7.3         471           82
```

On considère que l'Ukraine, la Russie, et l'Arabie Saoudite à cause de leurs économies basées sur les combustibles fossiles (charbon, pétrole), sont très émetteurs par rapport à leur activité économique relativement faible. La France, avec son énergie électrique essentiellement nucléaire, est au contraire très peu émettrice de GES sur cette échelle².

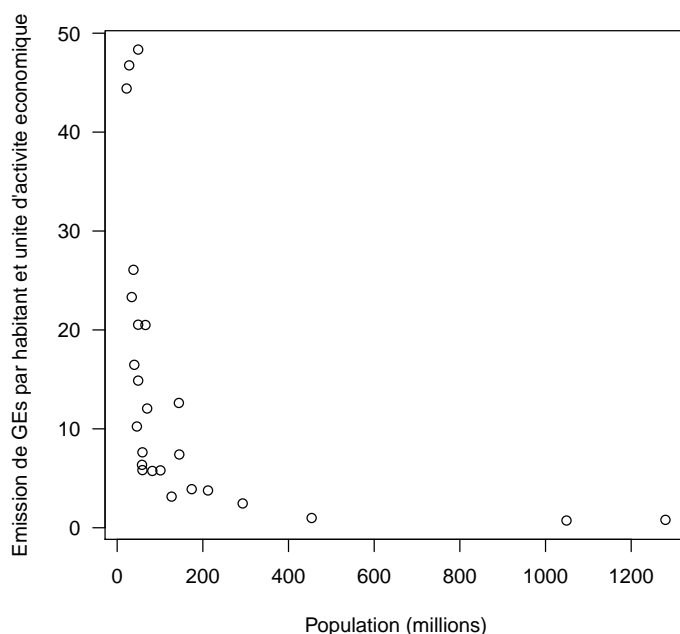
¹Si l'on étudiait tous les pays et pas seulement les 25 plus grands émetteurs, le Qatar et d'autres pays du Golfe Persique seraient loin devant les Etats-Unis

²Les déchets nucléaires et leur traitement sont un autre problème tout aussi important écologiquement

Certains analystes ont émis l'idée que l'on ne pouvait dissocier l'activité économique des pays et leur population, les deux étant intimement reliées. Pour vérifier cela, on peut tracer le graphe de l'intensité d'émission par habitant de chaque pays en fonction de sa population ; celui-ci représente le niveau d'émission de GES par habitant et par unité d'activité économique.

Quelle commande employeriez-vous pour tracer ce graphe ?

Réponse :



Ce graphe est-il lisible ? Comment pourrait-on faire pour l'améliorer ?

Réponse :

Observe-t-on une tendance particulière sur ce graphe ?

Réponse :

Afin de vérifier si effectivement la population et le niveau d'émission par habitant et par unité d'activité économique sont reliés, on décide de mesurer leur corrélation. On obtient :

[1] -0.4233869

Rappelez la signification du coefficient de corrélation de Pearson : que mesure-t-il ?

Réponse :

Pour vérifier si cette mesure est significative, on va effectuer un test, dit test du coefficient de corrélation. L'hypothèse nulle H_0 est "Le coefficient de corrélation n'est pas significativement différent de 0". L'hypothèse alternative H_1 est "Le coefficient de corrélation est significativement différent de 0". Le résultat du test est :

```
Pearson's product-moment correlation
data:  clim$Intensite/clin$Population and clim$Population
t = -2.2413, df = 23, p-value = 0.03495
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.70121008 -0.03393270
sample estimates:
      cor
-0.4233869
```

Interprétez ce résultat, au risque de 5%, et concluez sur la dépendance du niveau d'émission de GES d'un pays par habitant et par unité d'activité économique par rapport à sa population.

Réponse :

L'ensemble de l'analyse que vous avez effectué aujourd'hui permet de constater que les problématiques d'émission de GES ne sont pas les mêmes en fonction des pays. À l'aide des données de cette étude, quels changements pensez-vous que doivent adopter la Chine, les États-Unis et la Russie pour améliorer leur niveau d'émission de GES ?

Réponse :

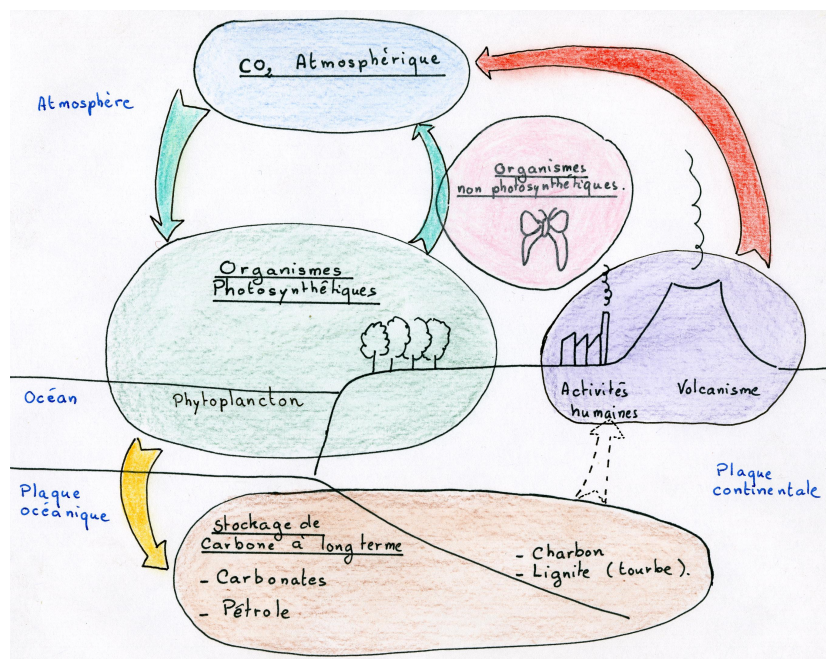
2 Modélisation : Évolution du CO_2 atmosphérique.

2.1 Le cycle du carbone

La figure 1 présente le cycle du carbone dont le CO_2 atmosphérique est un acteur important. Les principes de ce cycle sont les suivants :

- ★ Les organismes photosynthétiques (plantes mais aussi phytoplancton) captent le carbone atmosphérique par le phénomène de photosynthèse (flèche verte descendante de la figure 1).
- ★ La respiration des organismes vivants restitue la carbone à l'atmosphère sous forme de CO_2 . (flèche verte ascendante de la figure 1).
- ★ Une partie du carbone atmosphérique est stocké à long terme dans la lithosphère sous forme de roches carbonatées (essentiellement des calcaires) et de roches carbonées (flèche jaune de la figure 1). Les organismes photosynthétiques (notamment le phytoplancton) sont directement impliqués dans ce processus (les craies du crétacés sont formées de squelettes calcaires de phytoplancton : les coccolithophoridées).
- ★ Le carbone stocké dans la lithosphère est restitué à l'atmosphère par l'activité volcanique, mais aussi par l'industrie humaine qui utilise abondamment le carbone fossile (flèche rouge de la figure 1)

FIGURE 1 – Le cycle (simplifié) du carbone



2.2 Lien CO_2 atmosphérique / biomasse photosynthétique

On supposera que la dynamique de la biomasse photosynthétique P obéit à l'équation différentielle suivante :

$$\frac{dP}{dt} = \rho P \left(1 - \frac{P}{K} \right) \quad (1)$$

où ρ et K sont deux constantes réelles positives.

Quel modèle de dynamique des populations reconnaissez-vous dans l'équation 1 ?

Réponse :

Sans justifier votre réponse, tracez le portrait de phase du modèle de l'équation 1 en précisant la stabilité des points d'équilibre.

Réponse :

On propose à présent que la capacité limite de la biomasse photosynthétique est directement proportionnelle à la quantité de CO_2 atmosphérique³ selon l'équation

$$K = \alpha C \quad (2)$$

où C est la concentration en CO_2 atmosphérique et α une constante réelle positive.

2.3 Évolution de la quantité de CO_2 atmosphérique

D'après le schéma de la figure 1, on propose l'équation différentielle suivante pour modéliser l'évolution de la quantité de CO_2 atmosphérique :

$$\frac{dC}{dt} = \mu - \beta \frac{dP}{dt} - \lambda C \quad (3)$$

où β , λ et μ sont des constantes réelles positives.

Aux trois termes de l'équation 3 correspondent des couleurs de flèches sur la figure 1. En justifiant très brièvement, dites à quelle couleur de flèche ces termes correspondent :

³Ceci est une simplification très abusive utilisée à titre pédagogique.

Réponse :

Le terme $+\mu$ correspond aux flèches. . . , car

Le terme $-\beta \frac{dP}{dt}$ correspond aux flèches. . . , car

Le terme $-\lambda P$ correspond aux flèches. . . , car

En supposant que l'évolution de la concentration atmosphérique en CO_2 est suffisamment lente, la biomasse photosynthétique est en permanence maintenue à sa capacité limite K . On a alors toujours $P = \alpha C$.

En utilisant la relation $P = \alpha C$ et en écrivant $\frac{dP}{dt} = \frac{dP}{dC} \frac{dC}{dt}$, montrez que l'équation 3 peut s'écrire :

$$\frac{dC}{dt} = \frac{\mu - \lambda \alpha C}{1 + \alpha \beta} \quad (4)$$

Réponse :

2.4 Analyse qualitative du modèle de l'équation 4

Recherchez le(s) point(s) d'équilibre du modèle de l'équation 4.

Réponse :

À l'aide de la méthode de votre choix, étudiez la stabilité du (des) point(s) d'équilibre du modèle de l'équation 4.

Réponse :

Tracez le portrait de phase du modèle de l'équation 4.

Réponse :

2.5 Implication biologique des résultats

Au point d'équilibre stable du modèle de l'équation 4, que pouvez-vous dire des importances relatives des flux de carbone symbolisés par les flèches rouges et jaunes de la figure 1 ?

Réponse :

On estime à environ 6 Gigatonnes par an le flux de carbone correspondant aux activités humaines et au volcanisme tandis que le flux correspondant à la sédimentation et la fossilisation est estimé à environ 3 Gigatonnes par an. Peut-on dire que la quantité de carbone atmosphérique est à l'équilibre (justifiez votre réponse) ?

Réponse :