

## RESSOURCE

# Comprendre l'effet de serre

Cette ressource est une activité de développement professionnel sur le thème de l'effet de serre. Elle s'adresse prioritairement aux formateurs d'enseignants, et propose des activités expérimentales permettant de comprendre le mécanisme de l'effet de serre et le rôle des rayonnements solaires et infrarouges.

### RÉSUMÉ

Après avoir exprimé leurs représentations sur le mécanisme de l'effet de serre, les participants cherchent un moyen de mettre cet effet de serre en évidence à travers une expérience simple.

Ils réalisent alors qu'aucune expérience faisable en classe de primaire ou de collège ne permet de le mettre en évidence, et que le phénomène peut être étudié de plusieurs façons : à l'aide d'une analogie, à l'aide d'une étude documentaire, ou à l'aide d'une expérience mettant en évidence le rôle de certains matériaux transparents en lumière visible et opaque dans l'infrarouge.

Ils discutent des avantages et limites de chaque approche et affinent leur compréhension de l'effet de serre.

**Cette mise en situation offre également une bonne initiation à l'enseignement des sciences par une démarche d'investigation.**

### Sommaire

- 3 Résumé et matériel nécessaire
- 4 Représentations initiales sur l'effet de serre
- 5 Mise en évidence expérimentale de l'effet de serre
- 8 Proposer une expérience mettant en évidence le rayonnement infrarouge
- 14 Conclusion : qu'est-ce que l'effet de serre ?
- 15 De l'effet de serre au changement climatique
- 16 Prolongements possibles
- 17 Autres ateliers possibles après celui-ci



**Ressource pour la formation**  
Enseignants : 1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> degrés  
Durée : 3H + 1H optionnelle

**Disciplines**  
Physique, SVT, Histoire

**Approche pédagogique**  
Expérimentation  
Démarche d'investigation



## Conditions générales

L'OCE encourage l'utilisation, la reproduction et la diffusion du matériel contenu dans ce document. Sauf indication contraire, le matériel peut être copié, téléchargé et imprimé à des fins d'étude privée, de recherche et d'enseignement, ou pour toute utilisation non commerciale, à condition qu'il soit dûment fait mention de l'OCE en tant qu'auteur et que son approbation ne soit en aucun cas implicite.

Toute demande de traduction, d'adaptation, et d'utilisation commerciale ou non commerciale, doit être faite via le formulaire de contact du site de l'OCE ou envoyée à l'adresse [copyright@oce.global](mailto:copyright@oce.global).

L'information relative aux produits développés par l'OCE est disponible sur son site.

## Date de publication

Janvier 2019.

## Photos

Lionello Del Piccolo (couverture)

Nielsen Ramon (couverture)

OCE (page 3, 4, 7 & 8)

Quang Nguyen Vinh (page 12 & 16)

Conor Sexton (page 13)

Ben White (page 15)

Land Rover MENA via Wikimedia

Commons (page 17)

## Graphisme et mise en page

Mareva Sacoun.





#### AUTEURS

David Wilgenbus (OCE), Lydie Lescarmontier (OCE), Jean-Louis Dufresne (LMD).

#### TYPE DE RESSOURCE

Ressource pour la formation.

#### PUBLIC

Enseignants du 1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> degrés.

#### DURÉE

3 heures (+1 heure en fonction des prolongements possibles).

#### DISCIPLINES

Physique, SVT, Histoire.

#### MOTS CLÉS

Effet de serre, gaz à effet de serre, CO<sub>2</sub>, lumière visible, lumière infrarouge, atmosphère.

#### APPROCHE PÉDAGOGIQUE

Expérimentation, démarche d'investigation.

#### OBJECTIFS DE CONNAISSANCE

- Effet de serre
- Convection
- Rayonnement
- Lumière visible
- Rayonnement infrarouge

#### OBJECTIFS DE COMPÉTENCE

- Mettre en place un protocole expérimental.
- Comprendre ce qu'est un modèle.
- Discuter de la pertinence d'une analogie et de ses limites.
- Représenter des résultats sous forme graphique, et les analyser.
- Se familiariser avec l'enseignement des sciences par une démarche d'investigation.



#### MATÉRIEL NÉCESSAIRE (POUR CHAQUE GROUPE OU COLLECTIVEMENT)

- 3 lampes identiques (au moins 60 W, si possible 100 W pas d'ampoules à économie d'énergie : incandescence ou halogène), montées sur un support que l'on peut fixer et incliner vers la table.
- 3 thermomètres
- 2 récipients transparents de même volume et de même forme, l'un en verre, l'autre en plastique
- Pâte à modeler
- 1 détecteur de présence à infrarouge
- 1 tube en carton (type « papier toilette »)
- Scotch
- 2 planches en bois
- 1 sèche-cheveux
- 2 mugs
- 1 bouilloire
- 1 sac poubelle
- 1 sac en plastique transparent de type « sac de congélation »
- 1 saladier en verre
- Source de CO<sub>2</sub> (facultatif) : cartouche de CO<sub>2</sub>, craie + vinaigre...

## PARTIE 1

# Représentations initiales sur l'effet de serre

Les enseignants sont répartis en petits groupes (idéalement, 4 personnes par groupe). Le formateur leur demande, en 5 minutes, de se concerter au sein de chaque groupe pour **arriver à une explication de ce qu'est l'effet de serre, à l'aide d'un texte ou d'un schéma.**

Chaque groupe désigne un représentant qui ira présenter son explication. Le formateur encourage la discussion collective faisant ressortir les ressemblances et différences entre les différents « modèles » proposés.

ⓘ À ce stade, le formateur n'apporte aucune correction aux propositions faites. Il ne s'agit pas encore de définir ni d'expliquer l'effet de serre mais de faire ressortir les représentations des participants.



Le formateur fera remarquer que la manière dont on a relevé les représentations (oral, texte écrit, schéma, etc.) a une grande importance. Il est fréquent qu'une même personne, commentant à l'oral un texte ou un dessin qu'elle a réalisé, propose une explication différente de celle présente sur ce texte ou ce dessin. **Il est donc utile de faire systématiquement commenter les écrits réalisés.**

On rencontre souvent les mêmes erreurs dans les représentations initiales des professeurs :

- L'effet de serre est confondu avec l'absorption des rayons UV par l'ozone atmosphérique. Le changement climatique est donc, à tort, confondu avec la problématique du « trou » de la couche d'ozone.
- Plutôt qu'un rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre, les schémas montrent fréquemment un rayonnement visible réfléchi par cette surface.
- L'effet de serre est présenté comme un mécanisme statique, et non pas comme un processus dynamique résultant d'un équilibre.
- Lorsqu'on les questionne sur la nature des gaz à effet de serre, le CO<sub>2</sub> est systématiquement nommé, certains autres gaz, comme le méthane, le sont plus rarement. Le gaz à effet de serre le plus présent (et de loin) dans l'atmosphère, l'eau, n'est quasiment jamais évoqué. On y reviendra en fin d'activité.

À ce stade, la compréhension générale du phénomène peut se résumer comme cela : « **Le CO<sub>2</sub> atmosphérique piège la chaleur renvoyée par la surface terrestre.** »

## PARTIE 2

# Mise en évidence expérimentale de l'effet de serre

Le formateur donne aux enseignants 10 minutes pour imaginer un protocole expérimental permettant de mettre en évidence l'effet de serre en classe (donc, avec du matériel usuel). Les propositions sont discutées collectivement.

Elles s'articulent souvent autour de 2 types d'expériences :

- **Option 1 :** Enfermer du  $\text{CO}_2$  dans un récipient transparent, exposé à la lumière, et comparer avec un récipient identique, rempli d'air (sans apport particulier de  $\text{CO}_2$ ), qui sert de témoin.
- **Option 2 :** Construire une serre élémentaire en verre, l'exposer à la lumière, et montrer qu'il fait plus chaud dans la serre qu'en dehors.

En fonction du matériel et du temps disponible, on peut envisager de réaliser les 2 expériences, consécutivement ou en parallèle, ou de n'en faire qu'une seule. Dans ce cas, l'option 2 est à privilégier, car elle est plus facilement réalisable en classe, et interprétable.

Le formateur veille à ce que tout le monde ait bien compris :

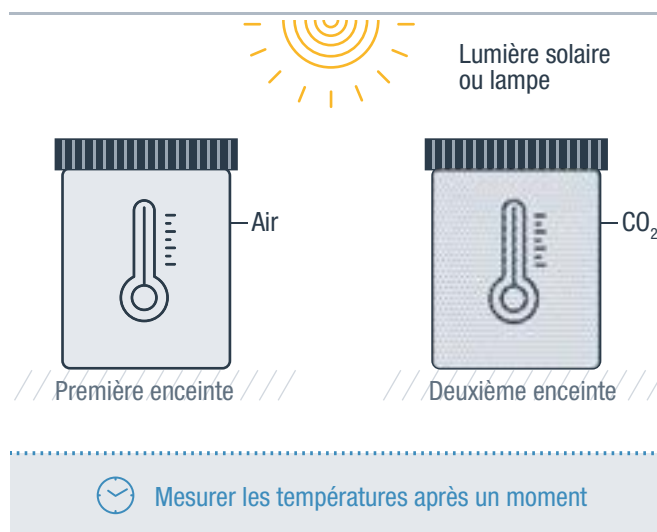
- L'importance d'une expérience témoin.
- La nécessité de ne faire varier qu'un paramètre à la fois.
- La nécessité de faire des relevés réguliers (écrits) au cours de l'expérience.

### OPTION 1 : METTRE EN ÉVIDENCE L'EFFET RADIATIF D'UN GAZ À EFFET DE SERRE COMME LE $\text{CO}_2$

Il est tentant de chercher à mettre en évidence, directement, l'effet du  $\text{CO}_2$ . L'expérience présentée ici est souvent décrite dans les manuels scolaires du collège ou du lycée (avec quelques variantes). Pourtant, elle n'est pas satisfaisante, comme nous allons le voir.

Une enceinte fermée, transparente (en général en verre) est soumise à un rayonnement visible (lampe ou lumière solaire). À côté de cette enceinte témoin, une autre enceinte, identique, est remplie de  $\text{CO}_2$  et soumise au même rayonnement. La source de  $\text{CO}_2$  diffère d'une variante à l'autre (cartouche de  $\text{CO}_2$ , craie sur laquelle on verse du vinaigre, soda qu'on laisse dégazer, etc.).

Après un moment (au moins 10 min), on mesure la température dans les 2 enceintes. L'enceinte contenant du  $\text{CO}_2$  se réchauffe davantage que l'autre.



➔ L'enceinte remplie de  $\text{CO}_2$  se réchauffe davantage que l'autre.

Ce résultat, qui satisfait le sens commun, permet au groupe de **conclure qu'il a bien mis en évidence l'effet de serre du CO<sub>2</sub>. C'est pourtant faux.**

Plusieurs phénomènes différents coexistent et, à cette échelle, la quantité de CO<sub>2</sub> est si faible que ses effets radiatifs sont négligeables. On mesure un effet, certes, mais cela n'est pas l'effet de serre: **on a simplement mis en évidence que les propriétés thermiques du CO<sub>2</sub> (sa capacité à conduire la chaleur) n'étaient pas celles de l'air...**

## OPTION 2: UTILISER UNE SERRE COMME ANALOGIE

Cette option, plus modeste (elle ne prétend pas démontrer, mais simplement illustrer) est, à notre avis, plus intéressante que la précédente. Elle part du principe que le fonctionnement d'une serre est similaire au phénomène atmosphérique connu sous le nom d'«effet de serre».

Une serre élémentaire (récipient en verre ou plastique) est exposée à la lumière, tandis qu'un thermomètre témoin, placé en dehors, permet de comparer l'évolution de la température dans et hors de la serre. Il est intéressant de s'interroger sur le rôle du matériau: on utilise alors 2 serres, une en verre, l'autre en polyéthylène (plastique transparent courant).

**Cette option est pédagogiquement intéressante.** Elle permet aux groupes de:

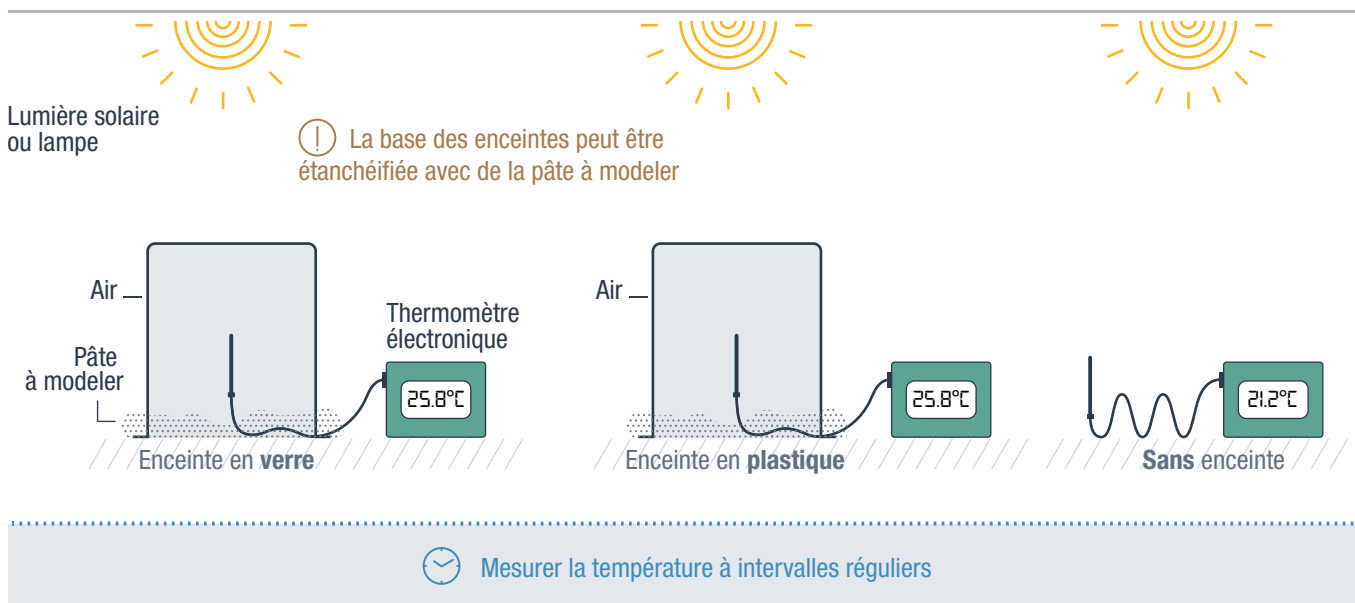
- Monter un protocole expérimental avec une expérience témoin;
- Faire des mesures, les reporter et les interpréter.

**Elle est toutefois scientifiquement insatisfaisante:** la méthode est correcte, mais à cette échelle l'effet mesuré n'est pas celui attendu.

Prendre la température à intervalles réguliers (désigner une personne responsable de ces mesures et de leur trace écrite).

**Les enseignants constatent qu'il fait plus chaud dans la serre.**

Une interprétation proposée est que la chaleur est «piégée» par la paroi. On explique alors qu'il existe dans l'atmosphère des gaz qui jouent le même rôle que le couvercle de la serre et que, pour cette raison, on les appelle des gaz à effet de serre. **Une telle analogie, si elle est présentée et assumée comme telle, est tout à fait acceptable en classe.**



➔ **Il fait plus chaud dans les enceintes en verre et plastique.**



**Ici aussi, cohabitent plusieurs effets : l'effet de serre et le confinement.** Sans couvercle, l'air chaud est évacué par convection et remplacé par de l'air plus froid. Il est donc normal que le thermomètre affiche une température plus basse à l'extérieur qu'à l'intérieur d'une enceinte fermée, où l'air ne peut pas être renouvelé.

D'ailleurs, la comparaison entre la serre en verre (où, en théorie, on a un « effet de serre », c'est à dire un effet d'absorption du rayonnement infrarouge) et la serre en polyéthylène (où il n'y a pas d'effet de serre) montre une différence négligeable. **L'effet dominant est donc le confinement.**

ⓘ Le formateur peut faire un aparté sur l'histoire des sciences en évoquant le rôle de Svante Arrhenius, chimiste suédois, qui a est à l'origine de l'expression « effet de serre », par analogie avec la serre agricole.

Les découvertes de Joseph Fourier seront abordées plus tard dans l'activité.

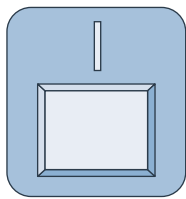
## PARTIE 3

# Proposer une expérience mettant en évidence le rayonnement infrarouge

Après avoir animé une discussion collective sur les avantages et inconvénients des deux expériences précédentes, le formateur explique qu'**aucune expérience simple, faisable en classe de primaire ou de collège, ne peut mettre en évidence l'effet de serre dû au CO<sub>2</sub>.**

Le formateur propose alors une **nouvelle expérience**, qui ne montre pas l'effet de serre, mais **qui permet de comprendre certains mécanismes qui y sont à l'œuvre** (mécanismes qu'il ne nomme pas ni n'explique pas pour le moment). Il rassemble tous les enseignants autour d'une expérience qu'il a préparée à l'avance.

### MATERIEL



DÉTECTEUR DE PRÉSENCE

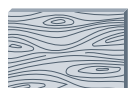


Planche en bois



Feuille transparente



Sac poubelle vide

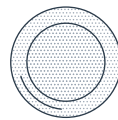
### MATÉRIAUX TESTÉS (exemples)



Feuille en papier



Assiette en verre



Assiette en plastique transparent



Main



Gobelet d'eau chaude

### SOURCE INFRAROUGE

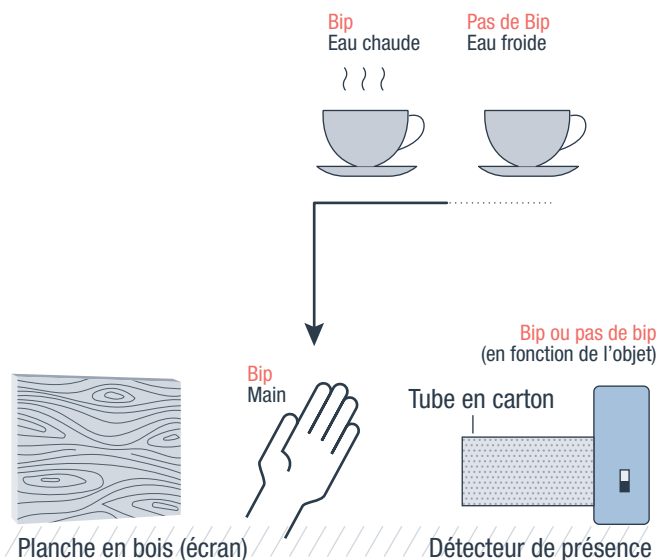


⚠ Il est très important d'avoir placé tous les objets utilisés dans cette expérience (les planches, les feuilles, les plaques, les sacs, les gobelets, l'eau, etc.) à l'endroit où on réalisera l'expérience, et ce une bonne heure à l'avance, de façon à ce tous ces objets soient bien à température ambiante.

Un simple détecteur de présence a été entouré d'un tube en carton pour le rendre aveugle à ce qui se passe sur ses côtés. Il servira à mettre en évidence le rayonnement infrarouge et le fait que certains matériaux peuvent être transparents ou opaques, indifféremment dans le visible ou l'infrarouge. La planche en bois sert d'écran. Elle donne un fond uniforme, à température ambiante, sur lequel se calibre le détecteur.

## ÉTAPE 1 : COMPRÉHENSION DU FONCTIONNEMENT D'UN DÉTECTEUR DE PRÉSENCE

1. Le formateur passe la main devant un détecteur de présence: on entend un bip. Les enseignants sont encouragés à interpréter ce bruit: il traduit simplement le fait qu'un signal transite entre la main et le détecteur. On ne sait rien de ce signal pour l'instant.
2. Le formateur répète la même expérience, en remplaçant la main par un gobelet contenant de l'eau chaude (bip) puis un gobelet contenant de l'eau à température ambiante (pas de bip): il semble que le signal soit lié à la température de l'objet. Le détecteur détecte non pas la présence d'un objet, mais la présence d'un objet chaud.
3. Le formateur place devant un détecteur une plaque de carton (qu'on appellera l'écran) qu'il a chauffé avec un sèche-cheveux. Après quelques bips, le détecteur se tait, il est «thermalisé». Désormais, le détecteur ne détecte plus la main qui est introduite entre lui et l'écran, parce qu'il n'y a plus de différence de température entre la plaque de carton et la main.



Placer des objets chauds et froids devant le détecteur



Le détecteur bippe quand il détecte un objet plus chaud que son environnement

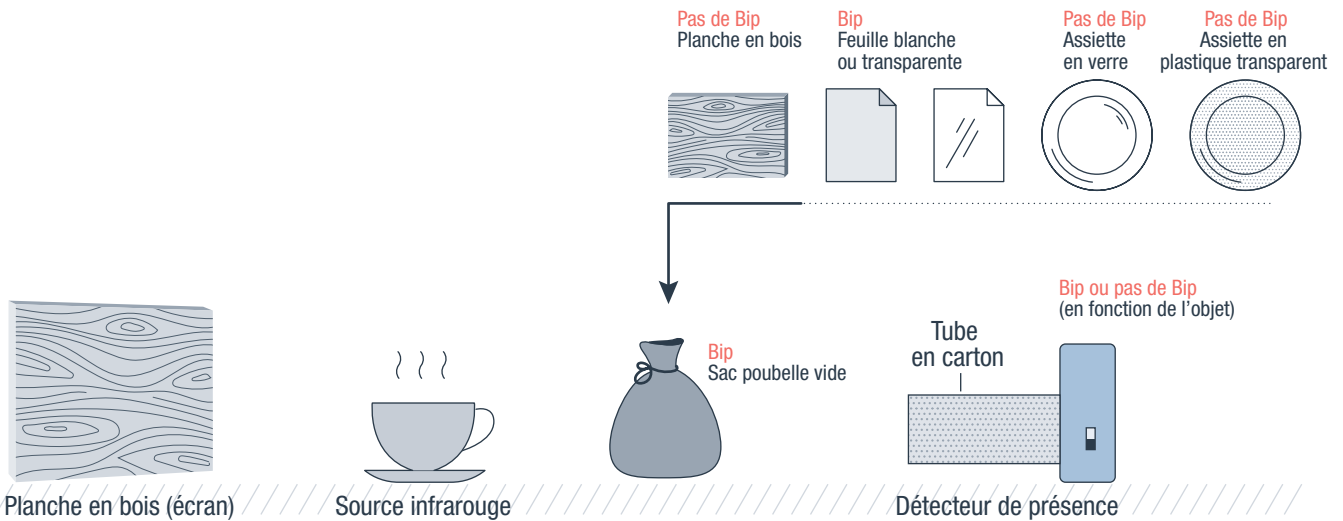
**Le détecteur ne détecte pas un objet chaud «dans l'absolu», mais seulement un objet plus chaud que son environnement.**

## ÉTAPE 2 : LES MATÉRIAUX ET LEUR COMPORTEMENT VIS À VIS DU DÉTECTEUR

4. Maintenant que le fonctionnement du détecteur est bien compris, l'expérience à proprement parler peut démarrer. L'écran est refroidi, le détecteur bippe à nouveau lorsqu'on passe la main. On introduit désormais plusieurs objets différents entre la main et le détecteur:
  - Une planche en bois,
  - Une feuille de papier,
  - Une feuille transparente,
  - Une plaque en verre,
  - Une feuille de papier cellophane,
  - Un sac poubelle, etc.

Avec certains objets, le détecteur bippe, et avec d'autres non. On en conclut que **certains objets peuvent empêcher le signal de passer et pas d'autres.**

On en déduit également que **le signal n'est pas véhiculé par la lumière visible, mais par une autre composante, à laquelle nos yeux sont insensibles**: on va appeler ce rayonnement **le rayonnement infrarouge**. En effet, certains objets sont transparents à nos yeux et stoppent néanmoins le signal (par exemple, une plaque en verre).



⌚ Placer plusieurs objets entre la source infrarouge et le détecteur

➔ Avec certains objets, le détecteur bipe, avec d'autres, il ne bipe pas

## ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE : LE SPECTRE DE LA LUMIÈRE

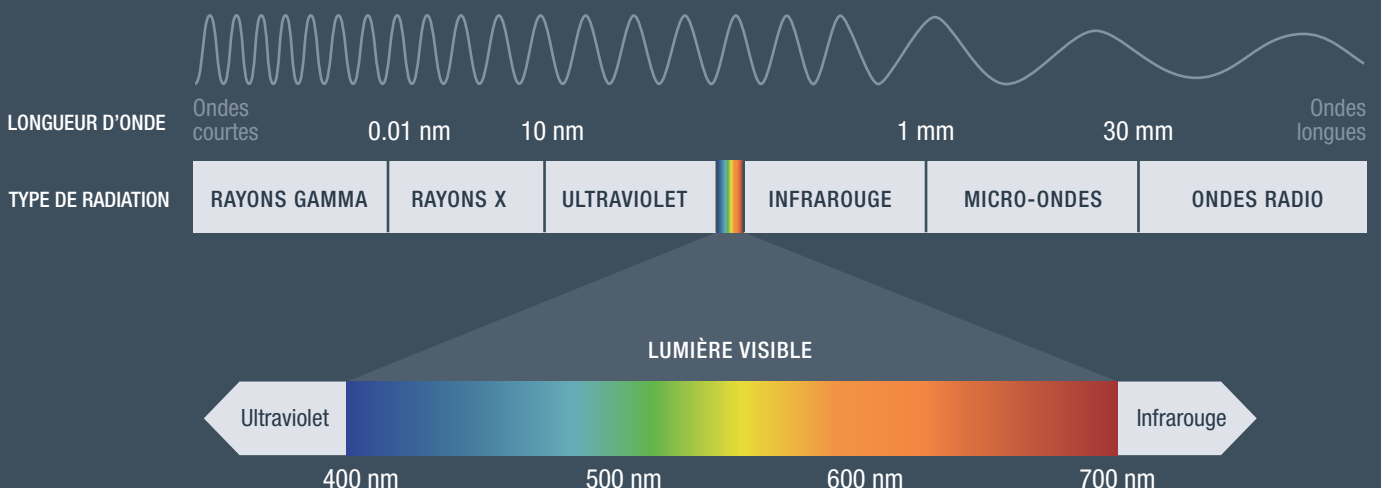
Nos yeux ne sont capables de voir qu'une partie du spectre de la lumière.

Comment la lumière est-elle répartie en parties visibles ou invisibles ?

La lumière est composée de nombreuses radiations, de différentes longueurs d'onde. Quand on utilise un prisme, les rayons sont plus ou moins déviés selon leur longueur d'onde. On voit alors les différentes couleurs (qui correspondent aux différentes longueurs d'onde), mais certains sont invisibles à nos yeux.

Qu'est-ce qu'on ne voit pas ?

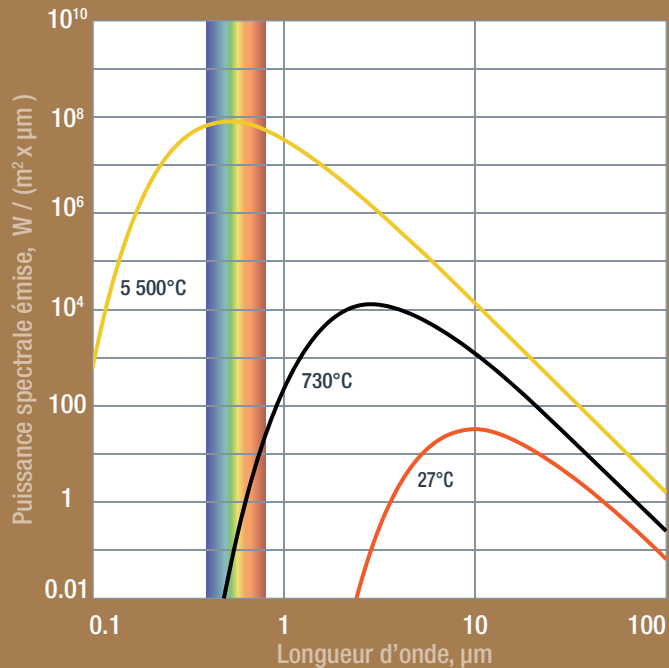
La figure ci-dessous montre le spectre de la lumière, c'est-à-dire sa décomposition en différentes gammes de longueur d'onde. Seule une toute petite partie du spectre, comprise entre 400 et 700 nm de longueur d'onde, est visible à nos yeux. Les infrarouges, situés dans des longueurs d'onde supérieures à celle du rouge, nous sont invisibles. Cependant, on peut les détecter avec d'autres instruments, comme celui utilisé dans notre expérience.



## ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE : LE CORPS NOIR ET LA TERRE

Tous les objets, quels qu'ils soient, émettent un rayonnement, qui dépend de leur température. On appelle ce rayonnement le rayonnement de « corps noir » ou rayonnement « thermique ».

Le spectre d'un corps noir montre que celui-ci émet des rayonnements dans toutes les longueurs d'onde,



### Spectre des corps noirs

Spectre du rayonnement émis par un corps à 5500°C (le Soleil, courbe jaune), 730°C (lave d'un volcan, courbe noire) et 27°C (un objet quelconque à 27°C, courbe rouge)

depuis les rayons gamma (les plus énergétiques) jusqu'aux ondes radio (les moins énergétiques). La proportion d'énergie rayonnée dans telle ou telle gamme de longueur d'onde dépend uniquement de la température de l'objet. Ainsi, la surface du Soleil, dont la température est d'environ 5500°C, émet surtout de la lumière « visible » (avec un pic dans le jaune), un peu de rayons ultraviolets et infrarouges, et très peu des autres radiations. Un objet à 27°C émet, lui, essentiellement des rayons infrarouges. Entre les deux, la lave dont la température est d'environ 730°C émet à la fois du rayonnement visible (on la voit, elle est rouge), et des rayonnements infrarouges (on en ressent la chaleur).

### Comment lire ce graphique ?

Chaque courbe correspond au spectre d'un corps noir à une certaine température. On constate que plus un corps est chaud, et plus émet de rayonnement (la courbe est plus « haute » sur l'axe des ordonnées). Par ailleurs, plus il est chaud, et plus son pic se situe dans les courtes longueurs d'onde (à gauche, sur l'axe des abscisses). Inversement, plus il est froid, et plus son pic est décalé vers les grandes longueurs d'onde (à droite).

**La Terre est un corps noir dont la température de surface vaut environ +15°C (+16°C désormais à cause du réchauffement climatique). À cette température, l'essentiel du rayonnement émis par la surface se situe dans le domaine infrarouge.**

## ÉTAPE 3 : LES MATÉRIAUX ET LEUR COMPORTEMENT VIS À VIS DES INFRAROUGES

### 5. On catégorise les objets :

- Certains sont transparents dans le visible et dans l'infrarouge (exemple : cellophane).
- Certains sont transparents dans le visible mais opaques dans l'infrarouge (exemple : matériaux « à effet de serre », comme le verre).
- Certains sont opaques dans le visible et dans l'infrarouge (exemple : planche en bois).
- Certains sont opaques dans le visible mais transparents dans l'infrarouge (exemple : les matériaux « anti - effet de serre », comme le sac poubelle).

6. Revenant à l'effet de serre, le groupe discute de l'effet que peut avoir un matériau qui laisse passer la lumière visible du Soleil mais absorbe le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre.

7. Le groupe établit alors les grandes étapes du mécanisme de l'effet de serre (voir « Conclusion : Qu'est-ce que l'effet de serre ? »).



Les expériences présentées précédemment ne montrent pas que le  $\text{CO}_2$  est un gaz à effet de serre, mais permet de comprendre certaines notions en jeu dans ce phénomène complexe : existence de plusieurs types de rayonnement, relativité de la notion de transparence ou d'opacité, bilan radiatif...

Une partie de l'énergie du Soleil est renvoyée vers l'espace

L'autre partie de l'énergie traverse l'atmosphère et arrive sur la surface terrestre

RADIATION INFRAROUGE

La surface terrestre est chauffée par l'énergie du Soleil et émet de la radiation infrarouge qui est partiellement renvoyée

Les gaz à effet de serre piègent une partie de la radiation infrarouge

Le formateur explique que la compréhension de l'effet de serre peut nécessiter, selon le niveau visé, de distinguer un état transitoire d'un état stationnaire, de comprendre ce qu'est un corps noir, de distinguer les effets dans la haute et la basse atmosphère, etc. Il peut alors enchaîner sur l'importance d'établir un scénario conceptuel (lien vers une autre activité de formation).

ⓘ Le formateur peut faire un nouvel aparté sur l'histoire des sciences et évoquer le rôle de Joseph Fourier (équilibre thermique entre des gains et des pertes d'énergie sous forme radiative et rôle de la « chaleur obscure », nom donné à l'époque au rayonnement infrarouge).

## Effet de serre

Adapté d'une infographie conçue par Lannis





## ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE L'EFFET DE SERRE

1. Ce phénomène est dû au fait que l'atmosphère est essentiellement transparente au rayonnement visible mais en grande partie opaque au rayonnement infrarouge.
2. La surface terrestre (qui inclut les océans, la cryosphère, la végétation, les continents...) reçoit de l'énergie sous forme de rayonnement visible, qu'elle absorbe en partie. Elle se réchauffe alors et, se comportant comme un corps noir, elle émet à son tour un rayonnement, infrarouge, vers l'espace. En l'absence d'effet de serre, cette énergie perdue vers l'espace compenserait exactement l'énergie incidente conduisant à un équilibre «sans effet de serre»: la température de la surface terrestre serait de  $-18^{\circ}\text{C}$ .
3. Dans une atmosphère comportant des gaz à «effet de serre»: une partie du rayonnement infrarouge émis par la surface est absorbée par l'atmosphère, puis réémise dans toutes les directions, dont une partie vers le sol et une partie vers l'espace.
4. Sans effet de serre le rayonnement infrarouge serait émis directement vers l'espace par la surface terrestre (plus chaude que l'atmosphère); avec l'effet de serre, le rayonnement émis par la surface terrestre est «piégé» par l'atmosphère, et c'est l'atmosphère (plus froide que la surface terrestre) qui émet un rayonnement infrarouge vers l'espace. Le rayonnement émis par le système surface-atmosphère est donc plus faible du fait de l'effet de serre.
5. Le système surface-atmosphère perd moins d'énergie, donc il se réchauffe jusqu'à atteindre une nouvelle température d'équilibre ( $+15^{\circ}\text{C}$  pour l'effet de serre naturel) pour laquelle les gains et les pertes se compensent.

ⓘ Ce mécanisme détaillé est hors de portée d'élèves de l'école primaire ou du collège. Pour eux, une analogie simple peut être amplement suffisante. On peut dire, par exemple: les gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère jouent le même rôle qu'une couverture que l'on porte sur soi: ils piègent en partie la chaleur émise par la surface terrestre (comme la couverture piège en partie la chaleur émise par le corps).

## PARTIE 4

# Conclusion : qu'est-ce que l'effet de serre ?

En fin d'activité, le formateur revient sur les représentations exprimées initialement (textes, schémas et commentaires oraux), et demande au groupe de les corriger collectivement, et d'expliquer pourquoi certaines erreurs apparaissent fréquemment :

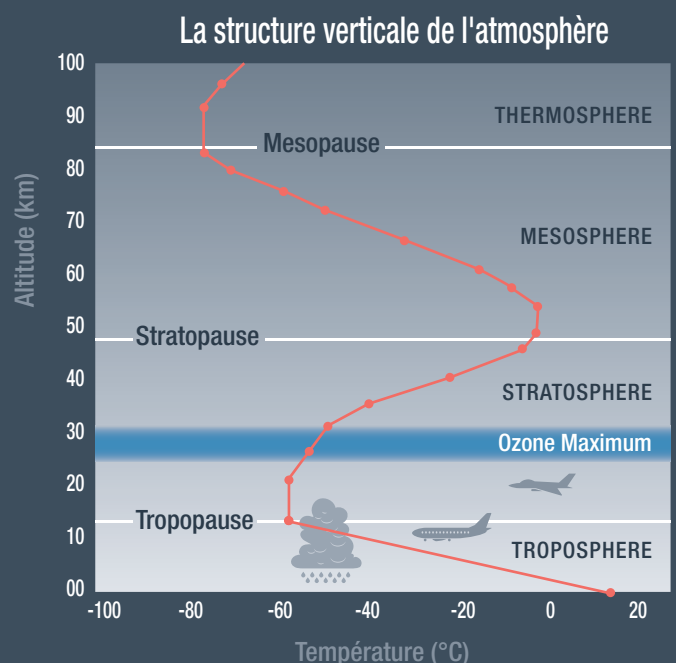
- La confusion liée à la « réflexion » est encouragée par l'iconographie qui circule (Internet, manuels scolaires) dans laquelle le rayon incident venant du Soleil (lumière visible) et le rayon émis par la surface terrestre (infrarouge) sont « accolés » et représentés avec un angle qui est cohérent avec l'idée d'une réflexion.
- La confusion avec la couche d'ozone s'explique par plusieurs facteurs : dans les deux cas, l'explication met en œuvre la présence d'une lumière invisible (UV, IR)

et, dans les deux cas, des composants bien spécifiques de l'atmosphère (ozone, gaz à effet de serre). Par ailleurs, les deux phénomènes sont associés à l'idée générale de pollution anthropique (chlorofluorocarbones, gaz à effet de serre), de négociations internationales, de risques pour la santé ou l'environnement... Enfin, le fait que l'ozone soit lui-même un gaz à effet de serre peut entretenir la confusion, tout comme le fait que la reformation de l'ozone atmosphérique est affectée par le changement climatique. Il n'est donc pas surprenant que les deux phénomènes soient si fréquemment confondus.

Le groupe réalise alors collectivement un schéma légendé illustrant l'effet de serre, comme celui présenté plus haut.

## ÉCLAIRAGE SCIENTIFIQUE : LA COUCHE D'OZONE

La couche la plus basse, dans laquelle nous vivons et où se situent la plupart des phénomènes météorologiques, est appelée la troposphère. Elle représente plus de 80% de la masse totale de l'atmosphère. Elle est plus épaisse à l'équateur qu'aux pôles. Au-dessus se trouve la stratosphère, à l'intérieur de laquelle la fameuse « couche d'ozone », entre 15 et 30 km d'altitude. L'ozone est en réalité présent dans toute l'atmosphère, mais sa concentration est particulièrement élevée dans cette zone. L'ozone absorbe les rayons UV émis par le Soleil et les empêche ainsi d'atteindre la surface terrestre. L'emploi massif de certains gaz réfrigérants (CFC) a pour conséquence de détruire cette couche d'ozone, ce qui fait peser une menace importante pour toute vie terrestre. Depuis la signature du protocole de Montréal en 1985, l'utilisation de ces gaz est désormais interdite, et le « trou » de la couche d'ozone se résorbe peu à peu.



**L'exemple de la couche d'ozone nous permet de constater que la communauté internationale est parfois capable de se mobiliser et d'agir.**

## PARTIE 5

# De l'effet de serre au changement climatique

### ÉTUDE DOCUMENTAIRE SUR LES VARIATIONS CLIMATIQUES PASSÉES

Une alternative à l'expérimentation (ou un complément) peut être d'étudier l'effet de serre par le biais de documents. Le formateur peut présenter par exemple des courbes ou tableaux de données montrant **l'évolution passée de la température moyenne globale et de la concentration de l'atmosphère en CO<sub>2</sub> au cours des 1000 dernières années.**

On constate que les 2 courbes se suivent et augmentent subitement à partir du 19<sup>ème</sup> siècle, ce qui permet d'initier un travail en histoire sur la révolution industrielle, et ainsi de faire le lien entre réchauffement climatique, démographie, et utilisation de sources d'énergie carbonées.

Une telle étude documentaire permet de travailler d'une part sur la notion de source d'information (D'où viennent ces données ? Quelle confiance peut-on leur accorder ?)

et d'autre part sur la causalité. Ici, on a mis en évidence le fait que 2 grandeurs varient ensemble, ce qui indique qu'elles *semblent* être reliées, mais cette relation n'est pas démontrée. Là encore, le formateur doit **clairement alerter les enseignants sur cette différence entre corrélation et relation de cause à effet.** On peut par exemple dire «cette étude nous montre qu'il semblerait qu'il existe un lien entre les 2 phénomènes, et que ce lien mérite d'être creusé par d'autres études complémentaires, par exemple une expérience montrant si le CO<sub>2</sub> est bien un gaz à effet de serre».

Pour renforcer cette idée, on peut présenter un graphique montrant une corrélation positive étonnamment élevée entre la consommation de chocolat par habitant de différents pays et le nombre de prix Nobel pour ces pays. Les 2 courbes sont très bien corrélées, pourtant il serait hasardeux d'en conclure que manger du chocolat aide à obtenir le prix Nobel! **Une bonne corrélation n'est pas une preuve suffisante de causalité.**





## Prolongements possibles

Si le formateur dispose d'une heure supplémentaire, il peut approfondir quelques notions liées au thème de l'effet de serre. La durée totale de l'atelier, dans ce cas, est d'environ 4 heures.

### LES FORÇAGES ASTRONOMIQUES

---

En fonction de l'aisance du formateur sur ce thème, un prolongement peut être fait sur les causes naturelles de variation du climat, et en particulier les forçages astronomiques, notamment les cycles de Milankovitch (excentricité de l'orbite terrestre, variation de l'inclinaison de l'axe de rotation, précession des équinoxes).

Il met en évidence les différentes périodes caractéristiques de ces cycles, et leur imbrication, et fait un parallèle entre ces forçages astronomiques et les variations passées du climat sur les 800 000 dernières années. Le formateur informe les enseignants qu'humano sapiens apparaît tardivement (entre -300 000 et -200 000 ans), ce qui exclut tout impact de l'homme sur le climat à cette époque. Il attire l'attention sur l'amplitude des cycles glaciaires-interglaciaires, et les durées de ces transitions. Les enseignants réalisent alors que ça n'est pas tant l'ampleur du changement climatique annoncé qui est nouvelle que sa rapidité, et relance la discussion sur les conséquences de ces changements rapides (par exemple sur la biodiversité).

### ÉTUDE DOCUMENTAIRE PORTANT SUR LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

---

Le formateur revient sur les variations climatiques passées et sur l'origine anthropique du réchauffement observé depuis un siècle (cf. étude documentaire précédente).

Il demande aux enseignants de lister certaines conséquences déjà visibles du changement climatique. Celles qui sont les plus fréquemment citées sont : **augmentation du niveau des mers, fonte des glaciers et banquises, déplacements de population, baisse des rendements agricoles, etc.**

Enfin, le formateur termine cet atelier par une présentation de quelques documents (photos, graphiques...) montrant les diverses manifestations du changement climatique dans le monde.

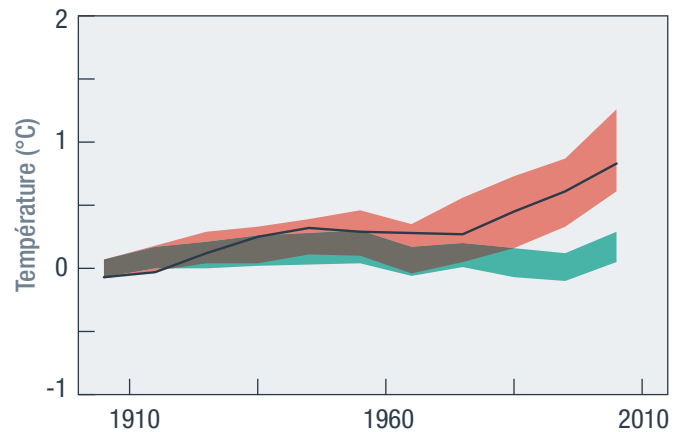
## «PREUVE» DE LA NATURE ANTHROPIQUE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Après s'être assuré de la bonne compréhension de l'effet de serre, le formateur insiste sur le fait qu'il s'agit d'un phénomène naturel et mentionne notamment le rôle de la vapeur d'eau comme gaz à effet de serre.

Il revient sur un argument longtemps avancé par les climatosceptiques (le changement climatique est uniquement lié aux cycles solaires) et explique qu'il est « facile » de prouver le contraire :

- Si le réchauffement était lié à davantage d'énergie provenant du Soleil, alors la haute et la basse atmosphère devraient se réchauffer toutes deux. Cela n'est pas ce qu'on observe : la basse atmosphère se réchauffe, et la haute atmosphère se refroidit.
- L'effet de serre est le seul mécanisme connu permettant d'expliquer ce phénomène. Le formateur revient sur le schéma général du mécanisme et explique que les gaz à effet de serre empêchent une partie du rayonnement infrarouge, émis par la surface, d'atteindre la haute atmosphère, provoquant ainsi un réchauffement « en bas » et un refroidissement « en haut ».

À ce stade, et en fonction du temps disponible, le formateur peut évoquer les **modèles climatiques** (illustration à l'appui), et notamment le fait qu'ils **permettent de bien expliquer le réchauffement observé depuis un siècle si l'on inclut à la fois les effets naturels et les émissions de gaz à effet de serre anthropiques, mais pas si l'on ne prend en compte que les effets naturels.**



Comparaison des anomalies de température de surface globale (océan et surface terrestre) observées (courbe noire) et simulées avec des modèles climatiques (courbes verte et rouge) (anomalies relatives aux températures de 1880-1919).  
Adapté du Rapport AR5 du GIEC

- Modèles considérant seulement les effets naturels
- Modèles considérant les effets naturels et anthropiques



### AUTRES ATELIERS POSSIBLES APRÈS CELUI-CI

Cet atelier sur les mécanismes de l'effet de serre peut constituer un préalable intéressant à d'autres ateliers :

- Un atelier focalisé sur les relations climat/océan/cryosphère.
- Un atelier orienté sur les solutions (adaptation/atténuation).

### DOCUMENTS ASSOCIÉS

Diaporama (PDF ; PPTX)



«Les Parties coopèrent en prenant [...] des mesures pour améliorer l'éducation» affirme l'article 12 de l'Accord de Paris, tandis que 113 Académies des sciences recommandent, dans leur récente déclaration sur le changement climatique et l'éducation: «*éduquer les générations présentes et futures aux changements climatiques et leur apprendre à agir avec un esprit critique et un cœur plein d'espoir est essentiel pour l'avenir de l'humanité. L'éducation scientifique doit relever ce défi [...]*».

En réponse à ces appels urgents, les climatologues et éducateurs se mobilisent pour créer un **Office for Climate Education**. Les enseignants, et tout particulièrement ceux des écoles primaires et secondaires, sont les acteurs clés pour mettre en œuvre ces recommandations. L'Office produit

à leur intention une variété de ressources basées sur les pédagogies actives. L'Office accompagne sur la période 2018-2022 la publication par le GIEC des «Rapports d'évaluation» et des «Résumés à l'intention des décideurs» par des «Rapports et ressources pour les enseignants», qui mettent l'accent sur les problématiques d'adaptation et d'atténuation. Il porte une attention particulière aux pays en développement.

L'Office for Climate Education travaille en étroite collaboration avec les éducateurs et les experts des sciences du climat comme des sciences sociales. Il s'appuie sur un secrétariat exécutif, installé à Paris, et coordonne l'action d'un vaste réseau de partenaires locaux et régionaux, comptant d'ores et déjà une quarantaine de pays. Les ressources sont conçues globale-

ment, puis adaptées aux différents contextes locaux et testées dans les classes. L'Office participe également à la diffusion des ressources existantes produites dans le même esprit.

L'Office for Climate Education a démarré son activité en 2018 grâce à des soutiens publics et privés provenant de partenaires français et allemands. Il amplifiera ses actions en fonction des ressources qu'il pourra mobiliser, et développera des collaborations, en particulier avec le GIEC et l'IAP – l'assemblée des Académies des sciences du monde entier.

<http://oce.global>  
[contact@oce.global](mailto:contact@oce.global)  
Sorbonne Université, Case 100  
Campus Pierre et Marie Curie  
4, place Jussieu

