

Enseignement et vulgarisation scientifique : une frontière en cours d'effacement ?
Une étude de cas autour de l'effet de serre.

Résumé

Cet article vise à apporter quelques éléments relatifs à la délimitation des champs de l'enseignement, de la vulgarisation scientifique et de la recherche en didactique. Cette étude porte sur le thème de l'effet de serre au travers des ressources disponibles en ligne et de manuels scolaires, en accordant une attention particulière aux images présentées. Une typologie des images a été construite à partir des difficultés déjà repérées chez les élèves. La mise en œuvre très fréquente d'un raisonnement de type séquentiel par les élèves ne leur permet que très difficilement d'allier évolution d'un phénomène, ici une hausse de température, et instantanéité des bilans, ici énergétiques. Nos résultats soulignent pour les deux types de documents une grande largeur du spectre des présentations, une forte présence des « explications-écho » ainsi que diverses stratégies de « contournement » des difficultés.

Mots-clefs : effet de serre, manuel scolaire, vulgarisation scientifique, image, raisonnement séquentiel, bilan énergétique.

Abstract

This article aims to provide some elements relating to the boundaries of education, scientific popularization and research in didactics. This study focuses on greenhouse effect through the resources available on the internet and in textbooks. The students' difficulties relating to the understanding of greenhouse effect already identified permits the building of an images' typology. In particular, "sequential reasoning" is a very resistant obstacle to combine the evolution of physical quantities during a transitory phase, i.e. an increase of temperature, and the instantaneity of the energy budgets. For both types of documents, our results highlight a wide spectrum of presentations, a strong presence of "echo explanations" and various strategies to bypass the foregoing difficulties.

Keywords : greenhouse effect, textbook, scientific popularization, image, sequential reasoning, energy budget.

L'interface entre vulgarisation et enseignement a été depuis longtemps questionné, du « mythe du 3ème homme » de Roqueplo (1974) qui s'interrogeait sur la prétention à transmettre une « idée » d'un savoir sans transmettre se savoir lui-même, au questionnement de Jacobi (2001) sur les places respectives des éducations formelle et non formelle. Vulgarisation et enseignement peuvent se voir opposés (Martineau, 1990) ou alliés en espérant une fertilisation mutuelle (Wellington, 1991).

Or en parallèle, les programmes d'enseignement et la formation des enseignant-e-s ont peu à peu pris en compte, depuis les années 80, les résultats de la recherche en didactique des sciences. Cet article s'insère dans ce contexte d'une réflexion sur l'articulation entre vulgarisation scientifique, enseignement – formation des enseignant-e-s et recherches en didactique. Les frontières des discours sont certes souvent difficiles à définir s'agissant plutôt d'un continuum (Jacobi et Schiele, 1988), mais nous avons tenté de repérer à la fois similarités et différences, en focalisant notre analyse sur les documents iconiques, en particulier, pour ce qui concerne cette étude, des extraits de manuels scolaires publiés dans les années 2000 et de ressources en ligne. Quelle didactisation reflètent-ils ? En quoi peuvent-ils

être source d'erreurs ou d'obstacles ? Comment la recherche didactique peut-elle apporter des éléments pour intégrer ces questions à la formation des enseignant-e-s ?

Pour ce faire, la thématique qui a été choisie est celle de l'effet de serre. En effet, il s'agit d'un thème fortement médiatisé du fait de l'omniprésence du réchauffement climatique dans l'actualité. Il existe par conséquent de nombreuses ressources sur le sujet, notamment sur Internet, support de plus en plus utilisé par la communauté éducative. Ensuite, ce thème est présent depuis 1995 dans les programmes de Sciences de la Vie et de la Terre (en 1ère jusqu'en 2000 puis en 2nde) ; son introduction dans les programmes d'enseignement (réforme 2000) a fait l'objet de débats en particulier parce que le réchauffement climatique est une Question Socialement Vive (QSV) (pour un état des lieux voir Cavet 2007) dont la transposition didactique pose problème (Urgelli, 2009)¹. Enfin, il s'agit d'un choix de didacticien : le phénomène de l'effet de serre est emblématique d'un raisonnement commun, le raisonnement séquentiel, mis en évidence par la recherche en didactique (Rozier et Viennot, 1991).

Nous présentons dans une première partie la genèse de notre recherche ainsi que la méthodologie mise en œuvre qui s'appuie sur une typologie des documents construite à partir des difficultés repérées chez les élèves. A l'aide de cet outil d'analyse, nous mettons en évidence au travers des documents analysés la forte présence d'un discours commun entre vulgarisation et enseignement. Nous présentons dans une troisième partie des tentatives de prise en compte des difficultés que nous discutons. Enfin nous terminons par un document issu de la vulgarisation « grand public » témoignant de fortes traces de didacticité.

1. Présentation de la recherche

1.1. Genèse : une série de recherches sur l'enseignement de l'effet de serre

La recherche que nous présentons dans cet article s'inscrit dans une série de trois études menées sur l'enseignement de l'effet de serre dans l'enseignement secondaire. Nous ne rappelons ici que les deux premières, la troisième, portant sur le recueil de points de vue d'enseignant-e-s sur la construction d'une séquence d'enseignement-apprentissage sur l'effet de serre, étant actuellement en cours.

En 2009, Tran Tat, dans le cadre d'un mémoire de recherche que nous avons dirigé (Tran Tat 2009), se fixe pour objectif de définir les lignes directrices d'un parcours d'enseignement-apprentissage de l'effet de serre en seconde et première S. La construction de ce parcours repose sur une prise en compte imbriquée d'une analyse de contenu de la physique mise en jeu et des difficultés des élèves (Kattmann et al. 1995). A cette fin a été élaboré un protocole d'entretien s'appuyant notamment sur des schématisations issues de la vulgarisation, aspect venant apporter un élément de réponse sur les liens possibles entre vulgarisation et enseignement (voir également à ce sujet Feller 2008). Les résultats de cette étude portent sur trois aspects. Tout d'abord la confirmation de la forte prégnance du raisonnement séquentiel : en témoigne la difficulté pour les élèves interrogés (élèves d'une classe de 1ère S) à allier évolution d'un phénomène (ici, montée en température lors d'un régime transitoire) et élaboration de bilans ; en particulier, l'atteinte d'une température d'équilibre n'est pas évoquée spontanément et sa mise en relation avec un bilan équilibré s'est avérée très ardue. Ensuite, un renforcement des difficultés des élèves relativement à la compréhension de l'effet

¹ Il faut noter que nous ne prenons pas ici position relativement à l'origine anthropogénique du réchauffement climatique mais que nous nous interrogeons sur la présentation du modèle « classique » basé sur le forçage radiatif, modèle retenu en particulier par l'institution scolaire. A ce sujet, voir Urgelli (2009) p. 32 (voir également pour un traitement plus polémique du sujet <http://www.pensee-unique.fr/effetdeserre.html>).

de serre suite à la lecture de schémas que nous appelons « récit graphique » présentant une « explication-écho » (Viennot, 2007) en résonance avec leur raisonnement. Enfin la difficulté, voire la quasi-impossibilité, de déchiffrer, sans un fort étayage, un bilan énergétique à partir d'un schéma.

Ces résultats venant questionner l'enseignement dispensé et les supports utilisés, nous avons dirigé une deuxième étude (Martinez, 2010) sur la transposition opérée dans des manuels scolaires de 2^{de} SVT. Les manuels en effet peuvent constituer un « reflet » des pratiques enseignantes. Les résultats soulignent d'une part la diversité des approches suivant les auteurs et les éditions et d'autre part des présentations qui le plus souvent ne prennent pas en compte, voire renforcent, les difficultés repérées chez les élèves, en particulier au travers des schématisations utilisées.

En parallèle à ces travaux, nous avons approfondi l'investigation sur la présentation du phénomène de l'effet de serre médiée par des représentations iconiques dans la vulgarisation scientifique, plus particulièrement à partir de ressources facilement accessibles en ligne. Nous nous sommes demandé si ces présentations avaient ou non des caractéristiques communes avec celles identifiées dans des manuels scolaires, apportant un éclairage particulier sur l'interface entre vulgarisation et enseignement.

Avant de présenter nos principaux résultats, nous précisons la méthodologie mise en œuvre.

1.2. Constitution du corpus

Nous disposions d'un corpus d'extraits de manuels constitué dans la recherche précédemment évoquée (Martinez, 2010). Nous y avons ajouté quelques documents, au fur et à mesure de l'avancée de la recherche, en fonction de leur proximité avec des ressources trouvées en ligne. Nous avons par ailleurs choisi de parcourir les ressources disponibles en ligne en nous centrant sur les images présentées (image fixe ou animation), en tant que sources de difficultés potentielles (voir également Colin et al. 2002), mais aussi en tant que point d'ancrage éventuel des stratégies de recherche mises en œuvre par les élèves, et plus généralement par le « grand public » (Boubée, 2007).

Le second corpus a donc été constitué de ressources en ligne identifiées à partir d'une recherche sur Internet, en utilisant le moteur de recherche Google, choisi parce qu'il est le moteur actuellement le plus utilisé par les jeunes Français. La requête a été effectuée à partir de l'expression « effet de serre », d'une part sur l'onglet « Web », d'autre part sur l'onglet « Images ». Notre collecte s'est limitée aux 10 premières pages obtenues à partir du premier, et aux 25 premières pages du second, qui présentent un total de 625 images, car, après une première lecture de ces pages et de celles qui suivaient, nous avons estimé qu'au-delà les informations étaient redondantes et que les catégories prédéfinies avaient toutes été rencontrées.

1.3. Outil d'analyse : une typologie basée sur l'analyse des difficultés des élèves

Nous avons mené dans un premier temps une analyse des contenus physiques éclairée par les recherches en didactique sur un type de raisonnement, le raisonnement séquentiel (Viennot 2007), très fréquemment rencontré chez les élèves et le « grand public ». Par souci de concision, nous ne présentons pas cette analyse dans cet article, mais nous rappelons les principales caractéristiques du raisonnement séquentiel avant d'illustrer, à partir de deux exemples, les difficultés que ce raisonnement peut occasionner lors de la lecture de documents présentant l'effet de serre.

1.3.1. Le raisonnement séquentiel

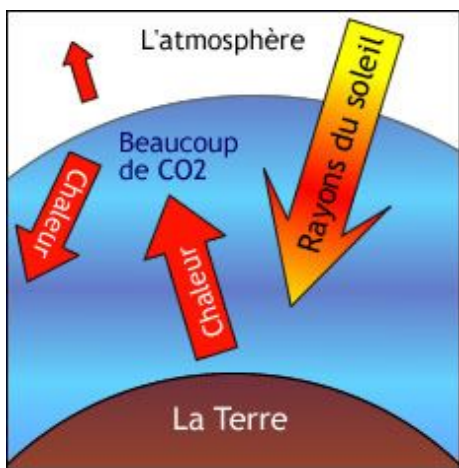
Ce raisonnement, qualifié également de linéaire causal (Viennot 1993), repose sur l'« histoire d'un capital », ici énergétique, histoire définie comme une succession de phénomènes simples spécifiés chacun à l'aide d'une seule variable. Chaque phénomène affecte ce capital en des lieux et à des instants différents. Cette séquentialisation temporelle conduit au caractère local du raisonnement et se révèle un « obstacle à une différenciation entre système physique et milieu extérieur associé, et semble donc interdire toute analyse en termes de bilan énergétique » (Rozier, 1988)². Outre le fait de venir à l'encontre du caractère instantané d'un bilan et par conséquent du caractère simultané des échanges, cette chronologie des événements peut venir masquer le caractère permanent du phénomène, à savoir ici la constance des températures lorsque les différents bilans sont équilibrés.

1.3.2. Illustration des difficultés des élèves

Les deux exemples choisis sont extraits d'entretiens (Tran Tat 2009) menés avec des élèves de 1ère S où il leur était demandé de commenter deux schémas illustrant le phénomène de l'effet de serre, issus l'un d'un site de vulgarisation scientifique à destination de la jeunesse (<http://www.lourspolaire.com/effetdeserre.php>), l'autre d'un site à destination des enseignants de SVT pour compléter leur information (<http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/>)³.

- Un exemple d'« explication – écho » à partir d'un « récit graphique »

Le schéma et le texte associé de l'*Encadré 1* pourraient très bien être ceux d'un élève pour expliquer effet de serre et réchauffement climatique : confusion entre « chaleur » et rayonnement⁴, absorption-émission infrarouge remplacée par un « rebond de la chaleur », « chaleur » retenue dans l'atmosphère sans envisager d'équilibre thermique.



Les rayons du soleil arrivent sur la Terre et nous donnent la chaleur et la lumière.
La chaleur rebondit sur la surface de notre planète et est renvoyée vers l'espace. Les gaz présents dans l'atmosphère retiennent une partie de la chaleur qui est renvoyée vers la Terre.
Quand il y a plus de CO₂, la chaleur n'arrive plus à s'échapper vers l'espace. Le CO₂ agit comme les vitres d'une serre. C'est ce qu'on appelle l'effet de serre.

Encadré 1 : Un exemple d'illustration médiatique du réchauffement climatique

² Signalons que, même pour de futurs enseignants ayant suivi une formation universitaire conséquente sur l'effet de serre, aucun d'entre eux n'indique, en réponse à une question où il leur est demandé d'en donner une explication, que température sur Terre et bilan des échanges énergétiques sont étroitement associés (Ekborg & Areskoug, 2006).

³ Ce site a été mis en place lors de la réforme des programmes 2000.

⁴ Il est bien indiqué dans le document d'accompagnement des programmes 2000 (Groupe d'Experts de Physique-Chimie, 2002, p32) que « le transfert thermique est différencié du rayonnement (électromagnétique) ». La précision « transfert par rayonnement » serait sans doute utile pour souligner que le rayonnement n'est que le vecteur du transfert énergétique. Ce mode de transfert peut s'opérer dans le vide alors que les transferts thermiques par conduction ou convection nécessitent la présence d'un milieu matériel.

Voici à titre d'illustration, un raisonnement d'élève à propos de ce schéma aboutissant à l'explication suivante du réchauffement climatique : *Il y a plus de chaleur conservée dans la couche avec beaucoup de CO2 qu'à l'extérieur parce qu'on voit que le rayon, enfin la chaleur réfractée par la Terre, elle est divisée en deux flèches et on voit que celle qui est partie dans l'atmosphère (en fait dans l'espace), elle est plus petite.* Ce bilan « local » effectué à la limite de l'atmosphère ne prend en compte ni le flux énergétique entrant du rayonnement solaire, ni le rayonnement infrarouge (ici la « chaleur ») émis par le sol terrestre. Ce schéma, que l'on pourrait qualifier de « récit graphique », n'opère donc aucune déstabilisation de l'élève et le raisonnement séquentiel mis en œuvre se trouve renforcé chez l'élève du fait de son caractère opératoire.

Nous allons à présent illustrer les réactions d'élèves lorsqu'une schématisation vient contrecarrer leur raisonnement.

- La prégnance du raisonnement séquentiel : séquentialisation d'un bilan

Voici le discours d'un élève (Tran Tat 2009) accompagnant la lecture du schéma présenté *Figure 1* : *Là, il y a les rayons du Soleil qui arrivent, donc la chaleur dégagée par ces rayons, c'est la grosse flèche et les deux petites flèches (...) soit les rayons, euh la chaleur est lâchée en dehors de cette couche, soit elle est répercutée encore sur la planète.*

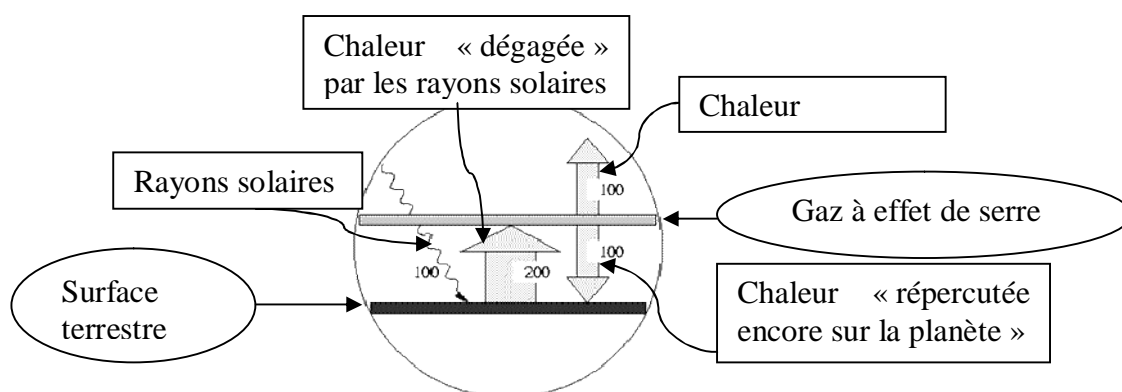


Figure 1 : Une séquentialisation d'un bilan énergétique⁵

La lecture du schéma suivant l'ordre spatial des différents trajets, tels les épisodes d'une histoire, conduit cet élève à attribuer la « chaleur » issue de la surface terrestre uniquement aux rayons solaires incidents ; cette interprétation du schéma en termes de « récit graphique » mène donc l'élève à une impasse lorsque ce dernier prend en compte les indications chiffrées : *Je ne comprends pas pourquoi des UV⁶ 100, on est passé directement à 200.* Ce commentaire illustre toute la difficulté liée à la lecture de ce type de schéma : d'une part, ce schéma figure une opération instantanée, à savoir l'élaboration d'un bilan énergétique où tous les échanges sont à considérer de manière simultanée et, d'autre part, il donne des repères, ici les flèches, conduisant à une organisation spatiale favorisant une lecture de type chronologique. La difficulté réside par conséquent à parvenir à découpler évolution du phénomène, ici une hausse de température, et atteinte d'une température d'équilibre, soit à distinguer régime transitoire et régime permanent.

⁵ Des éléments du commentaire de l'élève ont été ajoutés sur le schéma pour faciliter la compréhension du raisonnement.

⁶ UV pour ultraviolet. Notons ici que l'élève confond rayonnement solaire et rayonnement ultraviolet, conséquence, peut-être, d'un centrage sur le problème de la couche d'ozone.

C'est ce type d'analyse qui nous ont conduit à souligner les points que nous estimons très sensibles pour la compréhension du phénomène de l'effet de serre : un pointage fort sur le phénomène d'absorption – émission infrarouge, une distinction nette entre régimes transitoire et permanent en soulignant l'évolution conjointe des températures et des flux énergétiques, et enfin l'élaboration de bilans énergétiques cohérents pour chacun des systèmes impliqués.

1.3.3. Construction d'une typologie

C'est à partir de cette prise en compte imbriquée des difficultés liées à la compréhension du phénomène et de l'analyse de la physique mise en jeu que nous avons construit une typologie des images et textes associés.

Nos indicateurs sont donc très liés à la physique du phénomène et les aspects purement sémiotiques ont été placés au second plan. Toutefois, un élément sémiotique a retenu notre attention : les flèches dans les schémas⁷. Comme nous l'avons déjà souligné, celles-ci peuvent servir de fil conducteur lors de la lecture des images et favoriser ainsi une analyse de type séquentiel non propice à la compréhension du caractère instantané d'un bilan énergétique et de celui simultané des échanges. Si un découplage entre « explication » du phénomène et présentation de bilans n'est pas opéré, le mode de fléchage retenu sur un seul et même schéma peut très difficilement concilier la reconnaissance d'une grandeur physique commune, ici le flux énergétique, et la distinction des différents types de rayonnement. Ou encore concernant le rayonnement, la continuité du fléchage lors de la traversée d'un milieu peut difficilement laisser penser qu'un phénomène, tel une absorption-émission, est intervenu sur le rayonnement entrant. La valeur des différentes variables sémiotiques relatives au fléchage (forme, couleur, taille, disposition) a donc été l'objet d'une attention particulière.

Nous avons identifié trois types de documents, type « bilan », type « séquentiel » (SQ) et type « mixte » (MX) dont nous allons présenter les caractéristiques. Pour chaque type, nous ne présentons que les catégories que nous allons par la suite illustrer.

- Documents de type « bilan »

Il s'agit de documents portant uniquement sur la description de bilans énergétiques. Ces documents présentent, relativement à notre recherche, un intérêt restreint car ils ne permettent pas à eux-seuls d'aborder une compréhension du phénomène (voir *Figure 1*).

- Documents de type « séquentiel » (SQ) (voir *Tableau 1*)

Les documents de type « séquentiel » se limitent à présenter une « explication » du phénomène. Aucun indice relatif à la construction de bilans n'est fourni, tout au moins de manière explicite. Nous avons distingué trois catégories avec des recouvrements possibles. Les deux premières (SQ1) et (SQ2) ont été distinguées suivant leur niveau de formulation concernant les différents rayonnements et phénomènes associés (réflexion, diffusion, absorption, émission). La troisième (SQ3) se caractérise par le caractère séquentiel très marqué de l'« explication ». Ces documents qui soulignent l'échauffement des systèmes, s'accompagnent souvent, de façon paradoxale, d'une indication de températures moyennes atteintes.

Catégorie	Description	Schéma type
-----------	-------------	-------------

⁷ Nous retrouvons ici des difficultés déjà repérées dans des travaux menés dans le domaine de l'optique (Colin et al., 2002).

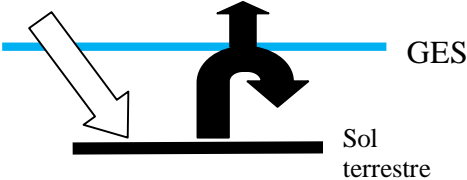
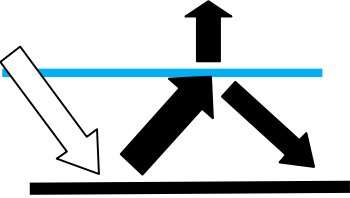
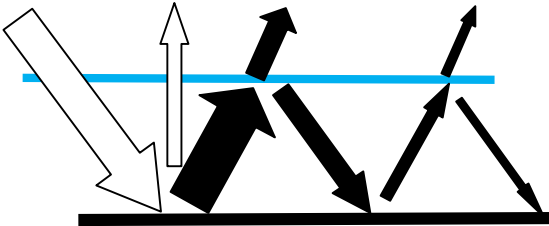
<p>SQ1</p>	<p>Pas de mention de l'absorption – émission infrarouges « Rebond », « renvoi de la chaleur » par les gaz à effet de serre (GES) Augmentation de T signalée sans lien avec l'atteinte d'une température d'équilibre</p>	 <p>GES Sol terrestre</p>
<p>SQ2</p>	<p>Mention de l'absorption – émission infrarouges Augmentation de T signalée sans lien avec l'atteinte d'une température d'équilibre</p>	
<p>SQ3</p>	<p>Mention de l'absorption – émission infrarouges Augmentation de T signalée sans lien avec l'atteinte d'une température d'équilibre Plusieurs étapes clairement annoncées</p>	

Tableau 1 : Documents de type séquentiel (SQ)
(flèche blanche : rayonnement solaire ; flèche noire : rayonnement infrarouge)

- Documents de type « mixte » (MX)

Ces documents tentent d'allier de manière plus ou moins fine « explication » du phénomène et élaboration de bilans. La première catégorie (MX1) s'inscrit dans le prolongement de la catégorie SQ3 avec une explicitation des bilans relatifs aux systèmes Terre et espace, souvent accompagnée d'un « bilan » sur le rayonnement solaire entrant⁸. Les documents de la catégorie (MX2) opèrent une coupure selon le type de rayonnement, solaire ou infrarouge, et présentent des « bilans » pour chaque type ne permettant pas d'aboutir à une construction des bilans des systèmes. Les documents de la catégorie (MX3) spécifique aux animations proposent un découpage qui, s'il aboutit à un bilan correct pour chacun des systèmes, contraint à des anticipations difficilement compréhensibles sans une vision globale. Les documents de la catégorie (MX4) sont intéressants car ils proposent une séquentialisation des bilans concernant la surface terrestre et les GES. Cette séquentialisation propose la chronologie suivante : les GES s'échauffe lorsqu'ils reçoivent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre qui pendant cette phase est supposée à l'équilibre thermique ; puis quand les GES atteignent leur température d'équilibre « transitoire », les rôles s'inversent. La question se porte ici sur le choix didactique opéré : s'agit-il d'un compromis acceptable entre une didactisation facilitée et le maintien d'une certaine cohérence ?

Catégorie	Description	Schéma type
MX1	Même schéma que S3 mais avec une explicitation du bilan pour les systèmes Terre et espace	
MX2	Pseudo-bilan opéré sur le rayonnement solaire (flux entrant) ou / et le rayonnement IR émis par la surface terrestre	
MX3	Spécifique aux animations Une forme de séquentialisation : tout d'abord, « bilan » sur flux solaire entrant puis sur atmosphère (GES) avec renvoi aux étapes suivantes avec la surface terrestre pour aboutir à	

⁸ Notons qu'il ne s'agit pas d'un réel bilan appliqué à un système. Un autre terme serait sans doute préférable pour éviter toute confusion.

	un bilan complet	
MX4	Séquentialisation « didactique » des bilans : évolution des températures et flux énergétiques = suite d'épisodes où alternativement le sol et les GES sont considérés comme étant dans un état correspondant à un « équilibre thermique » transitoire	

Tableau 2 : Documents de type « mixte » (MX)

L'analyse des documents a été effectuée à l'aide de cette typologie. Certes, elle repose sur un certain nombre d'hypothèses concernant les choix des concepteurs des ressources, plus particulièrement des manuels scolaires, et, par conséquent, notre interprétation de ces choix laisse inévitablement part à une certaine subjectivité. Cependant nous tenons à préciser que nous avons tenté, dans la mesure du possible, de recontextualiser chaque document lors de leur analyse. La validation de l'outil s'est effectuée dans un processus itératif, qui nous a conduit à vérifier la pertinence de chaque catégorie, et à affiner la catégorisation ; nous avons par exemple ajouté la catégorie MX3 plus spécifique aux animations, à laquelle nous n'avions pas songé initialement.

1.4. Du répertoire à la comparaison

Une première phase a consisté à répertorier les documents, quelle que soit leur origine, et à les catégoriser au moyen de la typologie décrite ci-dessus.

Dans une seconde phase, nous avons observé dans chaque catégorie la part prise par les documents en considérant leur origine, manuels scolaires ou ressources en ligne, et en croisant type et origine des documents. Les résultats présentés ci-dessous sont issus de cette double analyse.

Nous avons choisi quelques exemples typés permettant d'une part d'illustrer la pertinence de la typologie et d'autre part de mettre en évidence quelques résultats saillants.

2. Un discours majoritaire commun

Nous avons constaté l'existence d'un discours majoritairement présent à la fois dans la vulgarisation et dans les manuels analysés. Ce discours délivre un même message du type « explication – écho » s'appuyant sur des images que nous avons qualifiées de « récit graphique » appartenant aux différentes catégories du type séquentiel SQ (voir *Tableau 1*).⁹ Nous illustrons ce résultat à partir de cinq documents iconographiques en commentant les choix retenus par les auteurs.

⁹ Pour chaque document, nous insérons entre parenthèses la catégorie à laquelle il appartient.

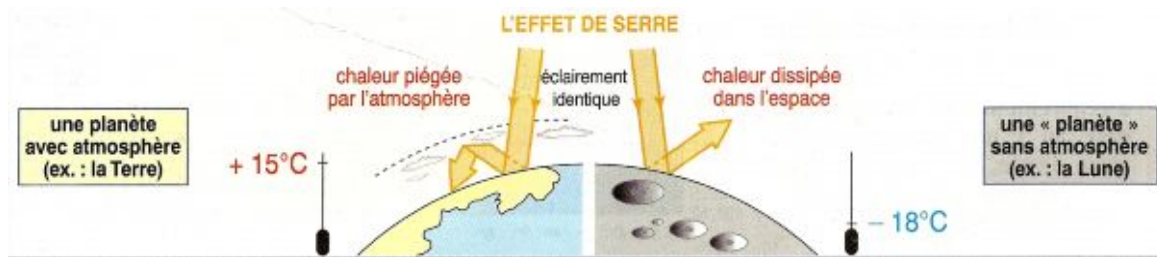


Figure 2 : Un schéma emblématique (SQ1)

Le schéma de la Figure 2 figure en synthèse du chapitre intitulé *La Terre reçoit de l'énergie du Soleil* dans un manuel (Bordas 2000 p 51) ; y sont regroupées nombre de difficultés, en particulier un complet déséquilibre énergétique pour l'effet de serre alors que la constance de la température est clairement indiquée. Il ne s'agit pas ici d'une mise en cause des auteurs car dans ce même chapitre figurent des mises en relation entre équilibre thermique et bilans énergétiques. Ce qui nous semble important de souligner, ce sont les choix didactiques retenus concernant la hiérarchisation des fondamentaux à retenir¹⁰.

Dans l'édition suivante (Bordas 2004 p 43, voir Figure 3), la schématisation présentée en synthèse a changé : le changement de couleur des flèches souligne le changement de nature des grandeurs physiques et la continuité des tracés au niveau du sol a été abandonnée ; mais la continuité du fléchage de la « chaleur » risque d'évoquer soit son passage direct dans l'espace soit son « piégeage » en lieu et place des phénomènes d'émission et d'absorption du rayonnement infrarouge. Les variables sémiotiques utilisées, taille et couleur des flèches, ne viennent pas faciliter la construction de bilans énergétiques.

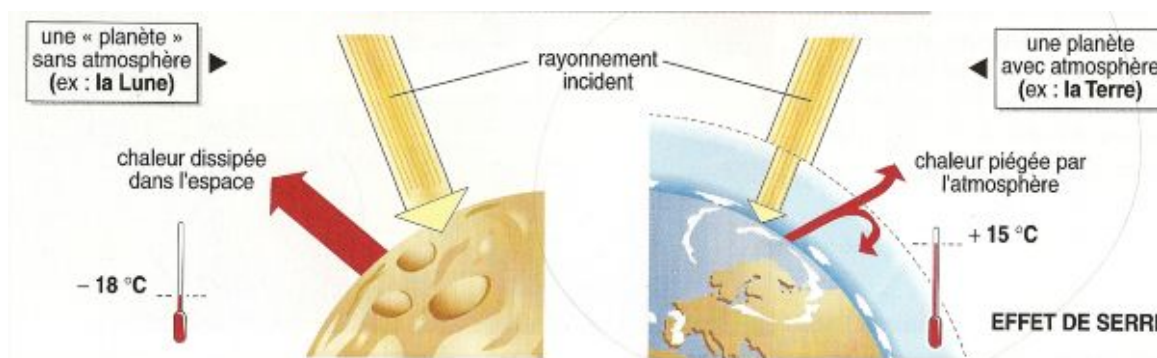


Figure 3 : Une distinction entre grandeurs physiques (SQ1)

Le schéma de la Figure 4 est à comparer avec celui présenté quelques pages plus tôt dans le manuel (Bordas 2004 p 38) (voir Figure 3). Les légendes indiquent bien que les flèches représentent des rayonnements infrarouges émis et « piégé ». Ce sont donc les choix didactiques que nous questionnons d'autant que le texte qui accompagne le schéma de la Figure 4 parle de *l'émission effective de chaleur en direction de l'espace* et n'évoque à aucun moment le phénomène d'absorption infrarouge.¹¹

¹⁰ Le principe de la conservation de l'énergie, l'un des principes fondateurs de la physique, abordé en 1^{ère} S, se trouve placé au second plan.

¹¹ A noter que les élèves interrogés par Tran Tat (2009) n'ont à aucun moment, lors des entretiens, fait mention du phénomène d'émission – absorption infrarouge lorsqu'une explication de l'effet de serre leur est demandée.



Un piégeage atmosphérique du rayonnement infrarouge

Figure 4 : Un rayonnement IR « piégé » (SQ2)

L'exemple de la *Figure 5* qui se retrouve sur de nombreux sites officiels dont celui de l'Assemblée Nationale, est issu d'un site gouvernemental (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/>). Il appartient la catégorie (SQ2) : les phénomènes d'absorption et d'émission infrarouges sont correctement introduits mais le scénario présenté ne laisse pas augurer de fin à la hausse des températures annoncée.

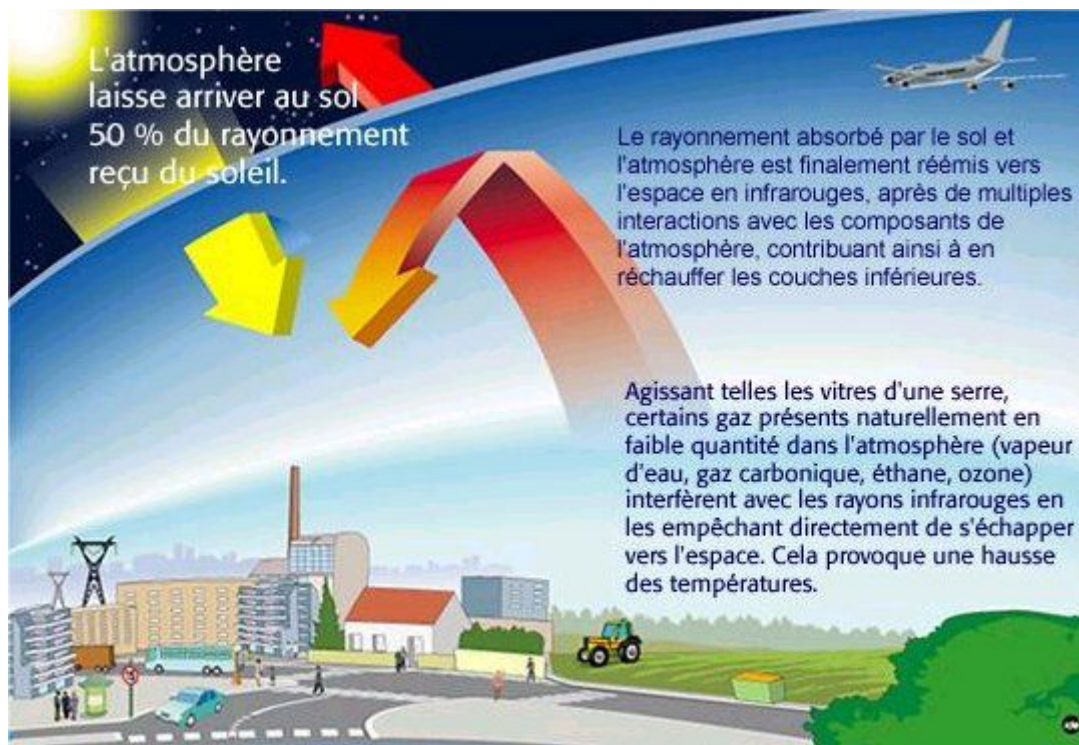


Figure 5 : Le discours « officiel » (SQ2)

Le document de la *Figure 6* extraite d'un manuel scolaire (Belin 2004 p 38) a été notamment retrouvé sur un site de conseil (<http://www.setur.fr/>) et sur un site académique comme ressource pour une séquence d'enseignement (<http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/svt/program/>) marquant sa diffusion dans les différentes communautés.

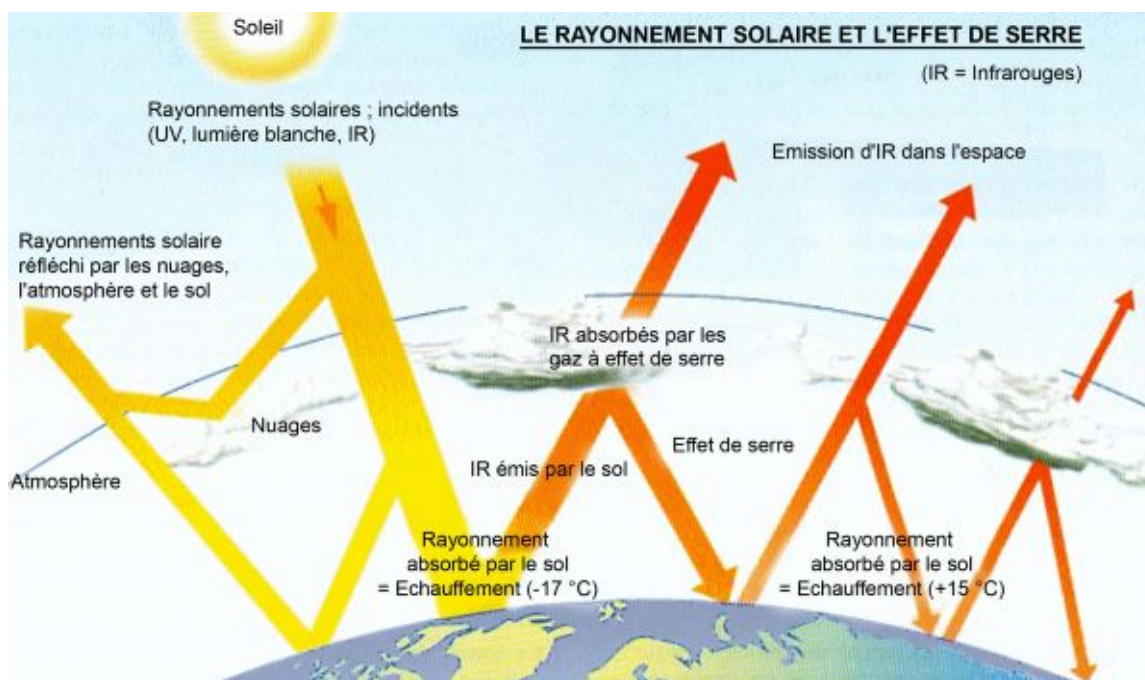


Figure 6 : Une très forte séquentialisation (SQ3)

La très forte séquentialisation de l'explication est marquée par les absorptions successives du rayonnement infrarouge par les GES et la surface terrestre dont le réchauffement s'effectuerait suivant deux phases : une première phase due uniquement à l'action du rayonnement solaire puis une deuxième due à l'effet de serre. Sans apport d'informations concernant l'atteinte de cette dernière température d'équilibre, la lecture de ce schéma est très problématique. Si une analyse en termes de bilan est pensée par les auteurs, elle reste totalement implicite, d'autant que le terme bilan ne se trouve à aucun endroit dans ce chapitre et que le texte de synthèse à propos de l'effet de serre se cantonne à décrire le régime transitoire : *Le rayonnement solaire qui parvient à la surface de la Terre est absorbé par cette dernière et provoque son échauffement. La Terre émet alors¹² un rayonnement infrarouge. Certains gaz présents dans l'atmosphère absorbent ce rayonnement et le réémettent en partie vers le sol, renforçant l'échauffement initial.* (Belin 2004, p 46) Aucune trace de bilan, ni d'équilibre thermique.

A l'issue de cette présentation relative aux documents de type séquentiel, nous retenons pour les deux types de ressources, manuels scolaires et pages web, la présence très majoritaire d'« explication – écho » pour lesquelles bilans énergétiques et équilibre thermique sont le plus souvent absents. Si ces aspects sont à un moment explicités, ils ne sont pas mis en relation avec l'« explication » de l'effet de serre et ne figurent plus lors des phases de synthèse, en particulier dans les manuels analysés. Nous relevons également l'importance de la diffusion des images dans les différentes communautés avec une omission très fréquente des sources.

3. Evolution des flux énergétiques et des températures et expression des bilans : de nombreuses stratégies de « contournement »

Nous nous intéressons à présent aux documents de type « mixte » (MX) (voir *Tableau 2*) mêlant « explication » du phénomène et construction de bilans énergétiques.

¹² C'est nous qui soulignons la temporalité.

Cette association étant pour le moins problématique, différentes stratégies de « contournement » ont été repérées. Nous allons en donner trois illustrations.

3.1. Un discours mixte séquentiel – bilan : un masque sur les difficultés

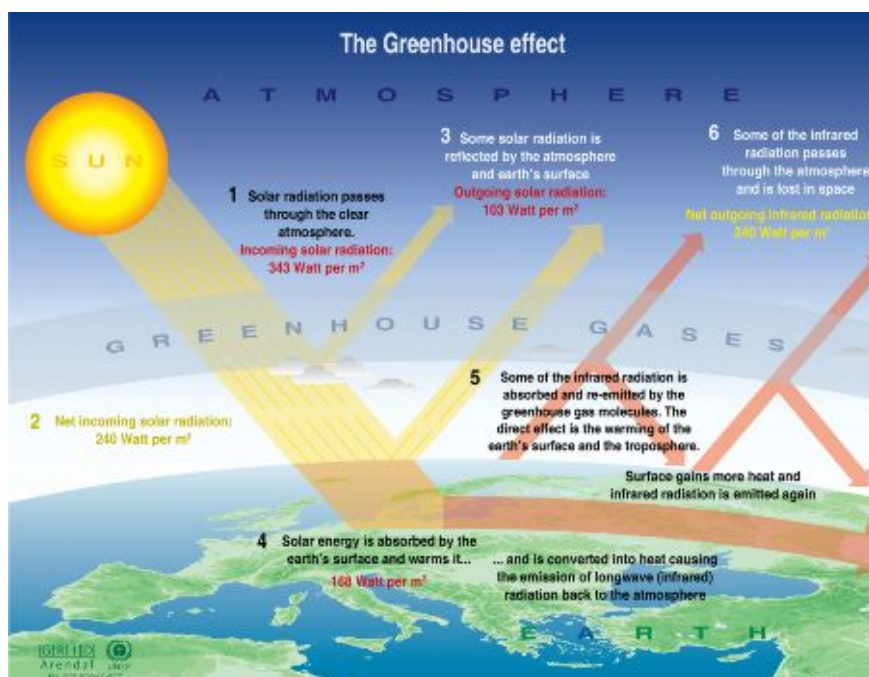


Figure 7 : Un discours « mixte » (MX1)

Le schéma de la *Figure 7* issu notamment du GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Évolution Climatique)¹³ est emblématique du discours officiel et figure fréquemment sur les pages web consacrées à l'effet de serre. C'est un schéma analogue à celui de la *Figure 6* avec l'ajout d'informations permettant de dresser un bilan pour les systèmes Terre et espace ainsi que pour le rayonnement solaire entrant¹⁴. Par contre, les bilans sources de difficultés, à savoir ceux concernant la surface terrestre et les GES sont occultés. Nous relevons également les prémices d'une coupure entre rayonnement solaire entrant et rayonnements infrarouges émis par les différents systèmes. Cette coupure devient franche pour les documents de la catégorie suivante.

3.2. Des pseudo-bilans suivant les types de rayonnement

Les images des *Figures 8 a, b* et *c*, sont extraites d'une animation proposée par la Cité des Sciences (http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/expo/tempo/planete/portail/lab/). Dans cette présentation, les bilans énergétiques ne se réfèrent plus aux systèmes mais aux deux types de rayonnement, solaire et infrarouge. Pour le rayonnement solaire entrant (*Figure 8a*), on comprend aisément la répartition des flux énergétiques suivant les différents systèmes. Qu'en est-il concernant le rayonnement infrarouge émis (*Figure 8b*) ? Que deviennent les 82 % « réfléchis » (terme impropre, « émis » serait plus correct) vers la surface terrestre de la

¹³ Sources : Okanagan University College ; Cambridge University ; University of Oxford ; US EPA ; IPCC ; UNEP and WMO. Cambridge University Press, 1996. Designer: Philippe Rekacewicz, UNEP/GRID-Arendal
IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change

¹⁴ Notons qu'il ne s'agit pas d'un réel bilan appliqué à un système. Un autre terme serait sans doute préférable pour éviter toute confusion.

Figure 8c ? Ce découpage et cette présentation tronquée n'éclaircissent pas la construction de bilans énergétiques alors que tout laisserait le présager.

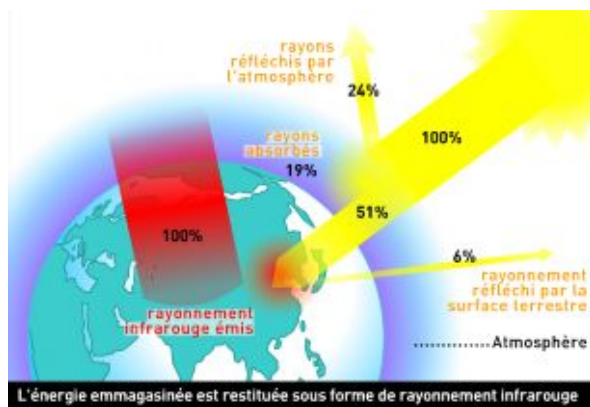
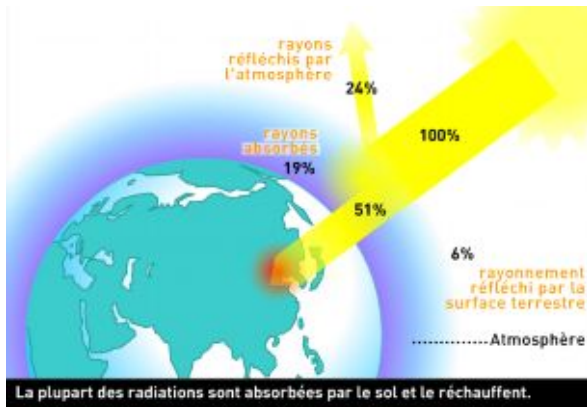


Figure 8a

Figure 8b

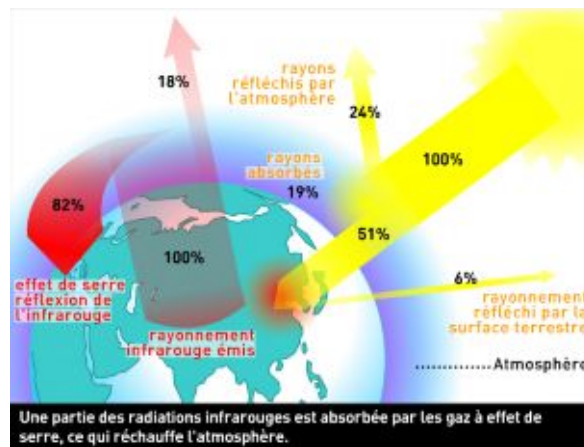


Figure 8c

Figure 8 : Une coupure suivant la nature des rayonnements (MX2)

Cette présentation souvent utilisée figure sous une forme analogue entre autres sur le site du CEA (http://www.cea.fr/jeunes/themes/le_climat) et sur celui d'un éditeur de ressources pour l'enseignement (<http://www.edumedia-sciences.com/fr/a553-effet-de-serre>).

A noter qu'il est souvent fait référence dans les manuels scolaires (Bordas 2000, p 42 ; Belin 2004, p 50 ; Nathan 2000, p 210 et p 216) à la répartition du flux solaire entrant suivant les différents systèmes, analyse qui s'accommode très bien d'un traitement séquentiel.

Les deux exemples précédents ont escamoté les difficultés. Les deux exemples suivants vont cette fois tenter de les prendre en compte.

4. Des tentatives de didactisation

4.1. Une analyse systémique contraignante

Les Figures 9a et 9b sont extraites d'une animation (<http://www.biologieenflash.net/>)¹⁵.

¹⁵ Une animation analogue figure sur le site du CNRS (auteur : Marie-Antoinette Mélières, LGGE Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement, <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/sysfacte/effetserre/index.htm>).

L'animation débute comme précédemment par une répartition du flux solaire entrant. Puis l'analyse se porte sur le chauffage de l'atmosphère du fait de l'absorption du rayonnement infrarouge par les GES (*Figure 9a*). On ne peut à ce stade comprendre comment l'atmosphère peut recevoir un flux de 519 W / m^2 alors que le flux solaire entrant n'est que de 342 W / m^2 . Il faudra donc attendre l'étape suivante (*Figure 9b*) pour saisir d'où vient ce surplus de flux. Mais le problème se trouve répercuter au niveau de la surface terrestre : comment la surface pourrait-elle émettre un flux de 390 W / m^2 alors qu'elle n'en reçoit que 168 W / m^2 du Soleil ? Il faudra à nouveau se reporter sur l'étape suivante pour obtenir une réponse.

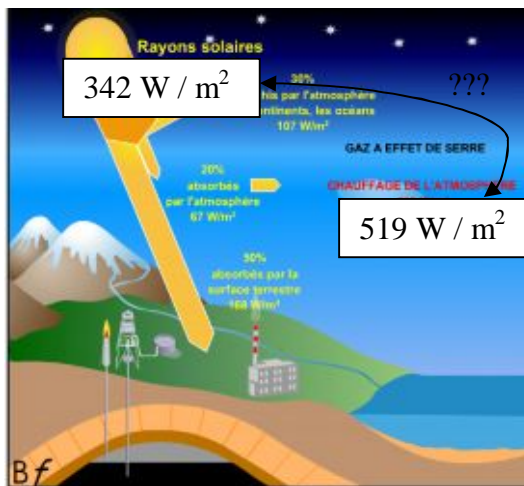


Figure 9 a

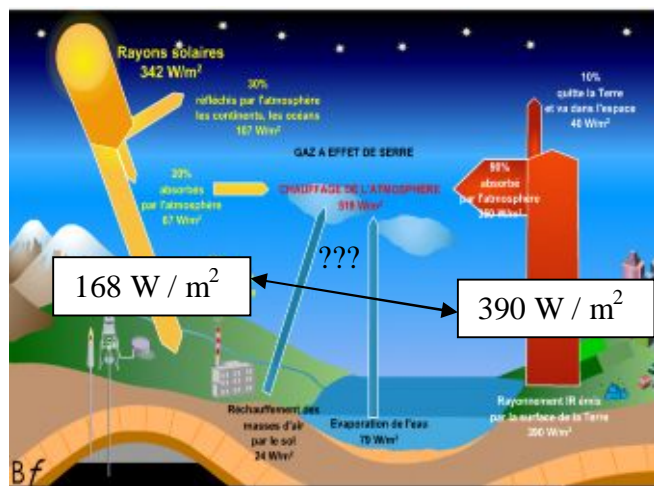


Figure 9 b

Figure 9 : Une didactisation impossible ? (MX3)
(C'est nous qui soulignons les difficultés potentielles de lecture)

Le découpage proposé, même s'il aboutit à un bilan correct pour chacun des systèmes, contraint à des anticipations difficilement compréhensibles sans une vision systémique préalable.

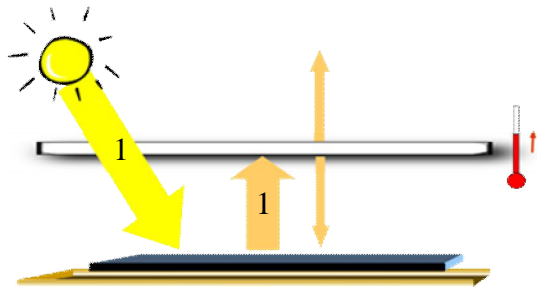
Notons que, outre ces difficultés, cette animation dont la forme laisserait penser à un suivi chronologique des événements, ne porte que sur le régime permanent et que, par conséquent, l'évolution des températures et des flux durant le régime transitoire n'est pas prise en compte.

4.2. Une séquentialisation des bilans

L'exemple suivant propose à des fins didactiques une séquentialisation des bilans concernant la surface terrestre et les GES que nous allons expliciter à partir des *Figures 10a*, *10b* et *10c*¹⁶. Le phénomène de l'effet de serre est modélisé par une serre horticole où une plaque de métal et une vitre sont les analogues respectifs de la surface terrestre et des gaz à effet de serre¹⁷.

¹⁶ extraits d'un diaporama utilisé à des fins de vulgarisation (contenu scientifique : J.L. Dufresne ; réalisation : S. Jamili ; Laboratoire de Météorologie Dynamique, Institut Pierre Simon Laplace, CNRS – Université Paris 6).

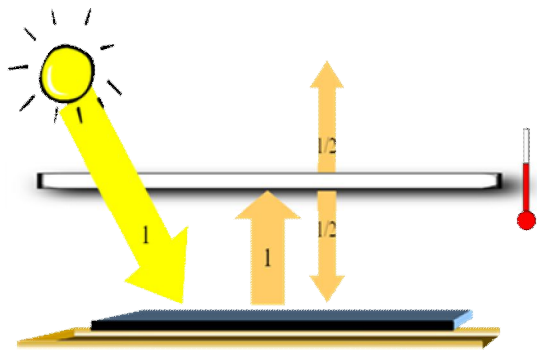
¹⁷ Nous rappelons que la modélisation de l'effet de serre par une serre horticole est propice à la construction d'une première interprétation satisfaisante du phénomène pour le grand public mais que l'explication du réchauffement à l'intérieur d'une serre tient bien moins au phénomène d'absorption-émission infrarouge des parois de la serre qu'à l'absence de phénomènes convectifs.



Comme la température de la vitre augmente, elle émet plus de rayonnement infrarouge.

Figure 10 a

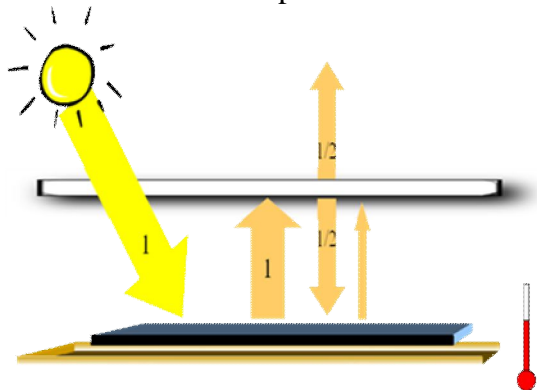
Lors de la phase décrite sur la *Figure 10a*, l'analyse se porte uniquement sur la vitre comme si la température de la plaque de métal était supposée restée constante et donc comme si la plaque ne participait plus momentanément aux échanges.



La vitre atteint sa température d'équilibre lorsqu'elle perd autant d'énergie qu'elle en reçoit.

Figure 10 b

Sur la *Figure 10b*, la vitre est dite avoir « atteint sa température d'équilibre » et les rôles s'inversent lors de la phase suivante décrite par la *Figure 10c*.



Comme la plaque reçoit plus d'énergie, sa température augmente et donc la plaque émet davantage de rayonnement infrarouge.

Figure 10 c

Figure 10 : Différents épisodes d'une séquentialisation de bilans (MX4)

Nous avons retrouvé ce même type de procédé à la fois dans un manuel scolaire (Nathan 2000, p 220) (voir *Figure 11*) et dans des livres de vulgarisation (Léna et al. 2009).

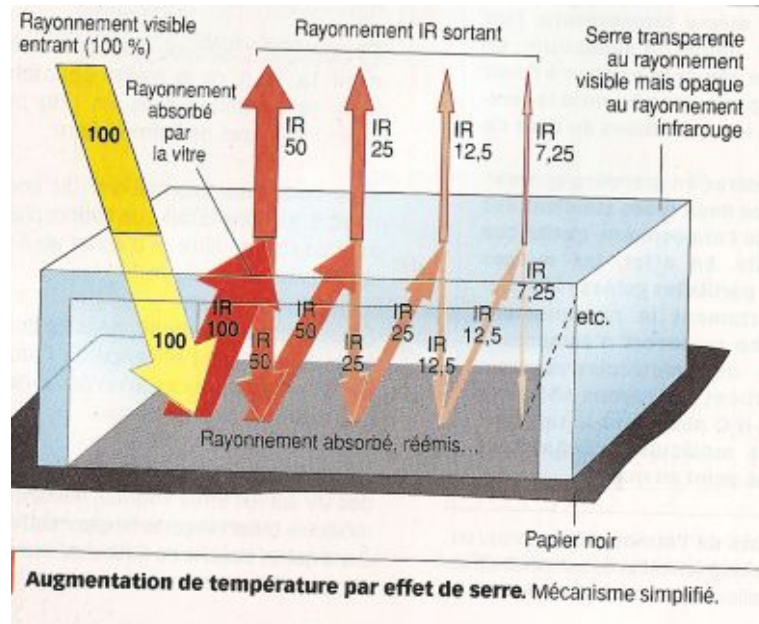
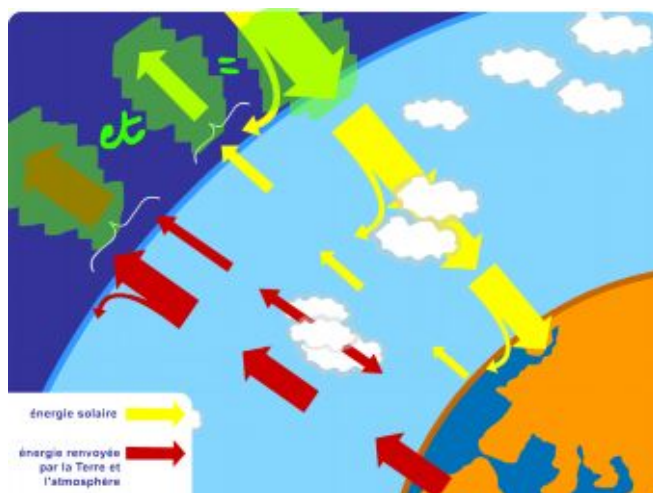


Figure 11 : Une didactisation discutable (MX4)

Cette séquentialisation des bilans qui ne se justifie pas du point de vue du physicien pour lequel les échanges énergétiques et les températures n'évoluent pas par paliers successifs, est introduite à des fins purement « didactiques ». Ce discours très éloigné des « explications-échos » relevées au début de notre parcours prend en compte nombre d'éléments de notre approche : évolution des températures, des flux énergétiques et expression des bilans. La concession porte essentiellement sur le caractère simultané des échanges. Le compromis ainsi trouvé entre une didactisation facilitée et le maintien d'une certaine cohérence peut être discuté.

5. Un exemple de document de vulgarisation emprunt de didacticité

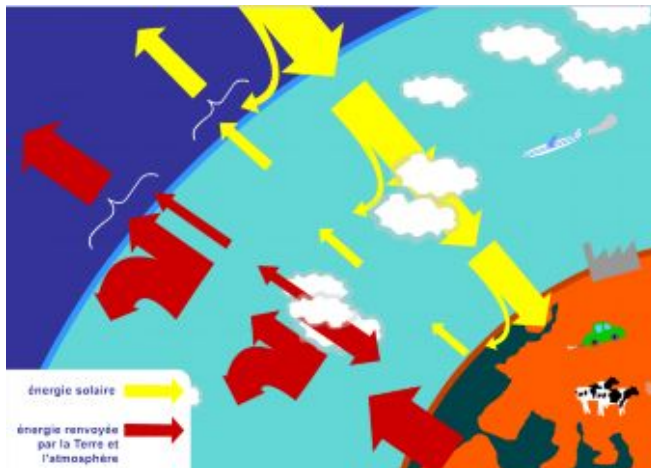
Nous terminons ce parcours par des documents (*Figures 12a et 12b*) extraits d'une animation issue d'un site associatif (Fondation Nicolas Hulot pour la Nature et l'Homme, http://www.fnh.org/francais/faq/effet_serre/animation.htm).



(...) Cette énergie (due aux infrarouges) retenue prisonnière conduit la Terre à être plus chaude que si les gaz à effet de serre n'étaient pas présents.(...)

Par ailleurs, les lois de la physique nous enseignent que **lorsque le système est à l'équilibre**, il y rentre en permanence l'équivalent de ce qui en sort. Aussi, **le total de ce qui est réémis et de ce qui est réfléchi est égal à ce qui est reçu.**

Figure 12a : Une mise en relation explicite entre bilan énergétique et équilibre thermique



La Terre va rayonner de plus en plus fort jusqu'à ce que la part qui arrive à quitter l'atmosphère soit la même qu'avant la modification de l'atmosphère.

Figure 12b : Où vulgarisation et approche didactique se rejoignent

La Figure 12a et le texte associé explicite de façon claire la mise en relation entre bilan énergétique et équilibre thermique, même si le niveau de formulation peut être encore discuté¹⁸. La Figure 12b précise bien que si rien n'est modifié au niveau de l'espace en termes de bilan, c'est grâce à un rayonnement plus fort de la surface terrestre, épaisseur des flèches à l'appui, et donc à une température du sol terrestre plus élevée.

Cette animation montre que vulgarisation et approche didactique peuvent se rejoindre sur le fond autour de thème aussi difficile que le réchauffement climatique.

6. Conclusion et perspectives

Notre étude met en évidence, sur un thème certes restreint mais très médiatisé, une similitude des discours issus de la vulgarisation scientifique et de l'institution scolaire au travers respectivement des ressources disponibles en ligne et des manuels scolaires. Cette similitude couvre un spectre très large, allant des « explications – écho », très majoritairement présentes, à quelques discours emprunts de didacticité, y compris sur des sites « grand public ».

Un discours respectueux de la cohérence de la physique et structuré autour de cette dernière nécessite une réflexion approfondie. Il s'agit en effet, nous l'avons souligné, d'aller le plus souvent contre un raisonnement de type séquentiel très ancré pour lequel la prise en compte de l'instantanéité des bilans et de la simultanéité des échanges est difficile.

Même si le défi est ardu, quelques rares exemples montrent qu'il n'est pas impossible à relever, y compris dans le cadre d'une vulgarisation pour un large public.

Il ne s'agit donc pas d'opposer vulgarisation scientifique et enseignement mais de chercher à mettre en place une fructueuse interaction. La typologie des documents présentée pourrait s'avérer un outil intéressant dans le cadre d'une séquence d'enseignement-apprentissage ou dans celui d'une formation d'enseignants. Nous soulignons à ce propos que les discours du type « explication-écho » prenant appui sur des « récits graphiques » peuvent non seulement servir de révélateurs des difficultés de compréhension mais également de déclencheurs pour un débat afin de construire une interprétation.

La question porte essentiellement sur les choix à faire en termes d'objectifs : quel(s) message(s) souhaite-t-on faire passer en priorité et au prix de quels « sacrifices » ? La transposition didactique à mettre en œuvre est alors questionnée. Les procédures de didactisation déployées pour allier évolution du phénomène et élaboration de bilans ont été discutées en soulignant que le compromis entre facilitation de la compréhension et cohérence du discours est souvent difficile à trouver. Nous avons illustré cette tension au travers de

¹⁸ En particulier, l'expression « énergie retenue prisonnière ».

manuels scolaires dont certains choix retenus par les auteurs peuvent conduire à prendre des libertés avec la cohérence du discours concernant la physique mise en jeu.

Le constat de la forte présence d'un discours du type « explication – écho », discours que l'on pourrait qualifier d'« officiel » car relayé par des instances gouvernementales et des organismes reconnus de diffusion de la culture scientifique, amène à s'interroger sur la circulation de ce discours entre les différentes communautés. Nous abordons ici le domaine de la communication scientifique avec en particulier sur internet le problème de l'indexation des sources et de l'ingénierie ontologique des images. Les sites que nous avons visités indiquent très peu souvent leurs sources et il s'avère donc difficile de repérer dans quel sens se font les emprunts. Pour y parvenir, il faudrait une enquête diachronique fine. Dans ce cadre, une étude sur la recherche d'informations par différents publics, élèves, enseignants ou « simples curieux » sur le thème de l'effet de serre, viendrait apporter des éléments sur les mécanismes de diffusion des discours, en particulier au niveau de la communauté éducative.

Bibliographie

- Boubée N. (2007) L'image dans l'activité de recherche d'information des élèves du secondaire : ce qu'ils en font et ce qu'ils en disent, *Spirale - Revue de Recherches en Education*, 40 (141-150).
- Cavet A. (éd.) (2007) « L'enseignement des « questions vives » : lien vivant, lien vital, entre science et société », *Lettre d'Information de la Veille Scientifique et Technologique*, INRP, n°27.
- Colin P., Chauvet F. & Viennot L. (2002) Reading images in optics: students' difficulties and teachers' views. *International Journal of Science Education*, 24 (3) (313-332).
- Ekborg M. & Areskoug M. (2006) How student teachers' understanding of the greenhouse effect develops during a teacher education program, *Nordina*, n°5, p.17-28.
- Feller I. (2008) *Usage scolaire de documents d'origine non scolaire : Eléments pour un état des lieux et étude d'impact d'un accompagnement ciblé en classe de seconde*. Thèse de l'université Paris-Diderot. (<http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00366318/fr/>)
- Jacobi D. (2001) Savoirs non formels ou apprentissage implicites ?, *Recherches en communication*, n°15 (169-184).
- Jacobi D. & Schiele B. (éds) (1988) *Vulgariser la science, le procès de l'ignorance*, Seyssel : Champ Vallon.
- Kattmann U., Duit R., Gropengießer H. & Komorek M. (1995) *Educational reconstruction – bringing together issues of scientific clarification and students' conceptions*. Paper presented at the annual meeting of the National Association of Research in Science Teaching, St Louis, MO, April.
- Léna P., Quéré Y. et Salviat B. (2009) *29 mots clés pour savourer et faire savourer la science*, Paris : Le Pommier, p. 125–129.
- Martineau R. (1990) « L'éducation au musée : vers un savoir apprendre », *Musées*, 13, 3 (27-31).
- Martinez L. (2010) *Quelle transposition didactique de l'effet de serre dans les manuels scolaires de seconde?*, Mémoire de master 2 didactique des disciplines, université Paris-Diderot.
- Purdue University (2008), <http://climate.agry.purdue.edu/climate/ccc/Files/studentsconcept.pdf>
- Roqueplo P. (1974) *Le partage du savoir*. Paris : Le Seuil.
- Rozier S. & Viennot L. (1991) Students' reasoning in elementary thermodynamics. *International Journal of Science Education*, 13 (2), p. 159-170.
- Tran Tat N. (2009) *Les régimes quasi-stationnaires de non équilibre en première S : le cas de l'effet de serre, vu par les élèves*, Mémoire de master 2 didactique des disciplines, université Paris-Diderot.
- Urgelli B. (2009) *Les logiques d'engagement d'enseignants face à une question socioscientifique médiatisée. Le cas du réchauffement climatique*. Thèse ENS-LSH, Université de Lyon / ENFA, Université de Toulouse.
- Viennot, L. (1993) Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants en physique, *Didaskalia*, n°1, p. 13-27.
- Viennot L. (2007) « La physique dans la culture scientifique : entre raisonnement, récits et rituels ». *aster*, 44 (23-40).
- Wellington J. (1991) "News paper, school science : friends or ennemy ?" , *International Journal of Science Education*, 13, 4 (363-372).