

L'effet de serre

Un projet pédagogique et écocivique pour les élèves.....

Introduction

Ce document est une version abrégée d'un document destinée aux élèves de primaire. Il présente quelques idées d'expériences concernant l'effet de serre, qui peuvent être utilisées par des élèves de terminal ou de cycle supérieur pour des exposés ou des TIPE

Notions scientifiques : Qu'est ce que l'effet de serre ?

Notre œil est sensible à seulement trois couleurs et leurs combinaisons. En fait, il existe une infinité d'autres couleurs auxquelles notre œil n'est pas sensible (exemple: rayons X, ultraviolet, infrarouge, ondes radio... voir figure 1 ci-dessous).

Tout corps émet un rayonnement — une lumière — dont l'intensité, mais aussi la couleur, dépend de la température. Les corps les plus chauds émettent en UV/Visible. Les corps "froids" tels que la Terre, en infrarouge.

Ainsi, la Terre reçoit de l'énergie du soleil sous forme de rayonnement essentiellement visible, en absorbe une partie et évacue le reste de cette énergie vers l'espace sous forme de rayonnement infrarouge.

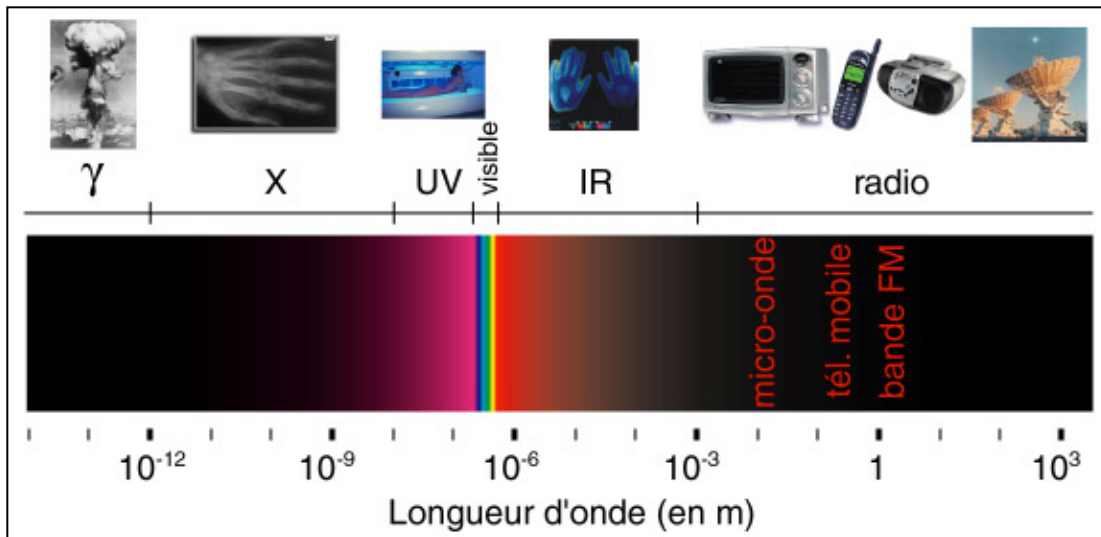


Figure 1 : Les différents rayonnements

rayonnements du spectre lumineux.

Le soleil chauffe la terre, mais très peu l'atmosphère. Celle-ci est chauffée par le bas, au contact de la surface de la terre. L'air proche de la surface, celle où nous vivons, se refroidit par convection ou par rayonnement :

- La convection : l'air chaud est plus léger. Il monte dans l'atmosphère et est alors remplacé par de l'air plus froid.
- Le rayonnement : l'atmosphère émet un rayonnement infrarouge qui est évacué vers l'espace.

Il y a donc *a priori* deux mécanismes qui élèvent la température dans la couche atmosphérique au voisinage de la surface de la terre :

1) Un premier qui limite le brassage entre les couches froides (supérieures) de l'atmosphère et les couches plus chaudes.

2) Un second qui restreint la transmission du rayonnement infrarouge vers l'espace. Ce mécanisme nécessite une différence graduelle (ou gradient) de température entre le bas et le sommet de l'atmosphère, gradient qui existe bien sur Terre (il fait plus froid en altitude).

Les gaz dits à effet de serre sont transparents au rayonnement solaire, mais sont opaques au rayonnement émis par la Terre. Dans l'atmosphère, le gaz carbonique agit principalement selon le mécanisme numéro 2.

Une serre agit principalement selon le mécanisme numéro 1, en limitant le mélange entre l'air (chaud) intérieur et l'air (froid) extérieur. Par contre, dans une expérience de laboratoire (à plus petite échelle que l'atmosphère), il ne se forme que des différences de température minimales entre le sommet de la couche de gaz et sa base. Le mécanisme numéro 2 devient donc très inefficace et sera masqué par le mécanisme numéro 1. Le gaz carbonique reste plus lourd que l'air même lorsqu'il est chauffé. Dans nos expériences il reste donc piégé au fond de la bouteille et ne peut pas laisser sa place à de l'air froid.

Certains gaz dans l'atmosphère, appelés des gaz à effet de serre, agissent comme les murs en verre d'une serre. Ainsi, ces gaz permettent à la lumière du soleil de pénétrer dans l'atmosphère jusqu'à la surface de la Terre. Au contact de la lumière du soleil, la surface de la Terre se réchauffe et émet de la chaleur. Les gaz à effet de serre empêchent par la suite une partie de la chaleur émise de se dissiper. C'est pour cela qu'il fait plus chaud, à "l'intérieur" de l'atmosphère, qu'à l'extérieur...comme dans la serre !

En l'absence des gaz à effet de serre qui créent ce que l'on appelle l'effet de serre naturel, l'atmosphère et le climat sur la Terre seraient trop froids pour maintenir la vie.

Matériel

- 1 chronomètres (ou des montres)
- 2 thermomètres « à sonde » identiques ou 5 thermocouples (ou intérieur-extérieur) (1)
- 1 lampes de bureau, ampoule de type halogène (25 W ; 50W ou les deux) ;
- 2 fonds de bouteilles en plastique ;
- du papier cellophane, du carton, un couvercle métallique, du plastique « jardinier »(2)
- du terreau de repiquage ;
- 1 petit tuyau en plastique (ou 1 crayon Bic) ; un tuyau de caoutchouc ;
- un petit robinet du diamètre du tuyau en caoutchouc
- 1 petite bonbonne de dioxyde de carbone ou bombe aérosol de gaz carbonique,
- des élastiques, 1 ballons de baudruche
- de la pâte à modeler ou de la colle à plastique.

Selon les hypothèses des enfants : saladiers ou bols de différents diamètres, de différentes tailles ; plastiques de différentes épaisseurs, de différentes matières...

(1) Précisions quant aux relevés de températures

Ce module suppose que les élèves maîtrisent la façon d'utiliser des thermomètres. Pour des raisons de sensibilité (0,2°C nécessaires) et d'inertie thermique, il n'est pas conseillé d'utiliser des thermomètres à alcool et ceci pour des raisons de précision des relevés expérimentaux (la température ne peut être bien relevée que si l'ensemble du capteur du thermomètre est au contact de l'objet). Pour les mesures (faibles variations de la température à l'expérimentation), il est conseillé d'utiliser un système de relevés avec un capteur thermique à plat ou à sonde. Souvent, des relevés sont effectués simultanément sur un témoin et une serre-test ; il est donc conseillé d'utiliser des thermomètres identiques. En effet, les relevés simultanés de température peuvent être faussés si l'étalonnage de ces appareils est différent. Ces thermomètres peuvent être avantageusement remplacés par des thermomètres électroniques d'utilisation aisée, mais qui sont onéreux. Il est aussi possible d'utiliser des thermocouples qui prennent la température au moyen de deux sondes, mais cela suppose de consacrer du temps à informer les élèves au sujet de l'utilisation de ces appareils de mesure.

Il sera important de fixer un temps limite de prise de mesure (environ 10 min), à l'issue de laquelle on considère que l'équilibre thermique est quasiment atteint et donc que la mesure ne variera plus de façon significative.

(2) Précisions quant aux matières plastiques utilisées

Fonctionnement du plastique "serre jardinière" : pour limiter la température sous les serres en plastique, en particulier durant l'été, et éviter le dessèchement des plantes, les jardiniers utilisent parfois un matériel plastique (dit "jardinier") qui est très transparent aux rayonnements infrarouges. Ce plastique agit donc à l'inverse des gaz à effet de serre mais permet cependant d'élever la température sous lui, en arrêtant les échanges convectifs entre l'atmosphère et ce qu'il recouvre.

Séance 11- Revenons sur Terre

Compétences :

Lire	Trouver sur Internet des informations scientifiques, les apprécier de manière critique et les comprendre
TICE	Conduire une recherche selon les modalités les plus adaptées
Sciences/écrire	Rédiger un texte pour communiquer des connaissances (statut documentaire)

Problème posé :

- Quelles est la composition de l'atmosphère terrestre ?
- Quels sont les composés à effet de serre ?

(en petits groupes)

Recherche documentaire :

Sur documents papier ou Internet.

Au sujet des gaz à effet de serre :

- Vapeur d'eau (rapprochement possible avec les nuages) : d'où vient-elle? Comment la révéler ?
- Dioxyde de carbone : d'où vient-il ? (Respiration, plantes, combustion).
- Méthane : d'où vient-il ? (Fermentation,...)

Compléments scientifiques pour l'enseignant (extrait du réseau de consultants scientifiques et de la documentation scientifique du site La main à la pâte) :



[Effet de serre et couche d'Ozone](#)

Réponse de Jean-françois Castell (Bioclimatologue à l'INRA) :

L'effet de serre concerne plutôt les basses couches de l'atmosphère (troposphère, entre 0 et 10-15 km d'altitude), bien qu'on trouve des gaz à effet de serre à de plus hautes altitudes (stratosphère et même au-delà) . L'ozone présent en assez faible quantité dans la troposphère est également un gaz à effet de serre. La couche d'ozone se trouve dans la stratosphère (les quantités maximales d'ozone sont situées entre 20 et 30 km d'altitude). Elle intervient dans l'effet de serre et joue un rôle important en absorbant une partie du rayonnement solaire ultraviolet.

Réponse un plus détaillée :

Tout ceci est bien compliqué, je vais essayer de faire une synthèse la plus simple possible .

1. Au fur et à mesure que l'on s'élève en altitude au-dessus de la surface terrestre, les effets de la pesanteur s'atténuent, et la concentration en gaz (kilogrammes de gaz par mètre cube d'atmosphère) diminue. Pour simplifier, on considère habituellement que les 9/10 de la masse atmosphérique sont compris entre 0 et 16 km d'altitude, et que la concentration en gaz de l'atmosphère devient négligeable au-delà de 150 km d'altitude (bien que les gaz n'échappent vraiment à l'attraction terrestre qu'au-delà de 400 km d'altitude)

2. Pour bien comprendre, nous allons nous intéresser aux 50 premiers kilomètres d'atmosphère qui se trouvent au-dessus de la surface terrestre. On peut séparer ces 50 km en deux couches :

La première couche, qui se situe à peu près entre zéro et 10 à 15 km d'altitude est appelée la troposphère ; c'est dans cette couche que se réalisent la plupart des phénomènes météorologiques (formation des nuages, etc.). La température de la troposphère n'est pas constante : elle diminue en moyenne de 0,5°C quand on s'élève de 100 m (mais ce n'est qu'une moyenne, et cela peut varier énormément, surtout au voisinage de la surface). Au sommet de la troposphère, la température est de l'ordre de -50°C.

La seconde couche, qui se situe donc entre 10-15 km d'altitude et à peu près 50 km d'altitude s'appelle la stratosphère. La température y augmente progressivement avec l'altitude, jusqu'à environ 0 °C à 50 km d'altitude.

3. Les principaux gaz à effet de serre se trouvent dans ces deux couches d'atmosphère, mais il existe des différences d'un gaz à l'autre :

- la vapeur d'eau (H₂O) qui est un gaz à effet de serre "naturel" est présente essentiellement dans la troposphère ;

- le dioxyde de carbone, ou gaz carbonique (CO₂) est présent à la fois dans la troposphère et la stratosphère. Il est détruit au-delà de 70 km d'altitude par le rayonnement ultraviolet émis par le soleil. Son rôle de gaz à effet de serre se joue essentiellement dans la troposphère ;

- le méthane (CH₄), qui est réparti à peu près de la même façon que le CO₂ dans l'atmosphère ;

- Le gaz hilarant (N₂O) s'accumule dans la troposphère, et il est détruit par le rayonnement solaire ultraviolet quand il passe dans la stratosphère ;

- Les chlorofluorocarbones (CFC) sont aussi des gaz à effet de serre. Ils sont présents dans la troposphère et sont également détruits dans la stratosphère par le rayonnement solaire ultraviolet et leur réaction avec l'ozone stratosphérique.

4. Pour l'ozone, c'est plus compliqué :

90% de l'ozone atmosphérique se trouve dans la stratosphère. C'est là que l'ozone (O₃) est fabriqué "naturellement" : l'absorption d'une partie du rayonnement solaire ultraviolet (très énergétique) par la molécule de dioxygène (O₂) provoque la cassure de cette molécule en deux atomes d'oxygène. Cette réaction ne peut se faire qu'au-delà de 20 km, car aux plus basses altitudes, le rayonnement solaire est atténué par son interaction avec les composants atmosphériques et n'a plus l'énergie nécessaire pour casser la molécule d'O₂. Les deux atomes d'oxygène réagissent ensuite chacun avec une molécule de dioxygène pour donner une molécule d'ozone (O₃).

C'est cet ozone stratosphérique qui constitue la fameuse "couche d'ozone" qui nous protège d'une partie du rayonnement ultraviolet du soleil : en effet, la molécule d'ozone a pour propriété d'absorber également une partie du rayonnement ultraviolet (un peu moins énergétique que le précédent) et de se casser en une molécule de dioxygène (O₂) et un atome d'oxygène (O). Celui-ci réagit ensuite avec une molécule d'ozone (O₃) pour donner deux molécules d'O₂.

Dans la troposphère, l'énergie solaire n'est plus assez forte pour casser la molécule d'O₂, et la production d'ozone n'est pas possible par ce moyen là. Par contre, il existe un autre moyen : la cassure du dioxyde d'azote (NO₂) par le rayonnement ultraviolet. L'ozone est produit en plus faible quantité que dans la stratosphère car ses précurseurs sont moins abondants que l'oxygène (je vous fais grâce de toute la chimie qui permet d'expliquer la concentration en ozone de la troposphère, je vous l'envoie si vous voulez !).

Mais l'ozone de la troposphère est aussi un gaz à effet de serre, qui contribue à peu près pour 18% de l'effet de serre "additionnel" (c'est-à-dire qui s'ajoute à l'effet de serre naturel).

5. Et l'effet de serre dans tout ça ?

L'atmosphère est relativement transparente pour la partie du rayonnement solaire qui correspond au domaine du visible, et elle est relativement opaque pour l'ultraviolet, (nous l'avons vu) ainsi que pour les rayonnements de grande longueur d'onde (infrarouge). Le rayonnement visible traverse donc assez facilement l'atmosphère et est absorbé en partie par la surface terrestre. Cet apport d'énergie provoque un échauffement de la surface.

En fonction de sa température, la surface émet alors de l'énergie vers l'espace, sous forme de rayonnement infrarouge. Mais celui-ci est absorbé en partie par les gaz à effet de serre, qui émettent à leur tour du rayonnement infrarouge vers la surface. Ainsi, le rayonnement solaire visible qui a pu atteindre la surface à travers l'atmosphère a été "transformé" en rayonnement infrarouge et ne peut être renvoyé vers l'espace, puisqu'il est absorbé par les gaz à effet de serre. L'énergie ainsi piégée est transformée en chaleur, ce qui contribue au réchauffement des basses couches de l'atmosphère.

Ce sont les basses couches de l'atmosphère (troposphère) qui sont les plus concernées car : C'est à ce niveau que les gaz sont présents à de plus fortes concentrations (sauf pour l'ozone, mais c'est un cas particulier), ce sont les gaz les plus près de la surface qui absorbent préférentiellement le rayonnement de la surface et qui sont les plus chauds (on a vu que dans la troposphère, la température décroît avec l'altitude), et donc qui émettent le plus de rayonnement vers la surface. Les gaz à effet de serre présents à plus haute altitude peuvent également absorber le rayonnement infra rouge émis par la surface, mais celui-ci a déjà été absorbé en grande partie par les couches inférieures, et ils réémettent moins de rayonnement. De plus, une partie de ce rayonnement quitte l'atmosphère sans être absorbé par un autre gaz à effet de serre.

6. Conclusion :

Comme la plupart des gaz, les gaz à effet de serre sont présents à de fortes concentrations dans les basses couches de l'atmosphère (troposphère), et c'est à ce niveau qu'ils exercent principalement leur rôle d' "effet de serre". La formation d'ozone dans l'atmosphère se réalise essentiellement à plus haute altitude, dans la stratosphère, dans une zone où l'effet de serre est moins marqué car une grande partie du rayonnement terrestre a déjà été absorbé par les basses couches atmosphériques. C'est pourquoi la couche d'ozone joue principalement un rôle d'absorption du rayonnement ultraviolet d'origine solaire, plutôt qu'un rôle d'absorption du rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre. A l'inverse, l'ozone présent à faible concentration dans les basses couches de l'atmosphère (troposphère) jouera plus un rôle de gaz à effet de serre qu'un rôle d'écran vis-à-vis du rayonnement ultraviolet puisque celui-ci aura été déjà en grande partie absorbé par la "couche d'ozone".

Milieu de vie, environnement

Composition de l'atmosphère terrestre

Texte d'Isabelle Catala (INRA) :

L'atmosphère est l'enveloppe gazeuse qui entoure notre planète. La troposphère qui s'étend entre 6 et 17 km au-dessus de la surface de la Terre constitue 80% de l'atmosphère et contient la quasi-totalité de l'eau de l'atmosphère. C'est à ce niveau que se déroule la circulation de l'air. La stratosphère qui s'étend jusqu'à 50 km d'altitude est extrêmement sèche. L'atmosphère se compose de 78,08% d'azote, 20,95% d'oxygène, 0,93% d'argon et 0,03% de dioxyde de carbone (gaz carbonique) et présente des traces d'hélium, d'hydrogène, de néon, de krypton, de xénon, d'ozone et de méthane.

L'atmosphère joue un rôle décisif dans l'équilibre terrestre. Elle maintient une température clémente indispensable à la vie sur Terre en absorbant les rayons ultraviolets nocifs émis par le soleil et en piégeant la lumière émise dans les grandes longueurs d'ondes, les rayons infrarouges (chaleur) émis par la Terre. Les nuages, la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane et l'ozone jouent un rôle primordial dans ce phénomène de piégeage du rayonnement infrarouge. Ils sont transparents à la lumière solaire mais diminuent la transparence de l'atmosphère à la lumière émise ou réfléchi (rayonnement infrarouge) par la Terre.

L'effet de serre provoqué par les gaz présents dans l'atmosphère évite la perte d'énergie thermique que la Terre rayonne vers l'espace et maintient ainsi une température clémente sur

Terre. L'équilibre de l'atmosphère est fragile, le modifier pourrait provoquer des changements climatiques néfastes à l'équilibre de notre planète.

Étape 4 – De la serre à l'effet de serre

Nombre de séances : 2

But de l'étape 4 : Transposer le modèle-serre sur lequel est formulé le questionnaire initial au modèle terre et atmosphère.

La recherche documentaire menée auparavant a certainement soulevé beaucoup de questionnements chez les élèves. Cette séance de transposition est essentielle pour la compréhension du phénomène "effet de serre" à l'échelle planétaire. Pour cette étape, la première séance gagnera à être menée telle une discussion entre l'enseignant et la classe.

Complément scientifique pour l'enseignant :

Le mécanisme de l'effet de serre, analogie avec la serre (par Jean-louis Dufresnes, chercheur à au Laboratoire de Météorologie Dynamique, paris 6 - Extrait de l'ouvrage "Graines de Sciences 2") :

<http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre/Infosciences/Climats/Rayonnement/Effetserre/effetserre.html> - serre

Séance 12 : L'atmosphère fonctionne comme une serre

Objectifs :

- Transposer le modèle de la serre à la planète terre.
- Réutiliser les connaissances trouvées lors de la recherche documentaire.

Compétences :

Education civique	Avoir compris et retenu la responsabilité que nous avons à l'égard de l'environnement
Français / Sciences	Participer activement à un débat argumenté pour élaborer des connaissances scientifiques, et en respectant les contraintes

Un exemple de cheminement pour l'enseignant :

- **Discussion à partir des traces écrites, collectives et individuelles, de toutes les séances précédentes.**
- **Organisation des données.**
- **Conclusions :** L'enseignant peut conclure en expliquant aux élèves que certains gaz dans l'atmosphère, appelés des gaz à effet de serre, agissent comme les murs en verre d'une serre. Ainsi, ces gaz permettent à la lumière du soleil de pénétrer dans l'atmosphère jusqu'à la surface de la Terre. Au contact de la lumière du soleil, la surface de la Terre se réchauffe et émet de la chaleur. Les gaz à effet de serre empêchent par la suite une partie de la chaleur émise de se dissiper. C'est pour cela qu'il fait plus chaud, à "l'intérieur" de l'atmosphère, qu'à l'extérieur...comme dans la serre !

En l'absence des gaz à effet de serre qui créent ce que l'on appelle l'effet de serre naturel, l'atmosphère et le climat sur la Terre seraient trop froids pour maintenir la vie.

Séance 13 - Influence des gaz à effet de serre sur la température

Objectif :

Constater que la température est plus élevée à l'intérieur d'une serre dans laquelle on a injecté du dioxyde de carbone que dans une serre

Compétences : Séance d'évaluation de compétences

On pourra choisir de cibler plus particulièrement une ou deux compétences, et donc d'organiser la séance selon la priorité fixée.

Sciences exp. et technologie	Réaliser un dispositif expérimental.
Sciences exp. et technologie	Utiliser des instruments de mesure.
Sciences exp. et technologie	Faire une représentation schématique.
Sciences exp. et technologie	Mettre en relation des observations réalisées en classe et des savoirs trouvés dans une documentation.
Sciences / Ecrire	Rédiger un compte-rendu d'expérience (statut scientifique).

Matériel :

- 2 fonds de bouteilles en plastique.
- Un peu de terre noire sèche (terreau du commerce),
- une lampe, halogène de préférence,
- deux thermomètres identiques à capteur ou un thermocouple.
- 1 bombe aérosol ou une bonbonne de dioxyde de carbone,
- un stylo bic, un ballon de baudruche,
- de la pâte à modeler ou de la colle à plastique,
- une montre à trotteuse ou un chronomètre.

Exemple de dispositif expérimental :

Préparer un dispositif témoin [sans dioxyde de carbone] + et un dispositif pour lequel on percera un trou à mi-hauteur pour y insérer un stylo "bic" dont on aura enlevé la mine, ou un tuyau en plastique souple possédant un robinet (de type « quart de tour »). On veillera à ce que l'étanchéité du dispositif soit satisfaisante.

On pourra au préalable vérifier que les deux récipients se comportent identiquement (même variation de température) lorsqu'elles sont toutes les deux sans dioxyde de carbone.

Gonfler les ballons de baudruche avec du dioxyde de carbone. Fermer le ballon avec un élastique (lors de sa détente[sa sortie de la bouteille sous pression], le dioxyde de carbone se refroidit. Préparer à l'avance les ballons permet d'injecter le gaz à température ambiante).

Remplir les bouteilles de 5 cm de terre sèche. Fixer les capteurs à l'intérieur des bouteilles avec du ruban adhésif à un cm au dessus de la surface de la terre. Par l'embout du stylo Bic, injecter le contenu d'un ballon dans la serre-test. Refermer l'embout par le capuchon du bic ou boucher le tuyau avec de la pâte à modeler. Éclairer avec la lampe halogène par le dessus, à égale distance entre la serre-témoin et la serre-test. Dès l'allumage de la lampe, relever la température toutes les 15 secondes pendant 5 à 10 minutes dans les deux bouteilles.

Déroulement possible de la séance :

Les élèves mesurent la température dans les deux mini-serres, toutes les 20 secondes, pendant 10 minutes maximum.

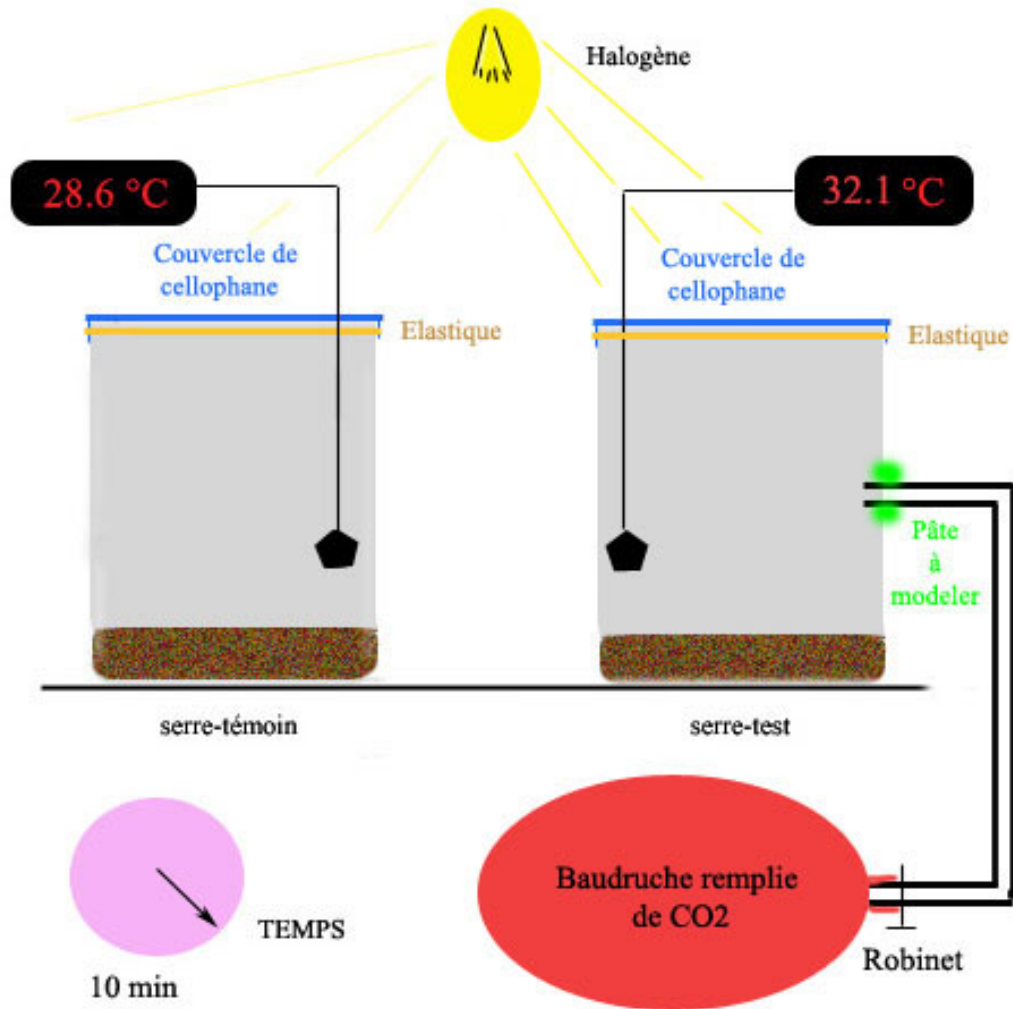


Figure 12 : exemple de dispositif expérimental

Autre possibilité expérimentale :

L'objectif est un peu différent : mettre en évidence que le dioxyde de carbone joue le même effet qu'un couvercle transparent, (i.e. qu'une serre fermée par un couvercle).

Le dioxyde de carbone est un gaz à effet de serre, mais son mécanisme de "rétention" de la chaleur est différent dans l'atmosphère et dans l'expérience simple de laboratoire que nous proposons où il agit principalement comme un "couvercle" *.

La seule différence avec l'expérience précédente est que la serre-test ne possède pas de couvercle.

* **Remarque :** en particulier, il peut arriver qu'en augmentant la concentration en CO₂ dans l'expérience, on observe un effet inverse (i.e. une diminution de la rétention de la chaleur) de celui existant dans l'atmosphère (une augmentation de la rétention de la chaleur avec une augmentation de la concentration). Il ne faudra donc pas chercher à établir un lien entre la quantité de CO₂ injectée dans l'expérience, et la valeur de l'augmentation de la température observée.

- Dans la pratique, nous avons observé que l'optimum de concentration de dioxyde de carbone (pour observer les plus grands effets) se trouvait pour une concentration correspondant à une décharge de 15 secondes de la bombe aérosol. (Pour des temps de décharge plus courts, il n'y a pas assez de dioxyde de carbone pour former

un couvercle. Pour des temps plus longs, l'efficacité diminue car une partie de la chaleur de la serre est utilisée pour essayer de "mélanger" le dioxyde de carbone).

- Le dioxyde de carbone est plus lourd que l'air. Il aura donc tendance, après son injection, à rester confiné un certain temps dans la bouteille. Il ne faudra cependant pas poursuivre l'expérience au-delà de 10 min, car il ne restera plus de CO₂ après cette période.

Exemple de résultat expérimental :

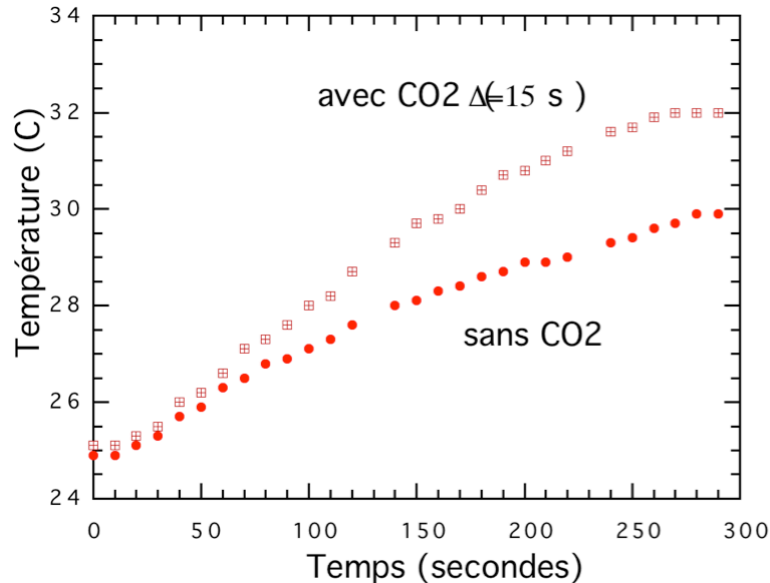


Figure 13 – Courbe de la T° à l'intérieur des bouteilles en fonction du temps avec et sans ajout de dioxyde de carbone (noté ici CO₂) . La différence de température entre les deux bouteilles augmente.

Trace écrite :

Les élèves peuvent reporter les mesures (sous forme de tableau) sur leur cahier d'expérience, et tenter une représentation finale sous la forme d'une courbe. (cf. figure 13, ci-dessous : Exemple de courbe obtenue à partir de mesures réalisées par des scientifiques à l'aide du même matériel expérimental que celui proposé ici).

Conclusion :

Dans la bouteille avec du CO₂, la température est plus élevée que dans l'expérience témoin. Le CO₂ ajouté agit donc comme un "couvercle" qui empêche la chaleur de s'échapper.

Bibliographie et crédits

Bibliographie

Publications, ouvrages et références :

- Environnement et diversité du vivant ; Christian Lévêque ; Explora ; la Villette ; la Cité réf : 9782266 063029
- Atlas de l'écologie ; Encyclopédies d'aujourd'hui ; Dieter Heinrich ; La pochothèque
- « Le livre du ciel », Jean Pierre Verdet, Collection découverte cadet, Gallimard.

Sites Internet :

www.effet_de_serre.gouv.fr: mission ministérielle sur l'effet de serre.

www.climaction.org: association

[http://www.ens-lyon.fr/Planet-](http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre/Infosciences/Climats/Rayonnement/Effetserre/effetserre.html)

[Terre/Infosciences/Climats/Rayonnement/Effetserre/effetserre.html](http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre/Infosciences/Climats/Rayonnement/Effetserre/effetserre.html)

<http://www.manicore.com/> (<http://www.manicore.com/documentation/serre/index.html>)

http://www.fnh.org/francais/faq/effet_serre/contenu.htm

<http://www.ac-reims.fr/datice/svt/exao/serre.htm>

<http://www2.schoolnet.ca/future/> cliquer sur "Activités en classe et en ligne", puis sur "Atmosphère" et "Changement climatique"

http://www.ac-toulouse.fr/svt/lycee/seconde/effet_serre.htm

<http://pedagogie.ac-aix-marseille.fr/svt/product/experim/serreco2/default.htm>

Autres sites :

Environnement Canada est une bonne source d'informations générales :

http://www.msc.ec.gc.ca/cd/climate/index_f.cfm?

Autre site canadien sur les changements climatiques :

http://climatechange.gc.ca/french/actions/what_are/federal_links.shtml

Crédits

Auteurs :

Comité scientifique :

B.Dubrulle (directeur de recherche au CNRS, Groupe Instabilité et Turbulence, CEA / DRECAM / SPEC);

R. Lecuyer (MDC en sciences Physiques, I.U.F.M. Versailles) ;

B. Urgelli (Rédaction scientifique du site Planet-Terre [<http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre>], ENS Lyon).

Comité pédagogique et communication :

Béatrice Salviat (didacticienne, enseignante, *La main à la pâte*);

Renée Louis (conseillère pédagogique, circonscription de la Ferté-Alais).

Catherine Senior (Chargée de communication, Institut Pierre-Simon Laplace, Univ. Paris VI) ;

Coordination :

Jean-Marie Bouchard, Institut national de recherche pédagogique - Équipe :*La main à la pâte* (<http://www.inrp.fr/lamap>) - INRP, Académie des sciences , E.N.S.

Aides documentaires :

Les deux dernières séances sont inspirées d'activités développées par des enseignantes et enseignants du Nouveau-Brunswick en collaboration avec le ministère de L'éducation du Nouveau-Brunswick et grâce au Fonds de fiducie pour l'Environnement du Nouveau-Brunswick, ainsi que d'un travail d'Odette Langlais, consultante en éducation et en développement international à partir d'informations provenant principalement du site Internet d'[Environnement Canada](#).

Illustrations

Documents

#1 : Spot publicitaire (Ministère de l'environnement/ADEME – L'ampoule) – téléchargement sur le site <http://www.pubstv.com/> « ampoule ».

#2 : Les Clés Junior– n°280, 2003.

Figures :

#1 : (http://www.inrp.fr/lamap/scientifique/optique/savoir/spectre_lumiere.htm) site [La main à la pâte](#).

#2, 3, 4, 12 : Jean-Marie Bouchard – *La main à la pâte*, 2003.

#5 : Nasa (www.gsfc.nasa.gov/.../pinatubo/atmosphere%20after.jpg)

#13 : Bérengère Dubrulle – CNRS CEA / DRECAM / SPEC, 2003.

Remerciements

Tous les scientifiques de l'Institut Pierre Simon Laplace pour leur aide et leurs suggestions, et en particulier Philippe Bousquet, Francois-Marie Bréon, Pierre Friedlingstein, Anne Juillet-Leclerc, Jean Jouzel, Bernard Legras, Gérard Mégie, Nathalie de Noblet, Jean Poitou, Jan Polcher et Michel Ramonet.

Toute l'équipe de la main à la pâte pour leurs judicieuses et pertinentes corrections et suggestions;

Nous remercions aussi Jean-Marc Jancovici, une mine d'information inépuisable sur le sujet.