


Modélisation de l'effet anthropique sur la concentration en CO₂

**Thierry LHUILLIER, Professeur associé à Ifé-ENS Lycée
Claude de France. <thierry.lhuillier@ens-lyon.fr>
Nicolas ROBERT, Professeur associé à Ifé-ENS lycée Vaucanson.
< nicolas-jean-pa.robert@ac-orleans-tours.fr>
Publié par Gérard Vidal**

Modélisation de l'effet anthropique sur la concentration en CO₂

par Thierry LHUILLIER, Nicolas ROBERT, et Gérard Vidal

Copyright © 2015-01-15 Ce livret est mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les mêmes conditions 4.0 International [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>] 

Résumé

Étudier les variations climatiques nécessite de comprendre ce qu'est un modèle numérique. L'activité proposée, de niveau Seconde, utilise le logiciel gratuit de modélisation à compartiments (Vensim PLE) . La construction du modèle et sa modification permet d'appréhender la part des hypothèses, la part de la réalité dans la compréhension des phénomènes complexes. L'interprétation des sorties du modèle permet de montrer comment un modèle numérique, loin de représenter la réalité ouvre diverses pistes de recherche qui font progresser la science.


Table des matières

Modélisation de l'effet anthropique sur la concentration en CO ₂	1
Intégration dans la progression en Seconde et capacités, attitudes développées au cours de cette séance:	1
Les échanges de Carbone entre la biosphère et l'atmosphère.	1
Construire le modèle sur le papier	1
Les variations annuelles de concentration atmosphérique en CO ₂	2
Comprendre le modèle numérique	3
Valider le modèle :	4
Améliorer le modèle :	5
Création du compartiment "Pétrole,gaz et charbon"	5
Créer le flux "Apports de C par combustion"	6
Modifier les formules	6
Interprétation de la simulation.	7
Conclusion	9
Pour aller plus loin	9
La même activité , en plus long	10

Liste des illustrations

1. Modèle papier des échanges de CO ₂ entre l'atmosphère et la biosphère	2
2. Variations de la concentration atmosphérique en CO ₂ mesurées à Mauna Loa	3
3. Fenêtre de formule pour le compartiment atmosphère.	4
4. Bouton de lancement de la simulation.	4
5. Première simulation sur 10 ans.	5
6. Bouton de création d'un compartiment.	6
7. Bouton de création d'un flux.	6
8. Fenêtre de formule du compartiment "Pétrole, gaz et charbon"	7
9. Fenêtre de formule du flux "Apports de C par combustion"	7
10. Résultat de la simulation"	8
11. Total des émissions de Carbone sur la période 2000-2010	9

Modélisation de l'effet anthropique sur la concentration en CO₂.

Copyright © 2015-01-15 Ce livret est mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les mêmes conditions 4.0 International [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>] 

Intégration dans la progression en Seconde et capacités, attitudes développées au cours de cette séance:

Dans le thème 2: Enjeux planétaires contemporains : énergie, sol, il est noté dans le programme officiel :

"L'utilisation de combustible fossile restitue rapidement à l'atmosphère du dioxyde de carbone prélevé lentement et piégé depuis longtemps. Brûler un combustible fossile, c'est en réalité utiliser une énergie solaire du passé. L'augmentation rapide, d'origine humaine de la concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère interfère avec le cycle du carbone. "

L'activité proposée permet de réaliser une séance sur ce thème en travaillant les compétences suivantes:

- *Pratiquer une démarche scientifique (observer, questionner, formuler une hypothèse, expérimenter, raisonner avec rigueur, modéliser).*
- *Comprendre le lien entre les phénomènes naturels et le langage mathématique.*
- *Percevoir le lien entre sciences et techniques.*
- *Être conscient de sa responsabilité face à l'environnement, la santé, le monde vivant.*

Les échanges de Carbone entre la biosphère et l'atmosphère.

Construire le modèle sur le papier

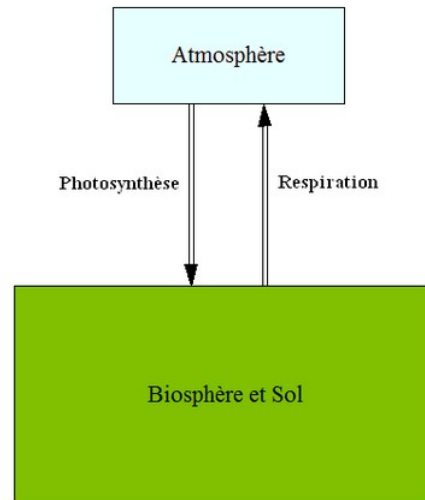
En classe de Seconde, l'étude du fonctionnement cellulaire permet d'aborder les échanges gazeux liés à la photosynthèse et à la respiration. La confusion entre les échanges de dioxygène et de dioxyde de carbone ou entre la photosynthèse et la respiration est courante chez les élèves.

La première étape consiste à leur demander de dessiner sur le papier un modèle simple représentant les échanges globaux de CO₂ entre l'atmosphère et la biosphère. La consigne est de représenter :

- Une boîte (Compartiment) pour l'atmosphère.
- Une boîte (Compartiment) pour la biosphère.
- Une flèche (Flux) avec légende représentant l'échange de CO₂ correspondant à la photosynthèse.
- Une flèche (Flux) avec légende représentant l'échange de CO₂ correspondant à la respiration.

Figure 1. Modèle papier des échanges de CO₂ entre l'atmosphère et la biosphère

Modèle des échanges de CO₂



Ce modèle papier permet de clarifier le sens des échanges de dioxyde de carbone entre les deux compartiments.

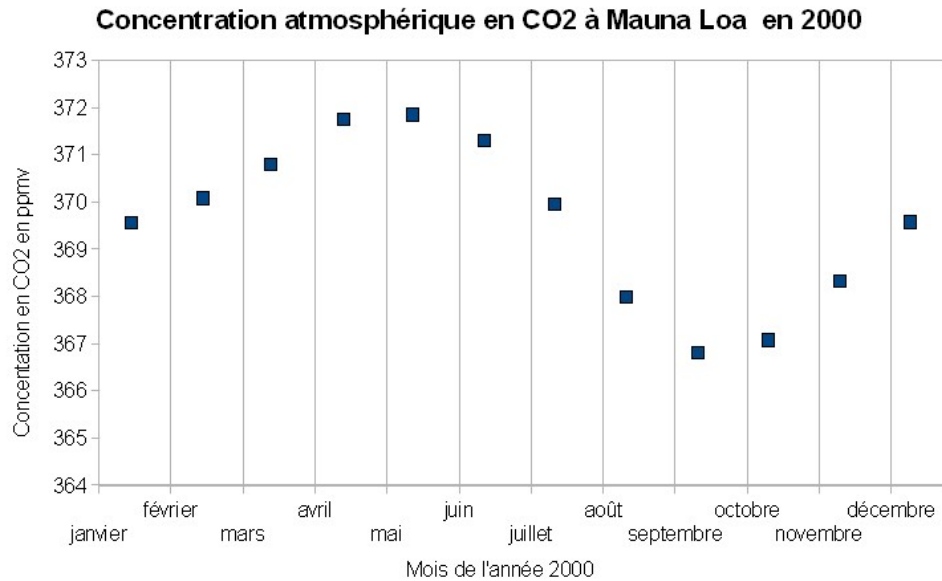
Les variations annuelles de concentration atmosphérique en CO₂

L'interrogation des banques de données internationales permet d'obtenir les fichiers des concentrations atmosphériques en CO₂ mesurées à Mauna Loa au milieu de l'océan Pacifique. Ces fichiers servent de référence à la communauté scientifique.

- Lien vers la banque de données [http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/#mlo_data].
- Lien vers le fichier ods [<http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/ThierryLhuillier/ModelisationEffetAnthropique/fichiers/CO2Monthly.ods>] des moyennes mensuelles des concentrations atmosphériques en CO₂ de 1958 à 2015.

A partir de ce dernier fichier, nous pouvons étudier les variations de la concentration en CO₂ sur l'année 2000. (éventuellement faire construire le graphe par le tableur).

Figure 2. Variations de la concentration atmosphérique en CO₂ mesurées à Mauna Loa



La concentration atmosphérique en CO₂ varie de 5 ppmv entre le maximum en mai et le minimum en septembre.

Comprendre le modèle numérique

Il faut maintenant chiffrer le modèle.

Le logiciel Vensim PLE 5.11A est gratuit et téléchargeable à l'adresse suivante [<http://vensim.com/free-download/>].

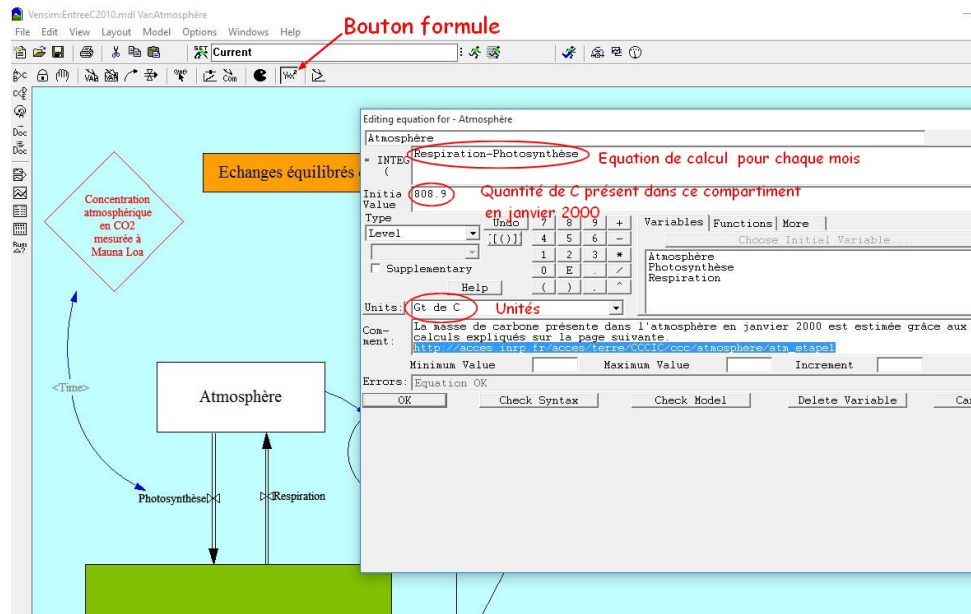
Le modèle sur lequel nous allons travailler a été construit sur la période 2000 à 2010 en prenant comme hypothèse une situation d'équilibre sur la période..

L'unité utilisée par les scientifiques est la Gigatonne de Carbone (Gt de C).

Télécharger le modèle :EntreeC2010.mdl [<http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/ThierryLhuillier/ModelisationEffetAnthropique/fichiers/EntreeC2010.mdl>] (Enregistrer la page sous)

Une fois le modèle ouvert avec Vensim PLE, un clic sur le bouton "formule" puis sur le compartiment atmosphère dans l'exemple ci-dessous permet de comprendre le principe du chiffrage et des calculs.

Figure 3. Fenêtre de formule pour le compartiment atmosphère.



Le clic sur le compartiment atmosphère montre que en janvier 2000, la quantité de carbone présent dans l'atmosphère était de 808.9 Gt de C. La formule de calcul des quantités de Carbone présent tous les mois est sous la forme: Quantité initiale+Respiration-Photosynthèse.

Pour lancer la simulation, appuyer sur le bouton Simulation

Figure 4. Bouton de lancement de la simulation.

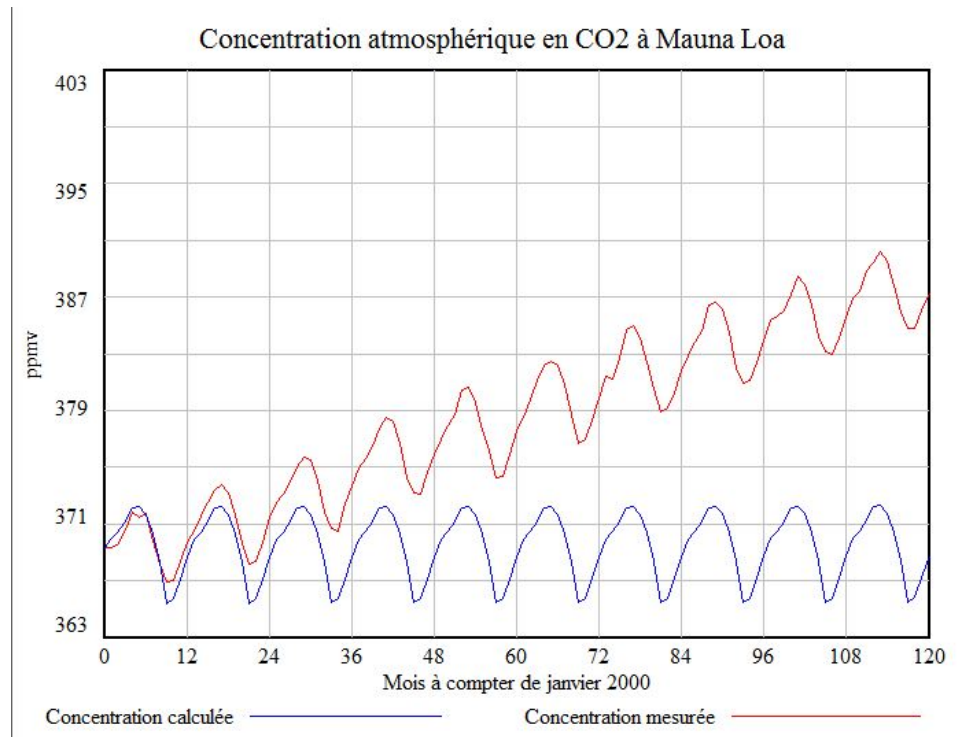


La simulation calcule les quantités de carbone présent dans les compartiments avec un pas de un mois soit 120 calculs sur la période de 10 ans.

Valider le modèle :

De manière à gagner du temps, le graphe affichant les variations des quantités de carbone présent dans l'atmosphère s'affiche automatiquement.

Figure 5. Première simulation sur 10 ans.



L'affichage du temps s'effectue en nombre de mois depuis janvier 2000.

L'axe des abscisses est divisé en années. L'unité de concentration est le ppmv (partie par million en volume soit 0.037% pour 370 ppmv).

La comparaison des valeurs calculées par notre modèle et des valeurs réelles mesurées à Mauna Loa montre que le modèle, bien qu'il tienne compte des variations mensuelles, n'est pas satisfaisant. Il faut donc l'améliorer.

Améliorer le modèle :

Une discussion peut s'instaurer avec les élèves pour proposer des hypothèses explicatives. Cet extrait du rapport à l'usage des décideurs du GIEC [<http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/ThierryLhuillier/ModelisationEffetAnthropique/fichiers/RapportGiec2007.pdf>] publié en 2007 peut orienter les échanges.

On propose alors aux élèves de modifier le modèle pour faire intervenir les apports de carbone liés à la combustion des carburants fossiles.

Un menu déroulant présent dans la partie gauche tout en bas de la fenêtre Vensim permet de passer sur la page 2 qui présente à ce stade une copie du premier modèle

Améliorer le modèle va consister dans un premier temps à créer le compartiment Pétrole, gaz et charbon puis à créer un flux du compartiment "Pétrole, gaz et charbon" vers le compartiment "Atmosphère" qui représente les apports de CO₂ lié à la combustion des carburants fossiles. Dans un second temps, il reste à modifier les formules.

Création du compartiment "Pétrole,gaz et charbon"

Cliquer sur le bouton "Box Variable"

Figure 6. Bouton de création d'un compartiment.



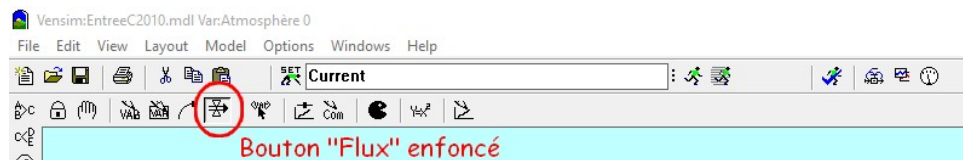
Enfoncer le bouton "Box Variable" puis un clic sur l'écran fait apparaître le compartiment à nommer.

Nommer le compartiment une fois créé.

Créer le flux "Apports de C par combustion"

Cliquer sur le bouton "Rate".

Figure 7. Bouton de création d'un flux.



La procédure pour créer un flux est délicate et les erreurs fréquentes. Le bouton noir "delete" permet d'effacer.

La procédure pour créer la flèche de flux ne correspond pas aux standards de création d'une flèche. Il ne faut pas tirer la flèche mais cliquer une fois à l'intérieur du compartiment "Pétrole, gaz et charbon", puis une autre fois à l'intérieur du compartiment "Atmosphère".

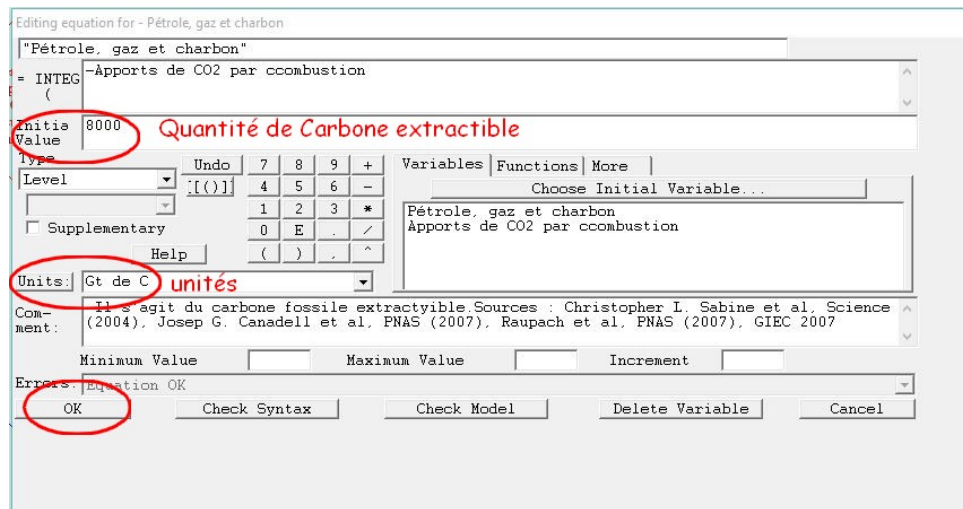
Le flux se crée avec un cadre pour l'intitulé. Noter par exemple "Apports de C par combustion"

Modifier les formules

Modifier les formules est simple à réaliser. Enfoncer le bouton formule.

Les éléments dont il faut modifier la formule apparaissent en surbrillance. Pour les compartiments "Atmosphère" et "Pétrole, gaz et charbon", cliquer sur le compartiment pour faire apparaître la fenêtre de formule. Pour le compartiment atmosphère, la formule a été automatiquement modifiée. Il suffit donc de valider.

Figure 8. Fenêtre de formule du compartiment "Pétrole, gaz et charbon"

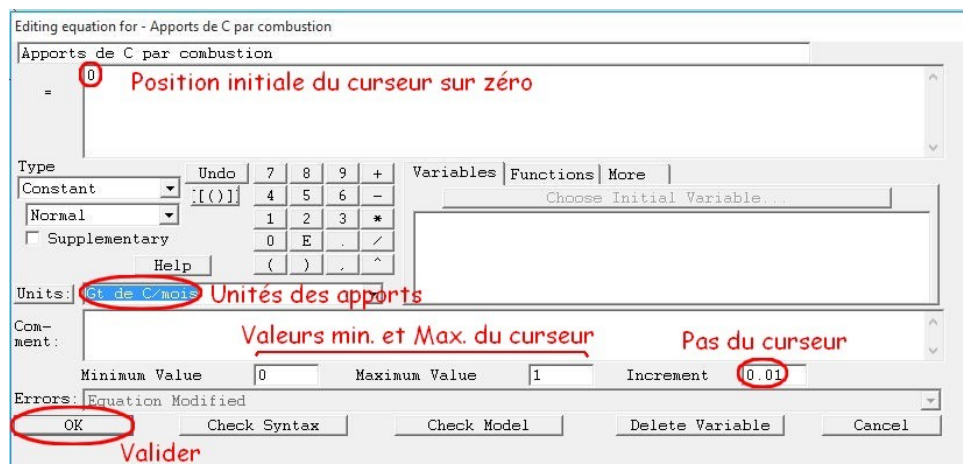


Cette fenêtre permet de noter les quantités de carbone extractible estimées par les spécialistes.

Pour la fenêtre "Pétrole,gaz ert charbon", noter la quantité initiale de carbone. Elle est estimée à 8000 Gt de C extractible. Noter les unités. Le Flux de sortie est automatiquement pris en compte. Valider.

Pour le flux "Apport de Carbone par combustion", La formule est par défaut configurée avec un curseur. Il suffit donc d'indiquer dans la fenêtre, les limites du curseur et de valider.

Figure 9. Fenêtre de formule du flux "Apports de C par combustion"

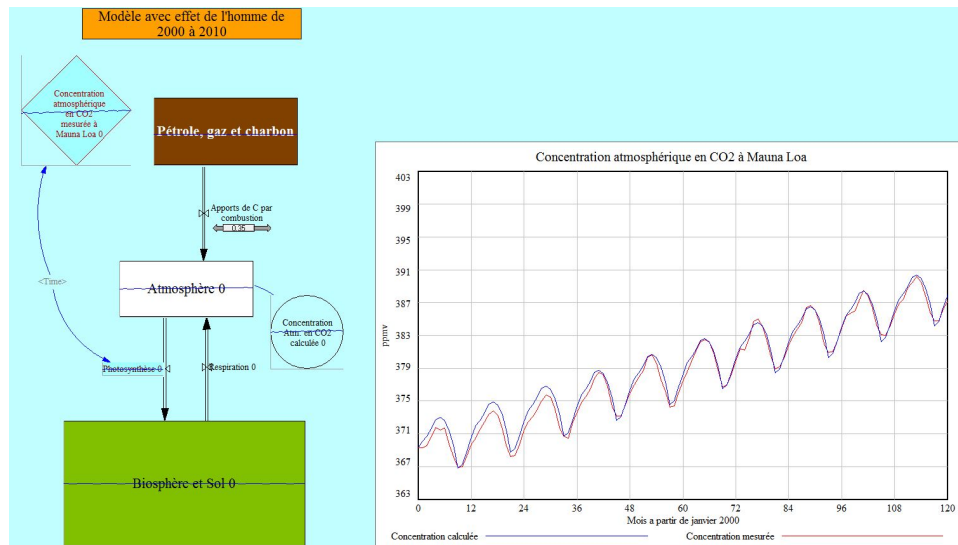


Cette fenêtre règle le curseur de flux qui sera utilisé lors de la simulation. Le curseur en position zéro variera de la position 0 à 1 au maximum avec un pas de 0.01 (en Gt de C/mois)

Interprétation de la simulation.

Lors de la simulation, on peut alors modifier l'intensité des apports de carbone à l'aide du curseur de manière à faire coïncider les variations calculées avec les variations mesurées à Mauna Loa.

Figure 10. Résultat de la simulation"



Déplacer le curseur permet de faire coïncider les deux courbes avec un apports de 0.35 Gt de C/mois.

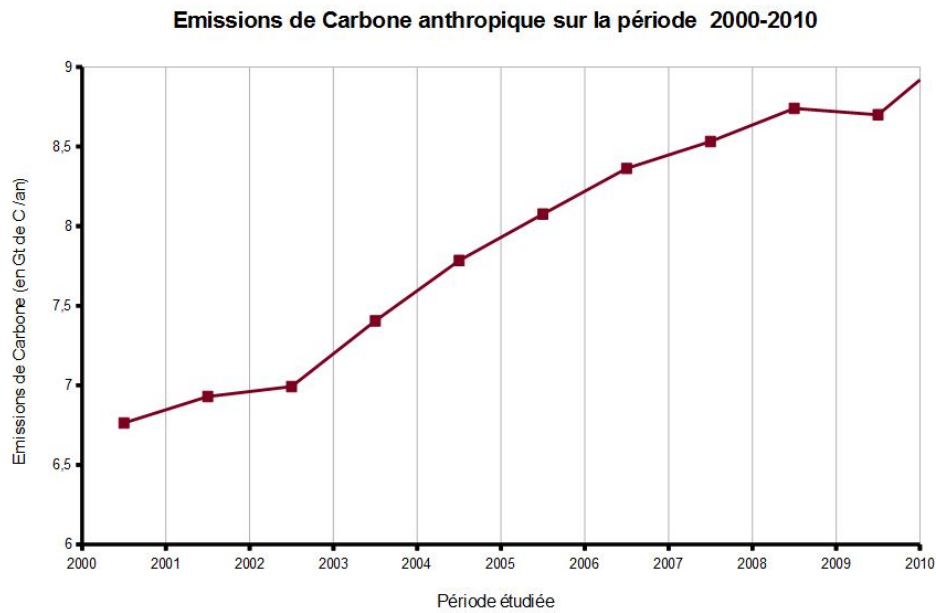
Un apport anthropique de 0.35 Gt de Carbone par mois sur la période 2000-2010 permet d'expliquer les variations de la concentration atmosphérique en CO₂. Le modèle recrée bien les variations observées. Cela ne signifie pas que le modèle représente la réalité. Il sert simplement de piste de réflexion pour approfondir ce phénomène.

Il est possible de s'arrêter à ce stade du raisonnement lors qu'une séance de Travaux Pratiques en Seconde. Néanmoins, l'élève attentif remarquera que la courbe calculée ne suit pas parfaitement la courbe des concentrations mesurées. Si l'on désire effectuer une superposition pour les années 2000 à 2003, il faut des apports de 0.25 Gt de Carbone par mois. On peut alors supposer que la consommation de carburants fossiles a augmenté sur la période 2000-2010.

Le CDIAC (Carbone Dioxyde Information Analysis Center) fournit les données des émissions anthropiques de carbone. (Télécharger le fichier [<http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/ThierryLhuillier/ModelisationEffetAnthropique/fichiers/GlobalEmissions.ods>])

A partir de ce fichier, nous pouvons obtenir les valeurs des émissions anthropiques de Carbone sur la période qui nous intéresse.

Figure 11. Total des émissions de Carbone sur la période 2000-2010



On observe sur les trois premières années des émissions qui augmentent peu puis qui augmentent régulièrement sur la période suivante.

Ces variations corroborent les sorties de notre modèle avec une augmentation des apports à partir de 2003. Si l'on divise par 12 les moyennes annuelles pour obtenir des moyennes mensuelles, on observe que les émissions anthropiques totales de Carbone sont beaucoup plus élevées que ce que nous propose le modèle.

Ainsi, en 2000, les émissions ramenées au mois sont de 0.56 Gt de Carbone alors que notre simulation a montré un apport à l'atmosphère de 0.25 Gt de C . En 2008, Le fichier donne des émissions à 0.73 Gt de Carbone par mois alors que nous estimions les apports dans l'atmosphère à 0.35 Gt de Carbone.

Conclusion

Cette proposition d'activité avait pour objectif de montrer que la compréhension des phénomènes complexes que nous traitons dans notre matière nécessite le passage par la modélisation. Ce modèle très simple permet aux élèves de comprendre qu'un modèle part d'hypothèses au départ simples. La deuxième étape consiste à valider le modèle par des mesures de terrain de manière à ce que le modèle reproduise les variations observées. Une fois, à ce stade, viennent les questions qui montrent que la construction du modèle n'avait pas pour objectif de reproduire la réalité mais de tester des hypothèses, d'envisager d'autres pistes de recherche qu'il n'aurait pas été possible d'envisager avant ces simulations.

Le travail ainsi débuté, peut se prolonger en faisant intervenir le compartiment Océan qui a atténué fortement les variations de la concentration atmosphérique en CO₂ que nous aurions dû observer.

Pour aller plus loin

- Modèle corrigé [<http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/ThierryLhuillier/ModelisationEffetAnthropique/fichiers/EntreeC2010Corrige.mdl>]
- Dossier ACCES sur le cycle du Carbone [<http://acces.ens-lyon.fr/acces/terre/CCCIC>]
- Fichier des anomalies de température globale de 1880 à 2015. [<http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/ThierryLhuillier/ModelisationEffetAnthropique/fichiers/GlobalTemperatureAnomalies.ods>]

La même activité , en plus long

Pour les élèves plus performants, il est possible de proposer un modèle moins construit pour qu'ils le réalisent eux-même. Il faut pour cela, leur fournir un modèle dont le professeur a effacé tout le contenu de la page 2 (graphe compris).

La première étape consiste alors à sélectionner et copier la page 1 (sans le graphe) et la coller sur la page 2. Les élèves créent le compartiment Pétrole, gaz et charbon, le flux des apports de CO₂ par combustion et modifient les formules comme expliqué précédemment. Il faut ensuite créer le graphe et l'afficher.

- Fiche technique pour modifier un modèle. [<http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/ThierryLhuillier/ModelisationEffetAnthropique/fichiers/ModifierModele.pdf>]
- Fiche technique pour créer et afficher un graphe. [<http://mediaserv.climatetmeteo.fr/users/ThierryLhuillier/ModelisationEffetAnthropique/fichiers/ModifierGraphe.pdf>]