

Exemples d'utilisation du logiciel pédagogique de simulation du climat en Lycée

4 juin 2007

Des essais d'utilisation du logiciel pédagogique de simulation du climat en Lycée ont été réalisés en collaboration avec des enseignants du secondaire.

Pour chaque essai présenté ici, un membre de l'équipe de développement du logiciel a été présent sur place à la séance de TP ainsi qu'au cours s'y rapportant, et à participé activement à l'encadrement du TP.

Contents

1 Exemples d'utilisation en Seconde	1
1.1 Mise en évidence de l'importance de la composition de l'atmosphère pour déterminer la température de surface des planètes	1
1.1.1 Intégration du logiciel dans le cours	1
1.1.2 Travail sur le logiciel	2
1.1.3 Réaction de élèves face à ce travail	2
1.2 Mise en évidence de certains flux de carbone	2
1.2.1 Intégration du logiciel dans le cours	3
1.2.2 Travail sur le logiciel	3
1.2.3 Réaction de élèves face à ce travail	4
2 Exemples d'utilisation en Terminale S spécialité SVT	4
2.1 Séance de révision en fin d'année	4
2.1.1 Contexte et but du TP	4
2.1.2 Les points du programmes révisés lors de cette séance	4
2.1.3 Bilan pour les élèves	5
2.2 Mise en évidence de la rétroaction de l'albédo et de son impact sur le climat	5
2.2.1 Intégration du TP dans le cours	5
2.2.2 Travail sur le logiciel	5
2.2.3 Réaction des élèves	6
2.3 prévoir les climats du futur	7

1 Exemples d'utilisation en Seconde

1.1 Mise en évidence de l'importance de la composition de l'atmosphère pour déterminer la température de surface des planètes

Cette application a été réalisée pour 4 demi-groupes (2 classes) au Lycée Newton-Enrea à Clichy-la-Garenne en collaboration avec M. Jentzer.

1.1.1 Intégration du logiciel dans le cours

Le logiciel a été utilisé dans un chapitre intitulé "Répartition de l'énergie solaire dans le système solaire et ses conséquences".

L'énergie solaire reçue par les planètes par unité de surface diminue avec la distance au soleil. On s'attend alors à ce que la température de surface des planètes diminue avec la distance au soleil. Or ce n'est pas le cas: Mercure est plus froide que Vénus, la Lune est plus froide que la Terre. Comment expliquer cela? L'hypothèse du rôle de l'atmosphère est citée. Pour vérifier cette hypothèse, une possibilité est d'enlever les gaz atmosphériques de ces planètes... virtuellement par le logiciel.

Les élèves travaillent alors pendant 20 minutes en autonomie sur le logiciel en répondant à un questionnaire. A partir de simulations dans lesquelles on enlève le CO_2 ou la vapeur d'eau atmosphérique, on déduit que ces gaz atmosphériques ont un effet réchauffant. Le rôle de l'atmosphère pour déterminer les températures de surface est ainsi mis en évidence.

Le cours se poursuit alors par un bilan radiatif global et qualitatif, qui permet d'expliquer le processus d'effet de serre.

1.1.2 Travail sur le logiciel

Les élèves travaillent en autonomie sur les ordinateurs pendant 20 minutes et répondent à un questionnaire sur feuille. La marche à suivre pour réaliser les 3 simulations suivantes (figure 1) y est expliquée. Pour chaque simulation, il fallait **décrire les évolutions de température** et de **conclure sur le rôle des gaz atmosphériques** :

1. Simulation **“témoin”** (courbe rouge sur la figure 1): le monde en 1750, sans rien modifier (*nouvelle simulation > monde en 1750 -> valider -> nommer la simulation -> valider*). On part de 1750 car l'atmosphère n'était pas encore perturbée par les émissions anthropiques. On observe que la concentration en CO_2 reste constante à 280ppm et la température reste constante à 14.2°C. Le climat est donc à l'équilibre.
2. Simulation **“sans CO_2 atmosphérique”** (courbe verte sur la figure 1): on superpose à la simulation témoin une simulation avec CO_2 fixé à 0ppm (*superposer -> concentration ou émission > fixer la concentration > autre -> mettre valeur à 0 -> nommer la simulation -> valider*). On observe que lorsque l'on enlève le CO_2 de l'atmosphère, la température diminue de 20°C environ. Le CO_2 a donc un effet réchauffant.
3. Simulation **“sans vapeur d'eau atmosphérique”** (courbe bleue sur la figure 1) (*superposer -> rétroactions climatiques > vapeur d'eau > débrancher la rétroaction -> mettre valeur à 0 -> nommer la simulation -> valider*). On observe que lorsque l'on enlève la vapeur d'eau de l'atmosphère, la température diminue de 30°C environ. La vapeur d'eau a donc aussi un effet réchauffant, et cet effet est plus efficace que celui du CO_2 .

1.1.3 Réaction de élèves face à ce travail

- La grande majorité des élèves n'a aucun problème pratique avec le logiciel. Sur les 4 demi-groupes (environ 60 élèves), seules 2 élèves ne savaient réaliser aucune simulation toutes seules. Toutefois, la marche à suivre pour enlever le CO_2 et l'eau doivent être décrites dans l'énoncé.
- Une certaine partie des élèves (environ 1/4 ou 1/3) a des problèmes pour déduire l'effet de quelque chose que l'on enlève. Ces élèves répondent typiquement que si on enlève le CO_2 et que la température diminue, c'est que le CO_2 a pour effet de diminuer la température.
- Certains élèves peu motivés font les simulations mécaniquement sans se poser la question de ce qu'elles représentent physiquement. Ces élèves, par exemple, ne se rendent pas compte que dans la question 2, on enlève le CO_2 de l'atmosphère. Ce que les simulations représentent doit donc être explicité dans les questions.

1.2 Mise en évidence de certains flux de carbone

Cette application a été réalisée pour 2 demi-groupes (1 classe) au Lycée Newton-Enrea à Clichy-la-Garenne en collaboration avec M. Jentzer.

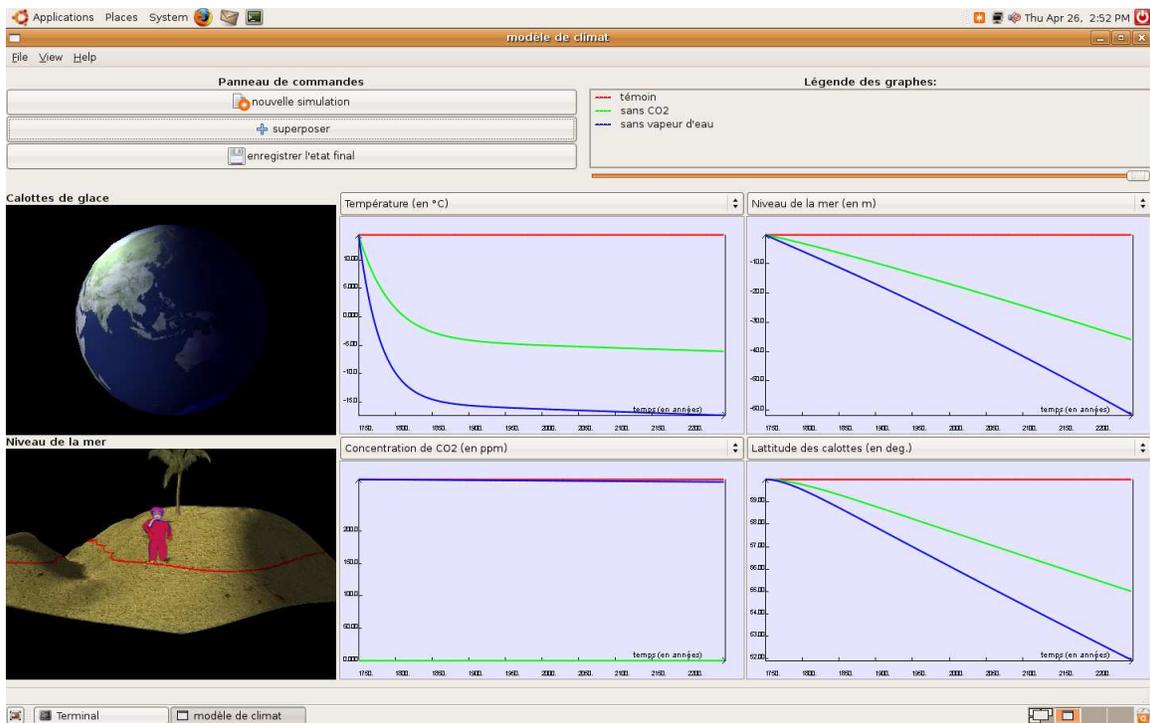


Figure 1: Copie d'écran lors du travail sur le logiciel pour mettre en évidence le rôle des gaz atmosphériques sur la température de surface.

1.2.1 Intégration du logiciel dans le cours

Le logiciel a été utilisé dans un chapitre intitulé “**Cycle du Carbone et de l'Oxygène**”.

Au cours précédent, les élèves avaient vu les principaux réservoirs de carbone, que le professeur écrit au tableau sous forme de boîtes: atmosphère, océan, biosphère et roches. **Quels sont les flux entre ces réservoirs?**

Les élèves sont alors mis en autonomie pour répondre à des questions posées, dans le but de mettre en évidence certains flux entre les 4 réservoirs vus précédemment: volcanisme, altération, photosynthèse.

Les flèches correspondantes aux flux mis en évidence par le logiciel sont ajoutées au tableau. Puis le reste du cycle du carbone est complété.

1.2.2 Travail sur le logiciel

Les élèves travaillent en autonomie sur les ordinateurs pendant **45 minutes** et répondent à un questionnaire sur feuille. Les questions expliquent comment réaliser les 5 simulations suivantes. Il fallait pour chaque simulation **décrire ce que l'on observe** concernant le CO_2 et **conclure sur les flux entre les différents réservoirs de carbone**.

1. Simulation “**monde en 1750**” (*nouvelle simulation > monde en 1750 -> valider -> nommer la simulation -> valider*). On observe que la concentration en CO_2 reste constante. On conclut qu'il y a autant de sources que de puits pour le CO_2 atmosphérique.
2. Simulation “**volcanisme augmenté**”: on superpose à la simulation témoin une simulation où l'on augmente le volcanisme (*superposer -> augmenter la valeur du volcanisme -> nommer la simulation -> valider*). On observe que lorsque le volcanisme est plus intense, la concentration en CO_2 augmente. On conclut que le volcanisme est une source de CO_2 atmosphérique. C'est en fait un flux des roches vers l'atmosphère.
3. Simulation “**sans volcanisme**” (*nouvelle simulation -> mettre la valeur du volcanisme à 0 -> nommer la simulation -> valider*). On observe que lorsque l'on enlève le volcanisme, la

concentration en CO_2 diminue. On conclut qu'il existe des puits de CO_2 atmosphérique, qui sont habituellement compensés par le volcanisme. Quel est donc ce puit?

4. Simulation “**sans volcanisme ni altération continentale**” (*superposer -> mettre la valeur du volcanisme à 0 -ainsi que celle de l'altération -> nommer la simulation -> valider*). On observe que sans volcanisme ni altération continentale, le CO_2 reste constant. On conclut que l'altération continentale est le puit de CO_2 atmosphérique mis en évidence à la question précédente.
5. Simulation “**avec stockage biologique**” (*nouvelle simulation-> mettre une valeur strictement positive au stockage biologique -> nommer la simulation -> valider*). On observe que quand il y a du stockage biologique, le CO_2 augmente. On conclut que le stockage biologique est un puit de CO_2 atmosphérique. C'est en fait un flux de carbone de l'atmosphère vers la biosphère puis les roches carbonées.

1.2.3 Réaction de élèves face à ce travail

- Les élèves ont très bien réagi. Certains se prenaient même bien au jeu de la démarche scientifique suggérée par les questions.
- C'était le deuxième TP sur ce logiciel avec cette classe. Ils étaient tous très à l'aise avec le logiciel et devinaient bien la marche à suivre pour lancer les simulations, même si elle n'était pas explicitée dans les questions.
- Le bilan sources - puits et le lien avec les variations de CO_2 atmosphérique ne sont pas évidents pour tous les élèves. L'analogie avec le bilan gain - dépenses de l'argent de poche s'est révélée utile.

2 Exemples d'utilisation en Terminale S spécialité SVT

2.1 Séance de révision en fin d'année

Ce test a été réalisé au Lycée Gabriel Fauré (Paris 13e) en collaboration avec Mme Frère.

2.1.1 Contexte et but du TP

Il s'agissait d'utiliser le logiciel comme **séance de révision en fin d'année**, pour revoir la partie Climatologie. Pour chaque point du programme, le questionnaire de TP posait d'abord quelques **questions du cours**, puis demandait de réaliser des simulations. L'élève devait ensuite vérifier si le résultat obtenu était cohérent avec ce qu'il attendait, ce qui lui permettait de **s'assurer de la compréhension des différents processus climatiques vus aux programme**.

Ce TP représentait les dernières séances de l'année. Ce TP a été étalé sur 2 jours, avec 1h par jour, pour des raisons pratiques.

2.1.2 Les points du programmes révisés lors de cette séance

Le questionnaire comportait la révision des points suivants:

- mécanismes des variations climatiques à courte échelle de temps: effet de l'albédo, de la concentration en CO_2 , des paramètres orbitaux,
- mécanismes des variations climatiques à grande échelle de temps: contrôle de la concentration en CO_2 par le volcanisme, l'altération continentale, le stockage biologique,
- les variations du niveau de la mer
- l'évolution future du climat

Le contenu intégral du questionnaire est donné en annexe 1.

2.1.3 Bilan pour les élèves

- Cette séance a probablement été profitable pour les élèves qui ont joué le jeu: elle était l'occasion d'un grand "**brain storming**" sur toute cette partie du programme.
- Elle permettait aussi aux élèves de **réfléchir sur les processus de variations du climat** en terme "tel cause entraîne telle conséquence". En effet, de manière surprenante, de nombreux élèves ont montré des problèmes de lien logique cause/conséquence: ils avaient appris l'existence de liens entre différents phénomènes, mais n'avaient pas compris quel phénomène était la cause et lequel était la conséquence. Par exemple, à la question "pourquoi le CO_2 atmosphérique augmente?", des élèves répondaient "parce que l'effet de serre augmente"; ou alors, à la question "pourquoi la température augmente?", certains répondaient "parce que le niveau de la mer augmente". Pour ces élèves, cette séance sur logiciel a été l'occasion d'une mise au point.
- Certains élèves étaient très stressés par le bac qui approchait, et ont préféré discuter des épreuves du bac plutôt que de réfléchir sur les simulations.
- De manière surprenante, deux élèves très peu attentifs en cours, et ne sachant pas une ligne de leur cours, se sont montrés particulièrement intéressés par le logiciel. Une fois quelques bases du cours rappelées, ils comprenaient très vite les résultats des simulations, et posaient des questions particulièrement intéressantes.

2.2 Mise en évidence de la rétroaction de l'albédo et de son impact sur le climat

Ce test a été réalisé au Lycée Guillaume Apollinaire à Thiais avec Melle Darmon.

2.2.1 Intégration du TP dans le cours

Au cours précédent, les paramètres orbitaux avaient été identifiés comme **paramètres déclencheurs** des variations de températures dans les 400000 dernières années. Mais si les variations d'insolation aux hautes latitudes en été dues aux paramètres orbitaux expliquent grossièrement les variations de températures observées, de nombreuses variations de températures restent inexpliquées. Il y a donc d'autres processus qui jouent, en particulier, des **mécanismes amplificateurs**.

Le but du TP est de mettre en évidence l'un de ces mécanismes amplificateurs au programme: la **rétroaction de l'albédo de la glace**.

2.2.2 Travail sur le logiciel

Impact réel des changements de paramètres orbitaux (10-15 minutes) Dans une simulation sur 40000 ans partant de 1750, l'obliquité est réduite au minimum et la rétroaction de l'albédo est désactivée (courbe rouge sur la figure 2). Les élèves doivent:

- **réfléchir sur l'intérêt de commencer la simulation en 1750**: parce que cette date se situe avant la révolution industrielle, donc représente des conditions naturelles non perturbées par des émissions anthropiques.
- **observer les conséquences de la variation d'obliquité**: l'extension des calottes polaires augmente, mais la température globale ne varie pas, en accord avec le fait qu'un changement d'obliquité ne modifie pas l'insolation globale. On note aussi une variation du niveau des mers en lien avec la variation du volume des calottes.

Le fait que le changement d'obliquité ne modifie pas la température globale est en contradiction apparente avec le rôle de processus déclencheur mis en évidence au cours précédent. C'est en fait parce qu'on a débranché la rétroaction de l'albédo.

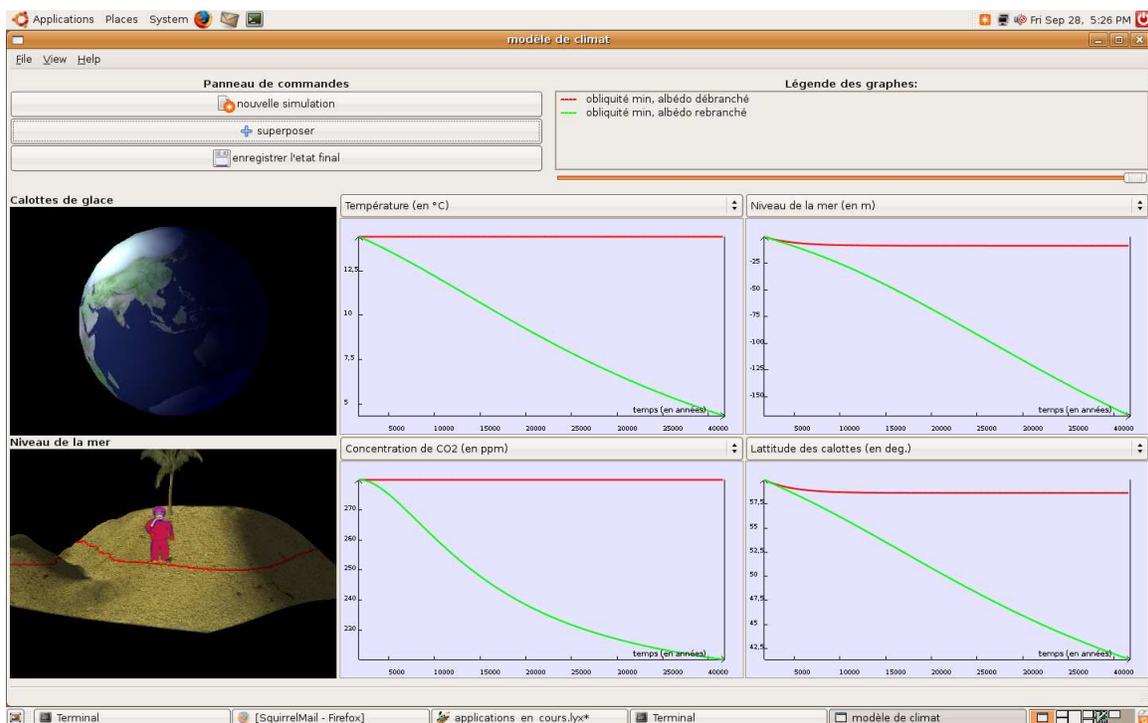


Figure 2: Copie d'écran à la fin de la séance de TP sur la rétroaction de l'albédo.

L'effet de l'albédo (10-15 minutes) On superpose une simulation avec l'obliquité toujours au minimum mais la rétroaction de l'albédo rebranchée (courbe verte sur la figure 2).

Lorsque la rétroaction de l'albédo est rebranchée, on observe une diminution significative de la température et une augmentation de l'extension des calottes bien plus importante.

L'albédo explique donc le lien entre les paramètres orbitaux et la température et est impliqué dans une **rétroaction positive**. Les élèves devaient réfléchir à un **schéma bilan**, du type de celui en figure 3, qui conclue la partie sur la rétroaction de l'albédo.

Enfin, certains élèves se questionnent sur la diminution du CO₂ provoquée par la diminution de la température: cela permet d'introduire l'autre mécanisme amplificateur au programme: la rétroaction liée à la solubilité du CO₂ atmosphérique dans l'océan.

2.2.3 Réaction des élèves

Les élèves n'ont eu aucun problème technique ou informatique.

Trois élèves (sur le groupe de 16) n'ont eu aucune difficulté à faire le TP. Ils ont tout de suite compris l'objectif du TP et les conclusions qu'il fallait en tirer dans le cadre de la progression du cours. Les autres élèves ont été plus lent, mais parmi les élèves intéressés et attentifs, peu ont éprouvé de réelles difficultés.

Quelques difficultés rencontrées:

- Certains ont eu du mal à comprendre le principe des simulations: on simule un climat hypothétique dans le futur en partant d'une date arbitraire, ici 1750. Le logiciel ne simule pas le véritable climat passé ni futur.
- Certains ont aussi du mal à comparer les ordres de grandeurs: par exemple, un élève a dit qu'entre 1750 et 2007, l'obliquité avait varié, alors que 250 ans est très petit devant la période de variation de l'obliquité qui est 40000 ans. De même, la révolution industrielle n'est pas toujours bien située.
- La définition de la latitude a posé des problèmes à une personne, qui ne comprenait donc pas le lien entre la latitude des calottes et l'extension des calottes.

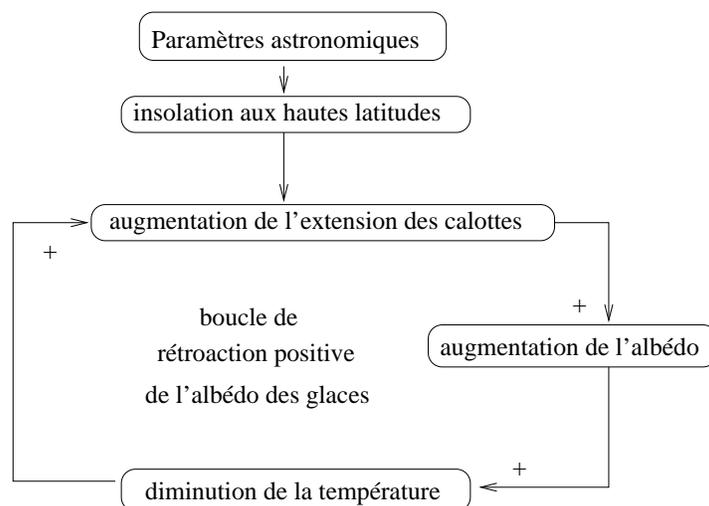


Figure 3: Exemple de schéma bilan pour conclure la séance de TP sur la rétroaction de l'albédo.

2.3 prévoir les climats du futur

Ce test a été réalisé au Lycée Guillaume Apollinaire à Thiais avec Melle Darmon.

Intégration dans le programme Ce TP s'intègre dans le cadre du bilan sur les changements climatiques, dans lequel il s'agit d'envisager les climats futurs.

Principe du TP A l'aide du logiciel, les élèves devaient présenter les paramètres qui influencent le climat à l'échelle humaine et à l'échelle des temps géologiques. Les élèves étaient très libres pour l'utilisation du logiciel.

Réaction des élèves Les élèves ont bien joué le jeu (il a fallu quand même leur rappeler qu'il y a besoin d'un témoin, ici "le monde en 2007"), ils ont touché à pas mal de paramètres (volcanisme, émissions anthropiques, etc. il a fallu, là encore, leur rappeler qu'il ne faut modifier qu'un seul paramètre pour en voir les conséquences) donc ils ont pris beaucoup d'initiatives et beaucoup étaient curieux.

Annexe 1: Contenu du questionnaire donné lors de la séance de révision en Terminale S

1. Quels sont les mécanismes faisant varier le climat?

2. Variations à courtes échelles de temps

2.1 Albédo

2.1.1. Qu'est-ce que l'albédo? Quel est son rôle?

2.1.2. Faire varier l'albédo avec le logiciel:

- réaliser une expérience témoin en 1750 pendant 2000 ans (*nouvelle simulation, 2000ans, valider, nom de la simulation, valider*)
- superposer une simulation où l'albédo serait celui d'une Terre complètement englacée (*rétroactions climatiques >albédo > débrancher la rétraction >albédo de la glace*)
- superposer une simulation où l'albédo serait celui de la terre.

2.1.3. Conclure sur le rôle de l'albédo

2.2 Concentration en CO₂

2.2.1. Quel est le rôle du CO₂ dans l'atmosphère? Réaliser un schéma du mécanisme de l'effet de serre.

2.2.2. Faire varier la concentration en CO₂ avec le logiciel

- réaliser une expérience témoin en 1750 pendant 2000 ans
- augmenter la concentration à la concentration actuelle. (*concentration ou émissions de CO₂ > fixer les concentrations*)

2.2.3. Conclure sur le rôle du CO₂

2.3. Les paramètres orbitaux

2.3.1. Quels sont les différents paramètres orbitaux? Les définir. Indiquer leurs effets sur le climat.

2.3.2. Tester l'effet de l'excentricité

- réaliser une expérience témoin en 1750 pendant 10.000 ans
- augmenter l'excentricité à sa valeur maximale (*paramètres astronomiques > excentricité*)
- interpréter le résultat en température, sachant qu'actuellement, la Terre est la plus loin du soleil pendant l'été de l'hémisphère Nord.

2.3.3. Tester l'effet de l'obliquité

- augmenter l'obliquité à sa valeur maximale
- interpréter le résultat en température

2.3.4. Tester l'effet de la précession

- mettre la précession à +90 degrés: cela signifie que la Terre est la plus proche du soleil lors de l'été de l'hémisphère Nord.
- interpréter le résultat en température

2.3.5. Conclure sur l'importance relative de ces différents paramètres orbitaux

3. Variations de composition de CO₂ aux grandes échelles de temps

3.1. Quels sont les différents réservoirs de CO₂? Quels sont les mécanismes qui font varier le CO₂ à grande échelle de temps?

3.2. Altération continentale

3.2.1. Quel est le rôle de l'altération continentale?

3.2.2. Avec le logiciel, faire varier l'altération continentale

- réaliser une expérience témoin du monde en 1750 sur 50.000ans
- Doubler l'altération continentale (*concentration ou émissions de CO₂ > fixer les émissions*)

Observer les résultats en CO₂, en température et en latitude des calottes.

3.3. Volcanisme

3.3.1. Quel est le rôle du volcanisme?

3.3.2. Avec le logiciel, faire varier le volcanisme

- Doubler le volcanisme

Observer les résultats en CO₂, en température et en latitude des calottes.

3.4. Stockage biologique

3.4.1. Qu'est-ce que le stockage biologique? Quel est son rôle?

3.4.2. Avec le logiciel, faire varier le stockage biologique

- Mettre un stockage biologique comme au Carbonifère

Observer les résultats en CO₂, en température et en latitude des calottes.

4. Variations du niveau de la mer

4.1. Observer sur les expériences précédentes les variations du niveau de la mer. Comment évolue le niveau de la mer?

4.2. Proposer des hypothèses sur l'origine des variations du niveau de la mer.

5. Evolutions futures du climat

5.1. Réaliser une simulation du monde en 2007 pendant 500 ans.

(nouvelle simulation, monde en 2007, 500 ans, valider)

5.2. Commenter les évolutions de concentrations en CO₂, de température et de niveau de la mer.