



**HAL**  
open science

# Comprendre l'origine du réchauffement climatique - Comment construire le lien entre concentration en gaz à effet de serre dans l'atmosphère et température moyenne de la Terre ?

Valentin Maron, Jean-Louis Dufresne, Lionel Pélissier Pelissier, Alain Rabier

## ► To cite this version:

Valentin Maron, Jean-Louis Dufresne, Lionel Pélissier Pelissier, Alain Rabier. Comprendre l'origine du réchauffement climatique - Comment construire le lien entre concentration en gaz à effet de serre dans l'atmosphère et température moyenne de la Terre ?. 12èmes rencontres scientifiques de l'ARDiST, Nov 2022, Toulouse, France. hal-03881838v1

**HAL Id: hal-03881838**

**<https://hal.science/hal-03881838v1>**

Submitted on 2 Dec 2022 (v1), last revised 11 Mar 2024 (v3)

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Comprendre l'origine du réchauffement climatique

## Comment construire le lien entre concentration en gaz à effet de serre dans l'atmosphère et la température moyenne de la Terre ?

Maron, Valentin<sup>(1)(2)</sup>, Dufresne, Jean-Louis<sup>(3)</sup>, Pélissier, Lionel<sup>(1)(2)</sup>, Rabier, Alain<sup>(2)</sup>, Cochebin, Medhi<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>EFTS (Education, Formation, Travail, Savoirs), Université Toulouse Jean Jaurès – France

<sup>(2)</sup>INSPE Toulouse Occitanie-Pyrénées, Université Toulouse Jean Jaurès – France

<sup>(3)</sup>IPSL (Institut Pierre-Simon-Laplace), École normale supérieure - Paris, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, Institut National des Sciences de l'Univers, Ecole Polytechnique, Centre National d'Études Spatiales, Sorbonne Université, Centre National de la Recherche Scientifique, Université Paris Cité – France

*Symposium de rattachement* : L'éducation au développement durable dans le contexte du changement climatique. Études en didactique des sciences et des technologies.

### Résumé

Cette communication rend compte d'un travail conception d'une approche d'enseignement du réchauffement climatique adaptée aux nouveaux programmes de lycée général et professionnel. L'objectif visé est la construction du lien entre concentration en gaz à effet de serre dans l'atmosphère et la température moyenne de la Terre, en s'appuyant autant que possible sur des éléments empiriques explicites. Nous présentons dans un premier temps les approches d'enseignement existantes sur le sujet, qui sont ensuite mises en relation avec les idées et modes raisonnement connus des élèves, en particulier : la non évidence des interactions entre gaz et rayonnement pour les élèves, et la tendance au raisonnement séquentiel. Les choix didactiques structurant l'approche proposée sont alors exposés, ainsi que les prochaines étapes du travail.

### Mots-clés :

changement climatique ; enseignement scientifique ; approche d'enseignement ; conceptions sur les gaz ; expériences avec le  $CO_2$ ; ingénierie didactique

## Contexte

La place de la physique du climat a été fortement renforcée dans les nouveaux programmes du secondaire, en particulier dans le cadre de “l'Enseignement Scientifique” des classes de Première et Terminale générale, ainsi que dans le programme de physique du lycée professionnel. Ces ajouts étant récents, les ressources éducatives spécifiques à ces programmes sont peu nombreuses.

Cette communication rend compte des premiers résultats d'un travail collaboratif entre chercheurs en didactique de la physique et physiciens du climat, dans le but de concevoir une approche d'enseignement du réchauffement climatique qui soit adaptée aux nouveaux programmes de lycée général et professionnel. Le public visé étant non spécialiste de physique, l'approche développée pourra également être utile pour la vulgarisation scientifique.

L'approche présentée ici vise en particulier à construire le lien entre la concentration en gaz à effet de serre (GES) et la température globale de la Terre. Ce point nous semble particulièrement crucial, dans la mesure où l'origine du réchauffement climatique ne fait toujours pas l'unanimité dans l'opinion publique, malgré le consensus scientifique sur la responsabilité intégrale des activités humaines. Selon une enquête de décembre 2020<sup>1</sup>, en France, quasiment un tiers des répondants (32%) considèrent encore que “*les activités humaines ne sont pas les principales responsables du changement climatique*” (31% dans le monde, 50% aux Etats-Unis). La conviction partagée de l'origine humaine du réchauffement, par la large majorité de la population, nous semble un des leviers importants pour la généralisation et l'acceptation des initiatives visant son atténuation.

Face à cet enjeu, ce travail vise à construire une approche d'enseignement permettant de comprendre le lien physique entre GES et réchauffement, en s'appuyant sur des éléments empiriques explicites. Notre hypothèse est qu'une compréhension approfondie de ce lien peut servir de point d'appui à d'autres modalités de l'éducation au changement climatique.

## Les approches d'enseignement existantes de l'effet de serre

L'interaction entre certains gaz de l'atmosphère et le rayonnement est un phénomène bien compris des spécialistes du domaine et intégré dans les modèles de climat. Certains de ces spécialistes ont participé à la vulgarisation de ce phénomène, via des ressources destinées aux enseignants, dont notamment les deux suivantes (Dufresne, 2020; Thollot & Dequincey, 2021), parmi les plus récentes et les plus développées.

---

<sup>1</sup> <https://www.edf.fr/observatoire-international-climat-resultats/?fr/2020>

Un point commun de ces deux ressources est le fait de montrer que l'absorption du rayonnement dépend de la nature du matériau, et du type de rayonnement (par exemple : le verre est transparent au rayonnement visible mais opaque à l'infrarouge, et l'inverse pour un sac poubelle noir). Suite à ces expérimentations impliquant des solides, est amenée l'idée que cela est également valable pour les gaz. La référence empirique utilisée est le spectre d'absorption de différents gaz.

Pour un public non spécialiste de physique, ayant une faible maîtrise (voir nulle) de la notion de longueur d'onde, ces faits expérimentaux s'avèrent difficiles (voir impossibles) à utiliser comme référence. Une piste parfois choisie (Besson et al., 2010) consiste à comparer l'élévation de température d'une enceinte fermée remplie de dioxyde de carbone et une autre remplie d'air, pareillement exposées. Cette expérience n'est cependant pas pertinente, comme cela est clairement montré par exemple dans (Dufresne, 2020; Thollot & Dequinney, 2021). Il ne reste alors comme argument que l'analogie avec les expériences sur le rayonnement infrarouge absorbé ou non par du verre ou du plastique. D'un point de vue didactique, l'utilisation de cette analogie pose la question des motifs de son acceptation par les élèves, et de leurs idées a priori sur les propriétés des gaz.

## **Les idées a priori en jeu**

### ***A propos de l'interaction entre gaz et rayonnement***

Des recherches ont montré qu'au niveau de l'école primaire, l'idée que "l'air soit de la matière" n'est pas du tout une évidence pour les élèves. D'un point de vue physique, les gaz ne partagent pas toutes les propriétés des solides. Pourquoi partageraient-ils leurs propriétés concernant les interactions avec le rayonnement ? Du point de vue des élèves, dans quelle mesure l'extrapolation des solides au gaz est-elle intuitive ? Une enquête a été conçue afin d'avoir des éléments de réponse sur ce point, menée par des étudiants de master MEEF. A la question « Pensez-vous que les gaz peuvent émettre un rayonnement ? », la proportion des élèves répondant que cela est possible pour tous les gaz est seulement de 8% au collège (N=208), 11% au lycée (N=280) et 19% en classe préparatoire (N=21).

Face à ce constat, la question se pose de la manière d'introduire ce phénomène sans le donner à admettre. A notre connaissance, aucun article de recherche en didactique de la physique, aucun manuel de Terminale Enseignement Scientifique, ni aucun site proposant des ressources pédagogiques ou de vulgarisation sur le climat (Office for Climate Education, EduClimat, Bonpote...) n'apporte d'élément empirique convaincant et accessible concernant les capacités d'émission et d'absorption du rayonnement par certains gaz.

### ***A propos de l'effet de serre***

De nombreuses difficultés relatives à la compréhension de l'effet de serre ont été synthétisées dans (Shepardson et al., 2012). Parmi celles-ci figure notamment l'idée que les gaz à effet de serre constituent une sorte de "couche" ou de "couvercle" dans l'atmosphère, formant ainsi une "barrière" contre laquelle la chaleur de la Terre "rebondit" pour revenir vers la Terre, ou bien "piègent" l'énergie du Soleil.



Figure a : schéma extrait de la Fresque du climat

Cette idée de "piégeage" est régulièrement présente dans les textes de vulgarisation et les manuels d'enseignement, et est renforcée par les schémas proposés (comme par exemple celui de figure a). Cette notion implique implicitement une idée de chronologie, avec rayonnement qui part du sol, *puis* qui est empêché de sortir par l'atmosphère et qui revient *ensuite* vers la surface de la Terre. Ce raisonnement de type séquentiel est incompatible avec les schémas associés la plupart du temps, représentant des bilans instantanés, c'est à dire où les valeurs des puissances de rayonnements sont considérées au même moment, et où la température est constante (Colin & Tran Tat, 2011). Un autre aspect problématique, relevé à la fois chez les élèves et dans les ressources de vulgarisation, est la non distinction entre les différents types de rayonnement (solaire, infrarouge terrestre, infrarouge atmosphérique). Cette confusion participe à rendre possible l'idée de "rebond" ou de "piégeage" du rayonnement venant du sol.

## Problématique

Etant donné les différents problèmes d'enseignement et d'apprentissage présentés ci-dessous : comment construire le lien entre concentration en gaz à effet de serre dans l'atmosphère et température moyenne de la Terre, pour un public non spécialiste de physique ? Plus précisément, comment établir cette relation à partir d'éléments empiriques explicites, tout en prenant en compte les idées a priori sur le sujet ?

## Choix didactiques structurant la proposition :

Un premier résultat du collectif de recherche face à cette problématique a été le développement d'une proposition d'approche d'enseignement reposant sur 9 choix didactiques principaux, exposés synthétiquement ci-dessous.

1. Utilisation du concept de "puissance de rayonnement", avec comme référence empirique la luminosité d'une lampe (cf. figure 1).



Figure 1 : lampe halogène de puissance variable.

2. Construction de la notion de rayonnement infrarouge, en tant que rayonnement invisible émis *par exemple* par un métal à une certaine température. Mise en évidence expérimentale avec une caméra infrarouge (cf. figure 2).



Figure 2 : morceau de cuivre chauffé par un réchaud à gaz (à gauche), observé avec une caméra infrarouge (écran à droite), attribuant une couleur (arbitraire) à une valeur de puissance de rayonnement infrarouge.

3. Mise en évidence expérimentale de l'émission de rayonnement infrarouge par le dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) (cf. figure 3).



Figure 3 : ballons en latex préalablement placés dans une pièce chauffée à  $25^{\circ}C$ , avant d'être déplacés dans une pièce plus froide ( $10^{\circ}C$ ), et observés avec caméra infrarouge. A gauche : ballon rempli de  $CO_2$  pur. A droite, ballon rempli d'air. On constate que pour une même température, le  $CO_2$  émet davantage de rayonnement infrarouge.

- Mise en évidence expérimentale de l'absorption de rayonnement infrarouge par le  $CO_2$ , et de sa non absorption du rayonnement visible (cf. figure 4).

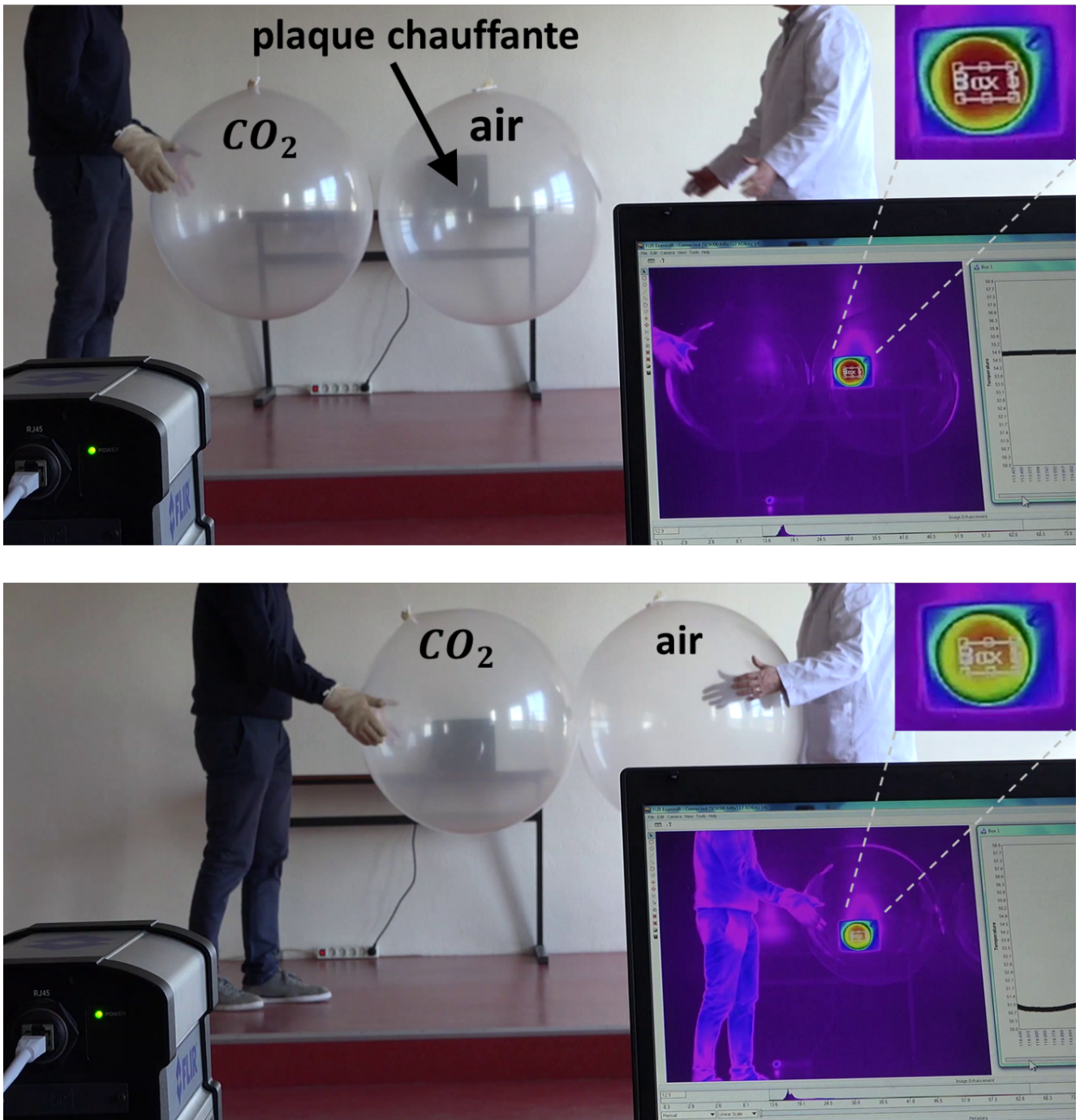


Figure 4 : ballons en latex, remplis de  $CO_2$  pur et d'air, placés successivement devant une plaque chauffante et observés avec une caméra infrarouge. On constate que lorsque le ballon de  $CO_2$  est devant la plaque, la puissance de rayonnement infrarouge mesurée par la caméra diminue. Le rayonnement visible traverse cependant de la même façon le ballon de  $CO_2$  et le ballon d'air.



5. Construction du formalisme des flèches pour symboliser la puissance de rayonnement émise par un système (cf. figure 5).

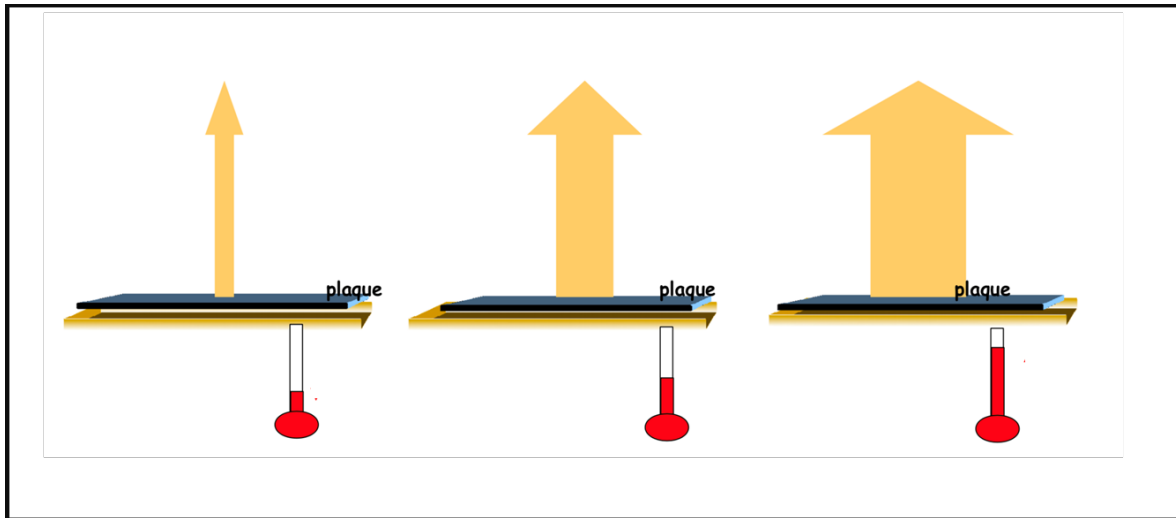


Figure 5 : plaques de métal à différentes températures. La flèche représentant le rayonnement infrarouge à un instant donné est d'autant plus large que la puissance de rayonnement est grande.

6. Construction du lien entre élévation / stabilisation de la température et les valeurs des puissances de rayonnement reçu et émis par un système (cf. figure 6).

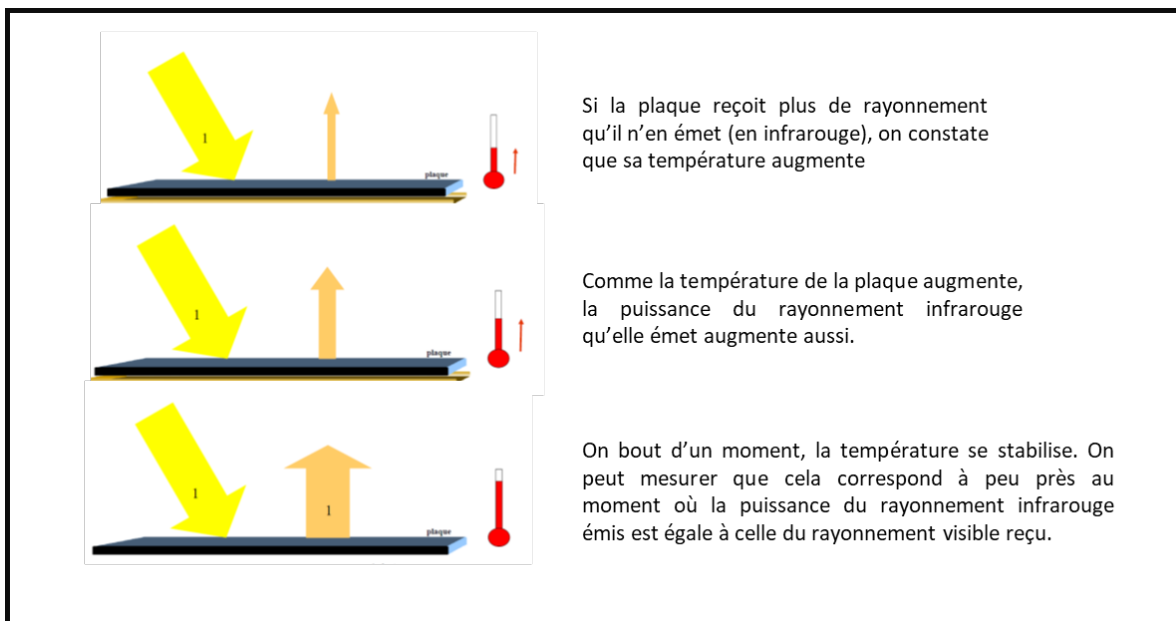


Figure 6 : considération de la température d'une plaque de métal (face inférieure isolée) éclairée par une lampe, relativement aux valeurs des puissances des rayonnements reçu et émis.

7. Construction progressive du bilan des rayonnements émis et reçus par le système Terre-Atmosphère, en considérant individuellement les différents rayonnements avant de les réunir sur un seul schéma (cf. figure 7).

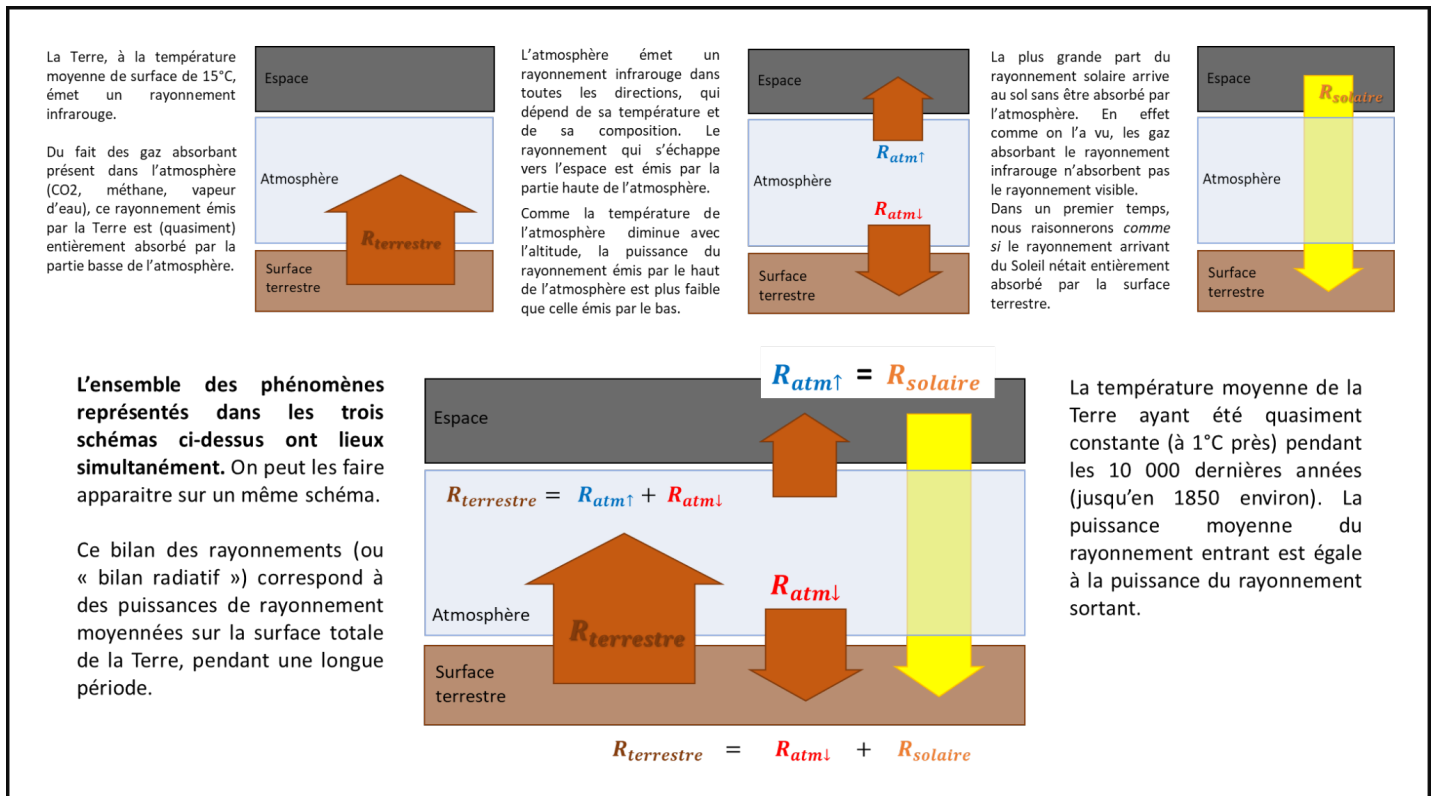


Figure 7 : construction du bilan des rayonnements émis et reçus par la Terre et l'atmosphère.

- Mise en relation entre l'augmentation des gaz à effet de serre, la diminution du rayonnement émis par l'atmosphère vers l'espace, et l'élévation de la température du système Terre-Atmosphère (cf. figure 8), en s'appuyant sur le point 6 ci-dessus.

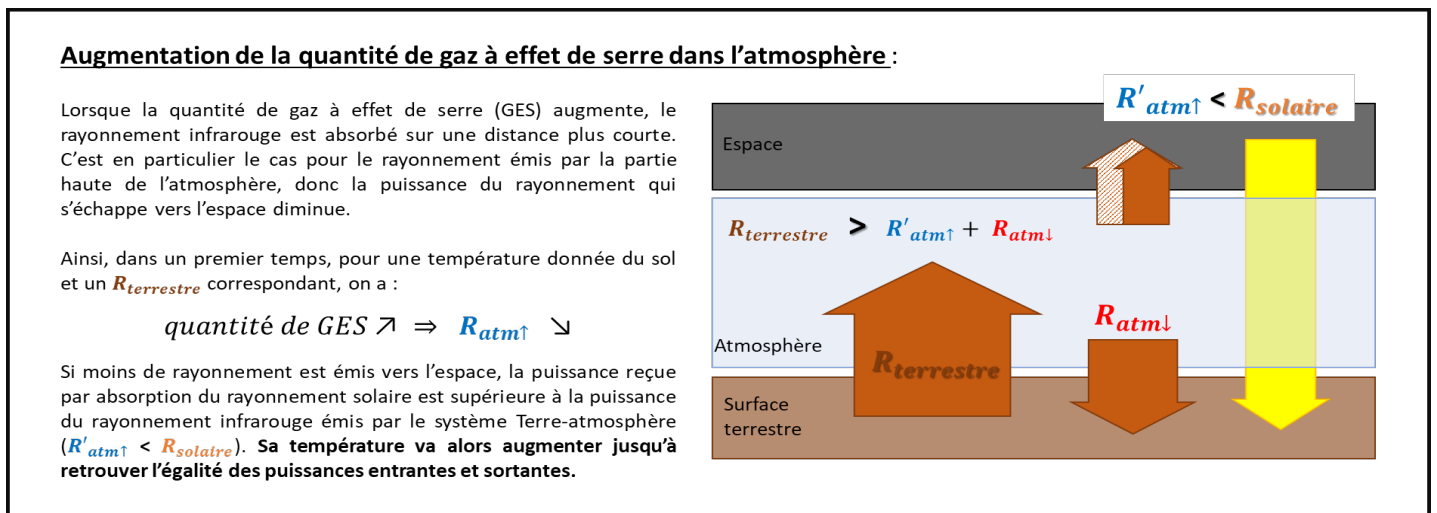


Figure 8 : bilan des rayonnements lorsqu'on augmente la quantité de gaz à effet de serre.

- (Optionnel) Considération de ce qui se passe à l'intérieur du système Terre-Atmosphère : « la boucle de rétroaction » de l'augmentation de la température et la raison de sa stabilisation (cf. figure 9).

### De quelle manière les températures de l'atmosphère et de la surface terrestre augmentent ?

quantité de GES  $\nearrow$   $\Rightarrow$   $R_{atm\uparrow}$   $\searrow$

$\Rightarrow R_{terrestre} > R_{atm\uparrow} + R_{atm\downarrow}$

$\Rightarrow T_{atmosphère} \nearrow$

$\Rightarrow R_{atm\downarrow} \nearrow$

$\Rightarrow R_{atm\downarrow} + R_{solaire} > R_{terrestre}$

$\Rightarrow T_{Terre} \nearrow$

$\Rightarrow R_{terrestre} \nearrow$

$\Rightarrow T_{atmosphère} \nearrow$

$\Rightarrow R_{atm\downarrow}$  &  $R_{atm\uparrow} \nearrow$

$\Rightarrow R_{terrestre} \nearrow$

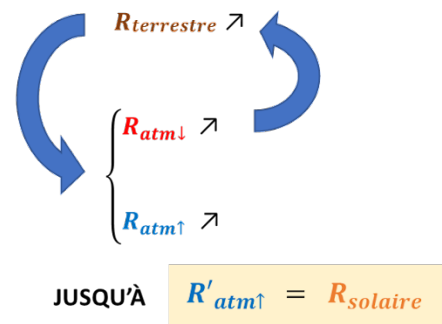
$\Rightarrow R_{atm\downarrow}$  &  $R_{atm\uparrow} \nearrow$

$\Rightarrow R_{terrestre} \nearrow$

$\Rightarrow \dots$

Selon cet enchainement, la température semble pouvoir augmenter à l'infini. Cette amplification (« boucle de rétroaction ») a cependant bien une fin. En effet le rayonnement émis par l'atmosphère vers l'espace augmente jusqu'à ce que l'on retrouve l'égalité des puissances entrantes et sortantes.

**En conclusion, si la quantité en GES dans l'atmosphère se stabilise (arrêt des émissions), les températures de la Terre et de l'atmosphère finissent donc par se stabiliser.**



$T'_{atmosphère} > T_{atmosphère}$

$T'_{Terre} > T_{Terre}$

Figure 9 : la boucle de rétroaction suite à l'augmentation de la quantité de gaz à effet de serre.

### Prochaines étapes

A partir des différents choix didactiques présentés précédemment, plusieurs séquences d'enseignement sont en cours de développement pour la classe de terminale, en lycée professionnel en général. De même que la conception, l'expérimentation de ces séquences d'enseignements s'inscrit dans les grandes lignes méthodologiques de l'ingénierie didactique (Artigue, 1988). L'ensemble des données recueillies permettra de retravailler à la fois les choix didactiques et les manières dont ils sont mis en œuvre dans les différentes séquences, dans une démarche itérative.

### Bibliographie

- Artigue, M. (1988). Ingénierie didactique. In *Didactique des mathématiques* (p. 243). Delachaux & Niestle.
- Besson, U., De Ambrosis, A., & Mascheretti, P. (2010). Studying the physical basis of global warming : Thermal effects of the interaction between radiation and matter and greenhouse effect. *European Journal of Physics*, 31(2), 375.
- Colin, P., & Tran Tat, N. (2011). Difficile compréhension de l'effet de serre : Comment concevoir un parcours d'enseignement-apprentissage au lycée ? *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 4, 109-138.
- Dufresne, J.-L. (2020). *Principes de base de l'effet de serre*. CultureSciences Physique. <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/Effet-serre-Dufresne.xml>
- Shepardson, D. P., Niyogi, D., Roychoudhury, A., & Hirsch, A. (2012). Conceptualizing climate change in the context of a climate system : Implications for climate and

environmental education. *Environmental Education Research*, 18(3), 323-352.

Thollot, P., & Dequinsey, O. (2021). *Rayonnement, opacité et effet de serre*.  
CultureSciences Physique. <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/rayonnement-modele-effet-de-serre.xml>