

Université de Provence - Département des sciences de l'éducation

Licence 2008-2009

UE SCEF 53 : Éducation au développement durable

Yves Chevallard

y.chevallard@free.fr

Éléments de didactique du développement durable

Notes & documents

Unité 3. Une étude de cas

3.1. Quelles problématiques ?

3.1.1. On reprend ici un petit nombre de conclusions des deux premières unités de ce cours.

a) Nous nous plaçons dans le cadre de la *didactique du développement durable*. Celle-ci doit être entendue, rappelons-le, comme *la science des conditions et des contraintes de la diffusion sociale des praxéologies* « mises en œuvre ou qui pourraient être mises en œuvre en matière de développement durable ».

b) Cela conduit à se pencher sur deux grandes questions solidaires que l'on rappelle.

$Q_1^?$. Que sont ou que pourraient être les praxéologies du développement durable ? En d'autres termes, quels *types de tâches T* accomplir ? Et *comment*, c'est-à-dire selon quelles *techniques* τ ? Et encore *pourquoi*, c'est-à-dire en vertu de quelles *technologies* θ et de quelles *théories* Θ ?

$Q_2^?$. Par quels systèmes de conditions et de contraintes, c'est-à-dire à travers quelles successions de situations didactiques, telle praxéologie du développement durable parvient-elle ou pourrait-elle parvenir à s'intégrer à l'équipement praxéologique de telle institution ou de telle personne ?

3.1.2. Les questions précédentes sont, à l'évidence, des questions clés pour interroger ce qu'est ou ce que pourrait être une *éducation* au développement durable.

a) L'étude de la première question – la *question* « praxéologique », $Q_1^?$ – est en particulier cruciale. Dans cette perspective, on a appelé « praxéologies *potentielles* du développement durable » les praxéologies constitutives des réponses apportées à deux questions Q_1 et Q_2 que l'on note ici $Q_{11}^?$ et $Q_{12}^?$.

$Q_{11}^?$. Comment déterminer les effets de tel fonctionnement praxéologique donné sur tel complexe de systèmes ?

Q_{12}^{∂} . Comment changer un fonctionnement praxéologique donné (et, en deçà, l'équipement praxéologique qu'il sollicite) pour modifier d'une façon déterminée l'état d'un complexe donné de systèmes ?

On avait noté alors 1) que les « modifications » envisagées consistent à modifier la valeur de variables d'état des systèmes (soit en diminuant ces valeurs, soit en les augmentant, selon le cas souhaité), et 2) que, paradoxalement, les questions Q_{11}^{∂} et Q_{12}^{∂} n'intègrent pas l'idée de durabilité – ce sont les *usages* des praxéologies constitutives des réponses apportées à Q_{11}^{∂} et Q_{12}^{∂} qui participeront, ou non, d'une certaine forme de développement durable.

b) La réponse apportée à la seconde question – la *question* « didactique », Q_2^{∂} – est en étroite interaction avec la question apportée à la première question ; en particulier, il y a une rétroaction remarquable de la réponse apportée à la question *didactique* Q_2^{∂} sur celle finalement apportée à la question *praxéologique* Q_1^{∂} : en fonction des contraintes existantes et des conditions créées pour diffuser les praxéologies du développement durable, certains éléments praxéologiques ne diffuseront pas auprès de telles ou telles personnes, par exemple.

3.1.3. Dans ce qui suit, on s'attachera successivement à deux problématiques d'étude.

a) Dans la première, on imagine une personne ou une institution qui traverse des situations du monde où il est question de développement durable et qui fait de ces situations ce qu'on nommera une *lecture inventoriante*, dans laquelle on prend connaissance de ce que la situation paraît offrir en la matière – on inventorie (plus ou moins attentivement) son *offre praxéologique*. En bien des cas, ce qu'on « lira » dans les situations traversées, ce seront des *exposés*, oraux ou écrits, ayant trait, fût-ce de façon oblique, à des questions de développement durable : de là la métaphore de la *lecture* usitée ici.

b) Dans la seconde problématique, on suppose une personne ou une institution qui se livre à une *lecture questionnante* de ses environnements institutionnels, c'est-à-dire qui les visite pour les interroger sur un ensemble de questions, dans le cadre d'une *enquête codisciplinaire* visant à répondre à une question ou à un ensemble organisé de questions.

3.2. Que peut-on apprendre ?

3.2.1. Dans un ouvrage récent au titre éloquent, *CO₂ un mythe planétaire* (TF1 Entreprises / Les éditions du Toucan, 2009), Christian Gerondeau, président de la Fédération française des automobiles clubs, déjà auteur d'un pamphlet fustigeant le Grenelle de l'environnement (*Écologie, la grande arnaque*, Albin Michel, 2007), ouvre son premier chapitre intitulé « La fin du bon sens » par une formulation condensée d'un point important de la vision aujourd'hui majoritaire en matière d'environnement (il ne le fait, en l'espèce, que pour désigner la cible de ses attaques, et non pour l'approuver !).

Le climat change. Les glaciers fondent. Les ours blancs disparaissent. Il faut agir d'urgence pour éviter une catastrophe d'ampleur mondiale. Chacun doit se mobiliser et apporter sa pierre à

l'édifice. Il n'est que temps de changer nos comportements pour sauver la planète. Allons-nous sacrifier nos enfants à notre égoïsme ? Nous sommes d'autant plus coupables que la solution est entre nos mains. Priorité des priorités, il faut réduire nos émissions de CO₂...

a) En écho à cette description, nous choisirons dans tout ce qui suit de nous intéresser à la (double) question suivante :

Q_▲. Pourquoi faudrait-il réduire les émissions de CO₂ et comment le faire ?

b) Conformément à la première problématique, nous allons imaginer d'abord qu'une personne *non spécialisée* – ce peut être un élève de collège par exemple – a rencontré un certain ensemble d'exposés touchant la question *Q_▲*, exposés dont elle a fait une simple lecture inventoriante ; et nous tenterons alors de recenser les composants praxéologiques que cette personne a ainsi pu rencontrer, de même que les *manques* praxéologiques auxquels son parcours a pu l'exposer.

3.2.2. Le premier exposé que nous examinerons est celui proposé par un mensuel vendu en kiosque, destiné aux élèves de 5^e, 4^e et 3^e (12-15 ans), *I Love English*. Le numéro 167 (avril 2009) comporte un dossier abondamment illustré intitulé *Save the planet* (pp. 10-15), à l'occasion du Jour de la Terre célébré le 22 avril. On a reproduit ci-après les textes qui y figurent (en omettant les photos correspondantes).

Earth Day parade

These children in Lucknow, India, are in an Earth Day rally. They want to take care of the Earth. The planet has many problems today: pollution, deforestation, global warming, animals in danger of extinction... We can all do something to help. (p. 11)

What is Earth Day?

The first Earth Day was organized in the USA in 1970. Every year, on 22 April, people around the world do positive things to protect the environment. Here are some more examples of what people do... (p. 11)

Planting trees

Thousands of trees are destroyed every year. Deforestation causes global warming which can change the climate around the world. Trees purify the air and protect the soil. On Earth Day there are tree planting events around the world like this one in Los Angeles, USA. (p. 12).

YOU CAN plant a tree and use recycled paper

Recycle plastic

Did you know that plastic bags take from 6 months to 500 years to biodegrade? On Earth Day, people are encouraged to recycle plastic. This man is drying plastic bags for recycling by a lake in the Philippines. (p. 12)

YOU CAN make a difference by using bags made of cotton or paper, not plastic.

Animal friends

More than 11,000 animal species are in danger of extinction. The most endangered are the Black Rhino, the Giant Panda and the Tiger. They are hunted by man and their habitat is being destroyed. Earth Day is the occasion to help save animals, like the people in this photo. (p. 13)

YOU CAN help organizations like WWF which protect animals.

Stop pollution

Rubbish and toxic chemicals pollute the air, water and the soil. There are many ways we can help the environment. These people are collecting rubbish on the beach as part of Earth Day in Panama City, Panama. (p. 13)

YOU CAN clean up an area near you.

Respect nature

You can celebrate Earth Day in different ways. These people are drawing colourful images to celebrate Earth Day in Manila, Philippines. (p. 14)

YOU CAN celebrate nature by having a drawing or photography competition at your school.

Use less water

Water is a precious resource. This man is at an Earth Day rally in Los Angeles, USA. He wants people to stop wasting water. (p. 14)

YOU CAN save water by taking short showers.

Clean Energy

Cars create air pollution which destroys the ozone layer. The people in this photo are riding their bicycles to encourage people to stop using their cars. (p. 15)

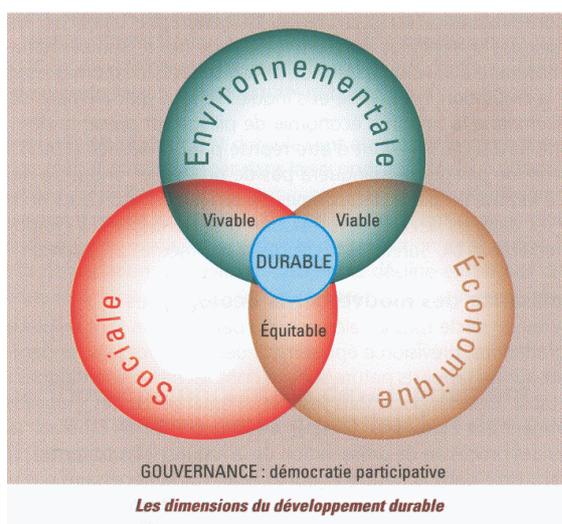
YOU CAN walk or use a bicycle when possible.

Look and learn

Global warming is changing our ecosystem. Earth Day is a good time to learn about a specific environment. These divers are collecting starfish that have infested coastal areas. The starfish have been eating the coral! (p. 15)

YOU CAN be careful not to damage coral in the ocean. It is very fragile.

a) Le dossier proposé aux jeunes lecteurs est centré sur le volet *environnemental* du développement durable. Rappelons que, classiquement, on considère que le développement durable se déploie sur *trois* volets, comme on le verra sur le schéma ci-après (emprunté ici à l'ouvrage d'Yvette Veyret *et al.*, *Comprendre le développement durable*, CRDP d'Aquitaine, 2008, p. 13.) Le dossier examiné est donc, à cet égard, partiel. Il est vrai que son titre – *Save the planet* – n'en promettait pas tant.



Le dossier examiné est donc, à cet égard, partiel. Il est vrai que son titre – *Save the planet* – n'en promettait pas tant.

b) Les textes lus plus haut énoncent quelques *types de tâches* présentés comme aidant à « sauver la planète » et que le jeune lecteur du magazine est invité à mettre en œuvre :

You can

- plant a tree and use recycled paper,
- use bags made of cotton or paper, not plastic,

- help organizations like WWF which protect animals,
- clean up an area near you,
- celebrate nature by having a drawing or photography competition at your school,
- save water by taking short showers,
- walk or use a bicycle when possible,
- be careful not to damage coral in the ocean.

c) On aura noté que le problème des émissions de CO₂ n'apparaît nulle part explicitement dans ce qui précède. Pour le connaisseur, il est cependant en filigrane dans les assertions suivantes :

“Deforestation causes global warming which can change the climate around the world. Trees purify the air and protect the soil.”

“Cars create air pollution which destroys the ozone layer.”

On notera en particulier l'affirmation selon laquelle “trees purify the air” : cette formulation euphémique permet sans doute de ne pas être trop « technique » en substituant à l'assertion selon laquelle les arbres « absorbent du CO₂ » une formulation métaphorique, plus allusive.

d) On notera qu'on ne perçoit ainsi que des *fragments* de praxéologies : pour ce qui est de « planter un arbre », par exemple, on ne sait ni quel arbre planter, ni en quel endroit, ni comment le faire. Cet « allègement » praxéologique est lié ici à des contraintes didactiques : si le Jour de la Terre est bien comme une *école*, le *manuel* que constitue ce dossier est soumis à des contraintes qui ne permettent guère d'explicitier plus avant les praxéologies qui y sont suggérées.

e) Dans la rubrique des rencontres praxéologiques, on notera que ces textes conduisent à croiser notamment ces mots ou expressions : “pollution”, “deforestation”, “global warming”, “ozone layer”. Mais on voit que, en fin de bilan, à peu près rien ne peut être tiré des textes examinés, à ce stade, quant à la question Q_▲.

3.2.3. L'évitement de la question des émissions de CO₂ dans le dossier précédemment examiné peut paraître étroitement lié au *genre* d'exposé considéré. Examinons maintenant un exposé d'un autre genre : l'ouvrage de Gérard de Vecchi et Julien Pellegrino intitulé *Un projet pour... éduquer au développement durable* publié chez Delagrave en 2008, qui s'adresse cette fois aux *enseignants*. On y voit mentionné le CO₂ en deux passages différents.

a) Voici le premier.

Un petit jeu permettant d'identifier toutes les pollutions consécutives à la vie moderne (dans un pays développé) peut très facilement compléter l'activité précédente. À partir d'un texte simple, décrivant une journée type d'un élève (le texte peut même être réalisé par les élèves eux-mêmes

dans une activité dépendant du français, à l'école primaire, ou avec le professeur de cette matière en collège).

Chaque groupe de travail doit identifier les « pollutions » causées par ses comportements quotidiens. Au cours de la synthèse, faite avec l'ensemble de la classe, le maître pourra mettre le doigt sur quelques idées qui ne seraient pas apparues et qui sont le plus souvent des *pollutions indirectes*.

Exemple :

→ **Je me lave** = rejet d'eaux usées

*En moyenne, chaque Français rejette 200 litres d'eaux usées par jour.*¹

→ **Je prends un petit-déjeuner** = pollutions produites par l'industrie agroalimentaire (engrais, pesticides et déchets comme emballages vides).

*Chaque Français rejette en moyenne plus de 1,5 kilogramme de déchets par jour, une grande part de ces déchets étant constituée par les emballages (33 %), qu'ils soient en carton, métal ou verre.*²

*Avec 76 100 tonnes de matières actives commercialisées en 2004, la France est le 3^e consommateur mondial et le 1^{er} consommateur européen de pesticides.*³

→ **Je vais à l'école** en voiture ou en transports en commun = rejet de CO₂ et de gaz polluants issus de la combustion du pétrole.

*Les transports représentent près du quart de l'énergie totale consommée en France : au total environ 52 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep), dont 25 Mtep pour les voitures individuelles.*⁴

→ **J'utilise des appareils électriques** (sans oublier ordinateurs et consoles de jeux) = consommation d'électricité : activité des centrales (rejet de déchets radioactifs et de CO₂).

*En termes de rejets de CO₂, dus à la consommation d'énergie, la France émet 1,6 tonne de carbone (CO₂) par habitant et par an, ainsi que 1 950 000 m³ de déchets radioactifs, dont 250 000 tonnes de combustible appauvri ou irradié.*⁵ (pp. 41-43)

1. http://www.inrp.fr/hm/le_traitement_cles_eaux_usees.html. Notons au passage que certains Africains en utilisent moins d'1 litre !

2. <http://www.ac-corse.fr/colleges/porticcio/tri/tri.htm>

3. http://www.fne.asso.fr/PA/agriculturel/dos/campagne_pesticides.htm

4. http://sfp.in2p3.fr/Debat/debat_energie/websfp/FRANCE%20perspectives%20Acket%20Bacher.htm

5. http://www.industrie.gouv.fr/energie/nucleair/epr_1_2.htm et

<http://www.greenpeace.org/France/news/inventaire-des-dechets-nuclai>

b) Il est frappant de constater que le caractère *négatif* du rejet de CO₂ est ici *présupposé*, sans que les raisons de ce verdict soient mentionnées. Il s'agit là d'un *postulat*, qui fonde la condamnation de l'usage intensif de moyens de transports consommant du « pétrole » ou d'appareils fonctionnant à l'électricité. On aura noté aussi l'avalanche de données numériques « édifiantes », dont la signification n'est pas discutée (être le 1^{er} consommateur européen de pesticides ne signifie pas *en soi* consommer « beaucoup » ou même *trop* de pesticides, par exemple), un fait que nous retrouverons dans le second passage sur lequel nous nous arrêterons ; le voici.

Le recyclage du papier permet d'économiser beaucoup !

Une tonne de papier recyclé épargne :

- 17 arbres,
- 20 000 litres d'eau,
- l'équivalent de 1 000 litres de pétrole et de nombreux rejets polluants, tout en diminuant de moitié la quantité de CO₂ relâché dans l'atmosphère.

On retrouve ici le même phénomène : le CO₂ est présenté négativement sans que l'on évoque même le problème d'établir la « nocivité » des rejets de CO₂.

c) Une telle situation laisse ouverte la possibilité d'un enseignement essentiellement *dogmatique*, où l'élève se trouve simplement exposé à des postulats non discutés. À cet égard, le petit livre examiné ici n'est pas exempt d'ambiguïté : contre les protestations de vertu des auteurs, on y lit moins le projet d'instruire l'élève que de lui dicter des comportements et des attitudes tenues pour « correctes ». Dans un passage situé en marge d'un commentaire significatif (« De la neutralité... à l'honnêteté »), les auteurs écrivent notamment ceci (p. 115).

L'école peut ainsi faire entrer dans les familles des réflexes écocitoyens par le biais de l'enfant. Il sera plus facile ensuite de généraliser ces comportements aux autres domaines de la vie quotidienne. L'école joue ici pleinement son rôle de formation du citoyen.

Pour cela, nous devons posséder des connaissances, bien sûr, mais le plus important n'est-il pas d'être *soi-même* un **citoyen responsable et engagé** ?

**« Le maître doit rester neutre » : belle formule... mais n'est-elle pas un peu dépassée ?
Si l'EEDD s'appuie sur des analyses de situations réelles, sur leur approche critique et sur
un engagement réel, il est indispensable que l'on accepte de s'appuyer sur des valeurs,
plutôt que d'adopter une attitude neutre, en réalité manipulatrice et stérilisante !**

Contre ce point de vue, rappelons la doctrine simple et claire de la laïcité : en mathématiques, par exemple, on peut exiger des élèves qu'ils apprennent telle manière de résoudre tel type d'équations (et qu'ils le manifestent lors de telle épreuve d'évaluation) ; mais on ne saurait exiger d'eux qu'ils « adhèrent » à cette manière de faire ni leur imposer de l'adopter en-dehors de la classe de mathématiques. Ce serait là, en effet, prétendre à une emprise sur leur liberté de pensée et d'action que l'école laïque s'interdit par principe, sans que cela retranche rien à son « efficacité » définie en termes d'*offre* praxéologique.

3.2.3. Le troisième exposé que nous examinerons est plus substantiel : il s'agit de l'*Écologuide de A à Z pour les juniors* de la Fondation Nicolas Hulot (Le Cherche midi, 2004).

a) Voici d'abord le texte figurant sur la 4^e de couverture.

À consulter en famille comme en classe

Un guide pour comprendre notre planète

- Une approche globale avec 8 entrées thématiques : Milieu Naturel / Déséquilibre écologique / Énergie / Eau / Pollution / Agriculture / Espèces Vivantes / Développement durable.
- Un dictionnaire précis et illustré de plus de 150 mots-clés.
- Pour en savoir plus, de multiples encadrés, des exemples et des chiffres.

Un guide pour agir en faveur de la protection de notre planète

- Des conseils à suivre et des gestes simples à mettre en œuvre au quotidien.
- Des comportements à adopter.
- Des chartes pour s'engager.

Un guide pour une éducation de tous au développement durable

- Septembre 2004 généralisation de l'éducation à l'environnement dans le système scolaire français.
- 2005-2014 : décennie de l'ONU sur l'éducation en vue du développement durable.

On notera qu'il s'agit là explicitement, à nouveau et plus encore peut-être, d'un exposé *normatif et injonctif*.

b) Voici maintenant la table des matières de l'ouvrage.

MILIEU NATUREL

Air / Amazonie / Antarctique / Arctique / Atmosphère / Baïkal (lac) / Biosphère / Biotope / Canopée / Chlorophylle / Climat / Écosystème / Forêt / Haie / Jardin / Météorologie / Nature / Parcs naturels / Planète / Réserves naturelles / Ressources naturelles

DÉSÉQUILIBRE ÉCOLOGIQUE

Accidents industriels / Aral (mer d') / Catastrophes naturelles / Déforestation / Désertification / Érosion / Eutrophisation / Incendie de forêt / Inondation / Sécheresse / Tempête / Terrorisme écologique

ÉNERGIE

Barrage / Biocarburant / Centrale électrique / Charbon / Consommation énergétique / Économies d'énergie / Électricité / Énergies fossiles / Énergies renouvelables (ENR) / Éolienne / Gaz naturel / Nucléaire civil / Panneau solaire et photopile / Pétrole / Pile à hydrogène / Radioactivité /

EAU

Aquaculture / Baignade / Cycle naturel / Eau potable / Fleuve / Glaces polaires / Glaciers / Guerre de l'eau / Lac / Mers et océans / Nappe phréatique (souterraine) / Pêche / Pisciculture / Traitement de l'eau

POLLUTION

Algues vertes / Amiante / Azote / Biodégradable / Bruit / CO₂ (gaz carbonique) / Composés organiques volatils (COV) / Couche d'ozone / Décharge / Déchets / Déchets nucléaires / Dégazage / Dioxines / Eaux usées (voir Traitement de l'eau) / Effet de serre / Emballage /

Engrais (voir Agriculture et Azote) / Guerre / Instruments de mesure et bio-indicateurs / Marée noire / Métaux lourds / Ozone / Plastique / Pluies acides / Recyclage / Tri

AGRICULTURE

Banque de graines / Céréales / Compost / Élevage / Exode rural / Herbicide / Humus / Insecticides / Irrigation / OGM / Pesticides / Sol

ESPÈCES VIVANTES

Animaux / Animaux en danger / Animaux disparus / Animaux domestiques / Animaux nuisibles / Animaux protégés / Arbre (en ville) / Baleine / Biodiversité / Braconnage / Chaîne alimentaire / Chasse / Coraux / Éléphant / Endémique / Faune / Fleurs / Flore sauvage / Insectes / Loup / Mammifère / Ours / Plantes / Prédateurs et grands prédateurs / Réintroduction d'espèces / Trafic d'animaux et de plantes / Zoo

DÉVELOPPEMENT DURABLE

Agenda 21 ou Action 21 / Associations / Biotechnologies / Commerce équitable / Conférences internationales / Démographie / Écobilan / Écologie / Empreinte écologique / Environnement / Équilibre naturel / Famine / Lobby / Mégalopole / Mondialisation / Nimby / OMC / OMS / Partis écologistes / Pauvreté / Principe de précaution / Réchauffement climatique / Tiers-monde / Transports / Ville

Annexes

c) On aura noté que cette table des matières comporte une entrée « CO₂ (gaz carbonique) » ; en voici le texte.

CO₂ (GAZ (ARBONIQUE))

Le CO₂ est un gaz naturellement présent dans l'**atmosphère**. Il provient des volcans et de la respiration des plantes ou des animaux. Avec d'autres gaz, il participe à l'**effet de serre**, ce phénomène naturel qui régule la température de notre planète.

Mais il est également produit et rejeté par l'Homme qui brûle bois, **charbon, gaz naturel, pétrole**... Ainsi, depuis le début de la révolution industrielle il y a deux siècles, la quantité de CO₂ dans l'atmosphère a augmenté de 30 %. Cette augmentation inquiète les scientifiques, car elle entraînera un **réchauffement de la planète** et peut-être un changement climatique dans les prochaines années, par effet de serre. Maîtriser les rejets de CO₂, c'est se donner le temps de trouver des solutions à ce réchauffement planétaire qui peut s'avérer catastrophique.

☺ Comment réduire les rejets de CO₂ dans l'atmosphère ?

- Favoriser les énergies qui ne rejettent pas de CO₂ (solaire, éolienne, géothermique, hydraulique, nucléaire...)
- Développer les transports en commun
- Faire la chasse au gaspillage d'énergie (meilleure isolation des logements, ampoules à basse consommation...)

Chiffres

Estimation des émissions de CO₂ par personne et par kilomètre selon le mode de transport utilisé en ville.

- Voiture (1 personne) : 309 g.
- Scooter : 170 g.

- Covoiturage (3 personnes) : 103 g.
- Bus : 80 g.
- Tramway : 20 g.
- Vélo, marche à pied : 0 g.

(sources : ADEME, CNRS)

On voit d'abord que le CO₂ éventuellement problématique est celui présent « dans l'atmosphère ». En outre, ce qui est « inquiétant », ce n'est pas tant ce CO₂ lui-même que *son augmentation sur les deux derniers siècles*, qui devrait provoquer un « réchauffement de la planète », et cela « par effet de serre ». On notera alors que ledit effet de serre est présenté d'abord comme un « phénomène naturel qui régule la température de notre planète » ; mais il deviendrait problématique si, du fait d'un accroissement important du CO₂ dans l'atmosphère, il provoquait un réchauffement sensible de la planète, qui engendrerait lui-même un « changement climatique ».

d) De nombreux points obscurs subsistent. Qu'est-ce, notamment, que « l'effet de serre » ? Comment ce phénomène pourrait-il provoquer le « réchauffement de la planète » ? En quoi pourrait consister le « changement climatique » et en quoi celui-ci aboutirait-il éventuellement à des modifications « catastrophiques » ? On aura noté en passant que, dans la partie intitulée « Pollution », figure une entrée « Effet de serre ». En voici le texte.

EFFET DE SERRE

Notre planète ressemble à une serre de jardinier ou à une voiture laissée au soleil. La lumière traverse les vitres et réchauffe l'intérieur. Pour la Terre, les rayons solaires passent à travers l'atmosphère, réchauffent le sol, l'eau, les plantes, mais la chaleur n'est pas capable de sortir vers l'extérieur. Elle s'accumule : il fait chaud.

Sans cet effet naturel bénéfique, la température moyenne à la surface de la Terre ne serait pas de + 15 °C mais de -18 °C ! L'effet de serre est dû à certains **gaz** naturels (CO₂, méthane, vapeur d'eau) ou d'origine humaine (CO₂ industriel, gaz des bombes aérosols ou des réfrigérants...). Si la chaleur piégée a permis l'apparition de **climats** accueillants pour la vie et pour l'homme, l'effet de serre anthropique, c'est-à-dire lié aux activités de l'Homme, accélère depuis deux siècles le **réchauffement** climatique : le cycle des saisons, les précipitations et les vents se modifient. Avec quelques degrés de plus, le niveau des océans s'élève et submerge le littoral et les îles les plus basses, des régions entières se désertifient sans que les habitants aient le temps de trouver des parades pour survivre. Si nous sommes tous responsables de l'augmentation de l'effet de serre, nous pouvons à l'inverse tous participer à sa réduction. Trier ses déchets, utiliser les **transports** en commun, produire et consommer bio, économiser l'**eau**, l'**électricité**, favoriser les **énergies** renouvelables, faire des achats réfléchis ont des effets positifs sur l'air, le sol, l'eau, les ressources, la **biodiversité** en vue de tendre vers un **développement durable**.

Chiffres

- Une télévision qui reste en veille toute la journée, c'est comme si vous regardiez deux films.
- Un bus transporte autant de personnes que seize voitures.

- Douze litres par minute : c'est le débit courant d'un robinet. Laisser couler l'eau, c'est gaspiller environ 10 000 litres d'eau par an.
- Un fruit importé hors saison par avion consomme pour son transport 10 à 20 fois plus de **pétrole** que le même fruit produit localement et acheté en saison.

On en apprend ici un peu plus. L'effet de serre est « défini » par la métaphore de la serre, dont les vitres seraient remplacées par l'atmosphère terrestre, ou plutôt par certains gaz présents dans l'atmosphère terrestre. Comment au juste ces gaz jouent le rôle d'une serre, cela n'est pas précisé. Mais on voit s'affirmer une opposition qui était déjà présente dans la notice sur le CO₂ : il y aurait le « bon » effet de serre dû à des gaz « naturels », qui a donné à la Terre sa température moyenne et ses climats, et un « mauvais » effet de serre lié au rejet de gaz (dont le même CO₂) « d'origine humaine » (dont le « CO₂ industriel »). L'exposé nous révèle alors les « catastrophes » entraînées par le réchauffement supplémentaire provoqué par ce mauvais effet de serre : « Avec quelques degrés de plus, le niveau des océans s'élève et submerge le littoral et les îles les plus basses, des régions entières se désertifient sans que les habitants aient le temps de trouver des parades pour survivre. » Comme dans la notice sur le CO₂, l'idée est présente d'une *course de vitesse* contre l'évolution « catastrophique » en cours : « Maîtriser les rejets de CO₂, c'est se donner le temps de trouver des solutions... », lisait-on plus haut.

e) On aura observé que, au-delà de ces explications qu'on peut supposer *abrégées*, l'exposé insiste sur les « gestes simples à mettre en œuvre au quotidien ». On retrouve ainsi un répertoire de gestes déjà plus ou moins rencontrés. Certains d'entre eux sans doute sont collectifs – tel le fait de « favoriser les énergies qui ne rejettent pas de CO₂ » – mais d'autres s'adressent à chacun : prendre le bus plutôt que sa voiture, faire isoler son logement, utiliser des ampoules à basse consommation, éteindre la télévision quand on ne la regarde pas, ne pas gaspiller l'eau en laissant couler les robinets, manger « local » et non pas « hors saison »... La liste peut être allongée, nous le savons : prendre des douches et non des bains, et prendre même des *short showers*, etc. Mais on reste sur notre faim quant à la première partie de la question Q_▲ : *pourquoi* faudrait-il réduire les émissions de CO₂ et comment le faire ?

f) On aura remarqué l'existence d'une autre notice susceptible de nous éclairer : « Réchauffement climatique ». En voici le texte.

RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Notre **planète** se réchauffe : la température a augmenté en moyenne de 0,5 °C durant le XX^e siècle. Il est pratiquement certain que les activités humaines en sont responsables. Depuis plus de deux siècles en effet, nous rejetons d'énormes quantités de **gaz** qui renforcent l'**effet de serre** et peuvent ainsi augmenter la température de l'**atmosphère**. Si nous ne ralentissons pas nos rejets de gaz à effet de serre, la température risque de grimper de 1,5 °C à 6 °C d'ici à la fin du XXI^e siècle. Les conséquences pourraient alors être nombreuses et catastrophiques :

- Les déserts et les régions arides deviendront plus grands, la **désertification** s'étendra.
- L'eau des mers et des océans montera de 20 cm à 1 m et les rivages seront submergés.

- Les **tempêtes**, les ouragans et les cyclones seront plus nombreux.
- Les **glaciers** des montagnes fondront.

☺ **Comment lutter ?**

Pour lutter contre le réchauffement de la planète, il n'y a qu'une seule solution : réduire l'émission des gaz à effet de serre dans l'**air**. Pour l'instant, c'est l'inverse qui se produit. La population de la planète augmente et les émissions de gaz également. Les premiers à faire des efforts devraient être les pays industrialisés, responsables de 80 % des rejets de gaz à effet de serre. Malheureusement, certains d'entre eux comme les États-Unis, pourtant premiers producteurs de ces gaz, refusent de réduire leurs rejets de peur de ralentir leur croissance économique.

► **Quelques gaz à effet de serre produits par l'Homme**

- Le **CO₂**. En brûlant **charbon**, **pétrole** et **gaz naturel**, et en coupant les forêts, l'Homme a considérablement accru la quantité de CO₂ dans l'air : 30 % en deux siècles !
- Le méthane. Il provient de la dégradation de la matière vivante dans les milieux privés d'oxygène (marais, intestins d'**animaux**...). L'extension des rizières, le développement de l'**élevage** bovin ou la multiplication des **décharges** sont à l'origine de son augmentation dans l'air.
- Les halocarbones (CFC, HCFC, HFC...). Ces composés fabriqués industriellement trouent la **couche d'ozone** et renforcent l'effet de serre. Les plus connus sont les CFC, utilisés dans les réfrigérateurs et les bombes aérosols. Leur production est interdite depuis 1995 et leur utilisation fortement limitée. Leurs remplaçants, les HCFC et les HFC, sont également des gaz à effet de serre, mais moins actifs.

☺ **Comment lutter contre l'effet de serre ?**

- Limiter autant que faire se peut les déplacements en voiture inutiles.
- Privilégier les véhicules économes en essence.
- N'utiliser que les bombes aérosols qui fonctionnent à l'air comprimé.
- Consommer mieux, c'est-à-dire consommer moins.

La liste des « bons gestes » s'accroît un peu. S'ajoute ici, par exemple, le conseil de « n'utiliser que les bombes aérosols qui fonctionnent à l'air comprimé » et surtout ce précepte lourd de conséquences : consommer « mieux », c'est consommer *moins* ! On trouve encore, outre quelques précisions sur la nature des « gaz à effet de serre » (expression que nous n'avons pas rencontrée jusqu'ici), une affirmation décisive : « Pour lutter contre le réchauffement de la planète, il n'y a qu'une seule solution : réduire l'émission des gaz à effet de serre dans l'air. » Bien entendu, cette affirmation n'est pas, ici, justifiée. De plus, nous ignorons toujours en quoi consiste au juste « l'effet de serre ».

3.2.4. Nous ferons une dernière tentative de lecture inventoriante en choisissant un ouvrage récemment paru : l'*Antimanuel d'écologie*, dû à un partisan de la décroissance, le député Vert de Paris Yves Cochet (Bréal, 2009).

a) Cet ouvrage comporte le développement suivant.

Du local au global

L'exemple contemporain le plus notoire d'un passage d'activités locales à l'émergence de conséquences globales est la question du changement climatique dû à l'excès d'émissions de gaz à effet de serre. Ce problème considérable est désormais connu du grand public et reconnu par les décideurs, après de trop longues années d'ignorance, de déni ou de sous-estimation, alors que les écologistes n'ont cessé d'alerter sur ce point depuis trente-cinq ans. Le problème et sa solution peuvent être résumés très facilement : le dioxyde de carbone émis par la combustion des énergies fossiles existe en trop grande quantité dans l'atmosphère, il faut donc réduire la consommation de fossiles. Bien entendu, derrière cette phrase lapidaire se cache un phénomène complexe de changement climatique, garni de certaines controverses, et une foultitude de solutions, elles-mêmes sujettes à de nombreuses polémiques.

« Le réchauffement du système climatique est sans équivoque, comme le montrent aujourd'hui les observations de l'augmentation globale moyenne des températures de l'air et des océans, la fonte généralisée de la neige et de la glace, et la hausse globale moyenne du niveau des mers. » Ainsi commence le résumé du dernier rapport (AR4) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)². Les causes de ce réchauffement global sont clairement identifiées : « Les émissions globales de gaz à effet de serre (GES) dues aux activités humaines se sont accrues depuis l'époque préindustrielle, avec une augmentation de 70 % entre 1970 et 2004. » Les conséquences futures sont prévisibles : « La poursuite des émissions de GES en quantité supérieure ou égale au taux courant aggraverait le réchauffement de la planète et provoquerait de nombreux changements dans le système climatique mondial au cours du XXI^e siècle qui risquent fort d'être plus grands que ceux observés au cours du XX^e siècle. » Enfin, les efforts à effectuer sont évalués : « Un large éventail d'options d'adaptation, bien plus vaste que l'adaptation actuellement en cours, est nécessaire pour réduire la vulnérabilité aux changements climatiques. La capacité d'adaptation est intimement liée au développement économique et social, mais est inégalement répartie entre et au sein des sociétés. »

Quelles sont ces « activités humaines » qui perturbent le climat depuis deux siècles et demi ? Elles se répartissent en sept grands secteurs dont la contribution respective aux émissions mondiales de gaz à effet de serre est indiquée entre parenthèses : l'industrie (21 %), la déforestation (18 %), l'habitat (15 %), l'agriculture (15 %), les transports (14 %), la production d'énergie (14 %) et les déchets (3 %). Ces moyennes sectorielles planétaires se répartissent très différemment d'un pays à l'autre. Ainsi, dans les pays riches, le secteur des transports contribue à plus du quart des émissions, tandis que la déforestation est faible. De même, le volume moyen des émissions de gaz à effet de serre par personne, aujourd'hui de l'ordre de 6 tonnes équivalent CO₂, est très différent d'un pays à l'autre selon les modes de vie. Avec 25 tonnes équivalent CO₂, un Américain ou un Australien moyen émet deux fois plus qu'un Européen, six fois plus qu'un Chinois et douze fois plus qu'un Indien. Bref, de quelque côté que l'on examine les émissions de gaz à effet de serre et plus généralement l'impact du mode de vie sur la biosphère, il y a une forte corrélation entre les revenus par personne et l'empreinte écologique. Les riches consomment plus et polluent plus que les pauvres. Les riches doivent aux pauvres une immense dette écologique. Celle-ci est supérieure à la dette financière des pays pauvres : en calculant le coût des impacts de l'intensification agricole, de la déforestation, de la surpêche, de la destruction des mangroves, de l'amincissement de la couche d'ozone et du changement

climatique sur les économies des pays pauvres entre 1961 et 2000, les auteurs d'un récent rapport établissent clairement qui saccage le monde et qui en paye le prix ³. (pp. 32-34)

2. Intergovernmental Panel on Climate Change, Fourth Assessment Report, AR4, *Climate Change 2007*.

3. *The Guardian*. 21 janvier 2008.

b) En apprend-on plus dans ce vigoureux développement ? Un point y demeure encore et toujours mystérieux, qui est donc un point de silence dans cet exposé comme il l'était dans les précédents : le lien entre augmentation des émissions de GES et réchauffement climatique – un lien qui, encore une fois, est *supposé*, sans pour autant être explicité. Pour en savoir plus, nous passerons donc maintenant à une *lecture questionnante*.

3.3. Une enquête codisciplinaire

3.3.1. Soulignons d'abord que lecture questionnante et lecture inventoriante *ne s'excluent nullement l'une l'autre*. La première participe à l'instar de la seconde, *mais avec d'autres fonctions*, à l'étude de la question étudiée : pendant les lectures questionnantes, les lectures inventorianes ne cessent pas.

a) C'est ainsi que, au traitement dû à Yves Cochet, on pourrait ajouter le traitement suivant, signé d'Yvette Veyret dans un ouvrage cité plus haut, *Comprendre le développement durable*.

Le réchauffement climatique

Depuis la Conférence de Rio, le thème du réchauffement climatique n'a cessé d'occuper le devant de la scène médiatique; les discours tous plus dramatiques les uns que les autres ont montré les conséquences du processus de réchauffement : montée du niveau marin, disparition de certaines îles du Pacifique, ennoyage des espaces littoraux bas, déplacement des grands domaines climatiques, modification des précipitations, fonte du pergélisol, des glaciers y compris les grands inlandsis, augmentation des temps forts du climat, donc des risques pour les populations, modifications des écosystèmes et donc de la biodiversité. Ces derniers sont particulièrement inacceptables pour les tenants d'une « nature en équilibre », celle des permanences et de l'atemporalité que nous avons évoquée dans le chapitre II.

Le réchauffement s'inscrit dans les fluctuations naturelles des climats terrestres survenues à diverses échelles temporelles, plusieurs millions d'années, cent mille ans, et dix mille (au Quaternaire), puis mille ans (au cours de l'Holocène) et de manière plus brève encore quelques siècles (Petit Age Glaciaire) ou quelques années. Il pose la question de la part des gaz à effet de serre d'origine anthropique dans le processus. En dépit du large consensus qui semble émaner du groupe d'experts chargés d'analyser le climat et son évolution (GIEC, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, créé en 1988), le constat d'un réchauffement de la planète ne fait pas l'unanimité. Certains travaux semblent indiquer que si des espaces se réchauffent (Sud de la Russie, Asie méridionale, Australie, Europe de l'Ouest) d'autres se refroidissent : Nord-Est de l'Afrique, bassin méditerranéen central et oriental, extrême Nord de

l'Europe, Nord-Est de l'Amérique. Comment interpréter cela ? Quelle sera la durée de cet épisode ?

Mais des questions plus complexes encore surgissent quand on envisage les modèles proposés par les physiciens de l'atmosphère. Le nombre de paramètres est tel et leurs interrelations si complexes que l'on doit s'interroger sur les marges d'incertitudes associées à la modélisation. On est loin des certitudes, ou à tout le moins de ce que les médias présentent comme des certitudes. La rigueur scientifique doit conduire à plus de nuances, ce qui n'exclut pas de mettre en œuvre le principe de précaution et les autres solutions évoquées dans le chapitre I. (pp. 41-42)

b) La tonalité est ici quelque peu différente. Le fait du réchauffement de la planète cesse d'être un postulat non questionnable ; et surtout « la part des gaz à effet de serre d'origine anthropique dans le processus » du réchauffement éventuel apparaît elle-même comme plus incertaine que cela ne nous était apparu jusqu'ici. Ce tableau plus nuancé, plus incertain invite d'autant plus à aller plus loin dans l'enquête amorcée.

3.3.2. Une enquête sur une question donnée n'est pas un processus entièrement déterministe : plusieurs *parcours d'étude et de recherche* sont possibles.

a) Étant donné ce que nous avons rencontré jusqu'ici, un point de départ non déraisonnable consiste à interroger l'article que l'encyclopédie Wikipédia consacre à l'effet de serre (http://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_de_serre). Voici d'abord le texte de la section intitulée « Mécanisme sur Terre » (de l'effet de serre). (Les mots ou expressions en bleu portent des liens vers les articles correspondants de l'encyclopédie.)

Lorsque le rayonnement solaire atteint l'atmosphère terrestre, une partie (environ 28,3 %) est directement réfléchi, c'est-à-dire renvoyée vers l'espace, par l'air, les nuages blancs et la surface claire de la Terre, en particulier les régions blanches et glacées comme l'Arctique et l'Antarctique, c'est l'albédo qui n'est pas représenté sur le schéma. Les rayons incidents qui n'ont pas été réfléchis vers l'espace sont absorbés par l'atmosphère (20,7 %) et/ou la surface terrestre (51 %).

Cette dernière partie du rayonnement absorbée par la surface du sol lui apporte de la chaleur, autrement dit de l'énergie, qu'elle restitue à son tour, le jour comme la nuit, en direction de l'atmosphère sous forme de rayons infrarouges lointains en l'occurrence, dans la plage 8-13 µm principalement. C'est le « rayonnement du corps noir ». Ce rayonnement est alors absorbé en partie par les gaz à effet de serre, ce qui réchauffe l'atmosphère. Puis dans un troisième temps, cette chaleur est réémise dans toutes les directions, notamment vers la Terre.

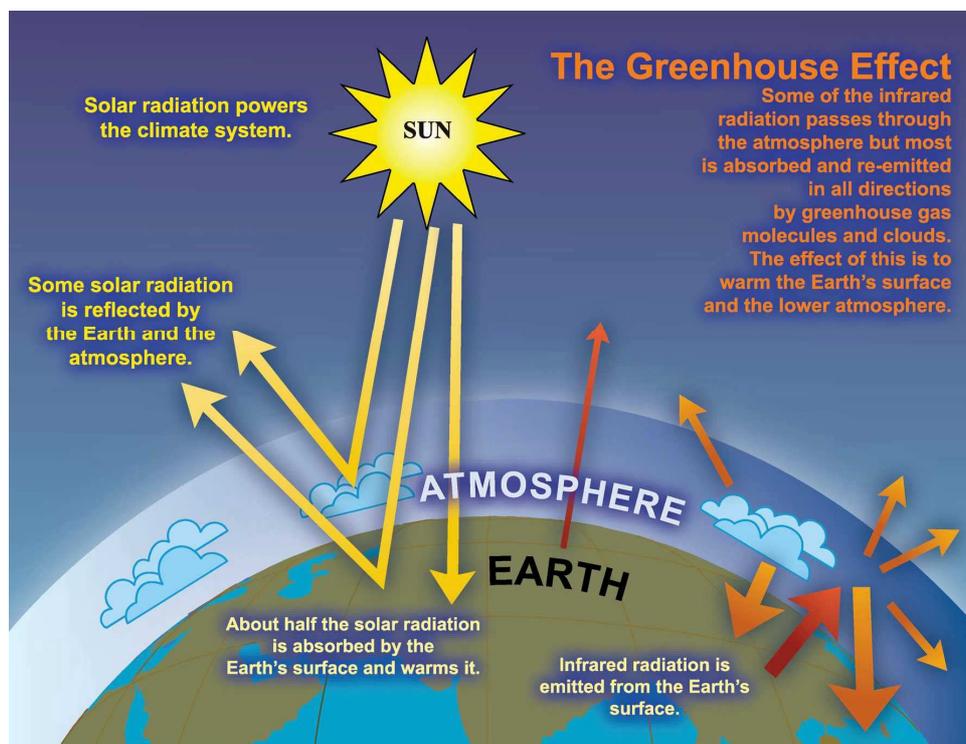
C'est ce rayonnement qui retourne vers la Terre qui constitue l'effet de serre, il est à l'origine d'un apport supplémentaire de chaleur à la surface terrestre. Sans ce phénomène, la température moyenne sur Terre chuterait d'abord à $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Puis, la glace s'étendant sur le globe, l'albédo terrestre augmenterait et la température se stabiliserait vraisemblablement à $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

On peut considérer l'atmosphère comme un réservoir d'énergie. Si l'effet de serre est plus efficace pour retenir l'énergie, en fait ralentir la déperdition de l'énergie, de ce réservoir se remplit – et l'énergie emmagasinée par la surface terrestre augmente.

En moyenne, l'énergie venue de l'espace et reçue par la Terre, et l'énergie de la Terre émise vers l'espace sont quasiment égales. Si ce n'était pas le cas, la température de surface de la Terre augmenterait sans cesse ou diminuerait sans cesse. En effet, si les échanges moyens d'énergie avec l'espace ne sont pas équilibrés, il y aura un stockage ou un déstockage d'énergie par la Terre. Ce déséquilibre provoquerait alors un changement de température de l'atmosphère (voir [Réchauffement climatique](#)).

L'effet de serre doit son nom à l'analogie entre l'atmosphère terrestre et une serre destinée à abriter des plantes. Les parois vitrées de la serre laissent entrer le rayonnement visible, qui transporte la majeure partie de l'énergie solaire, mais réfléchissent des rayonnements infrarouges, cause importante des pertes thermiques de tout corps (loi du corps noir). Le verre de la serre joue donc un rôle analogue à celui de l'atmosphère, qui contient les gaz à effet de serre.

On en apprend ici un peu plus sur le rôle qui serait celui du CO₂ et des autres GES : ces gaz absorberaient une partie du « rayonnement infrarouge » provenant de la Terre, puis relâcherait la chaleur correspondante « dans toutes les directions, notamment vers la Terre ». On en vient alors à cette « définition » de l'effet de serre : « c'est ce rayonnement qui retourne vers la Terre qui constitue l'effet de serre. » La description proposée dans ce passage peut être illustrée par le schéma ci-après, qui figure dans le chapitre 1 d'un document mentionné par Yves Cochet sous le titre *Climate Change 2007* (on le trouvera à l'adresse suivante : http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Print_Ch01.pdf).



b) Bien entendu, des points de difficulté nouveaux apparaissent. On peut par exemple trouver avantage à savoir ce que désigne le terme d'*albédo* ; voici donc un court extrait de l'article de même nom de *Wikipédia*.

L'albédo est le rapport de l'énergie solaire réfléchi par une surface sur l'énergie solaire incidente. On utilise une échelle graduée de 0 à 1, avec 0 correspondant au noir, pour un corps sans aucune réflexion, et 1 au miroir parfait, pour un corps diffusant dans toutes les directions et n'absorbant rien du rayonnement électromagnétique visible qu'il reçoit.

Dans la pratique, un corps est perçu comme blanc dès qu'il réfléchit au moins 80 % de la lumière d'une source lumineuse blanche. À l'inverse tout corps réfléchissant moins de 3 % de la lumière incidente paraît noir.

c) Avant de s'arrêter à nouveau sur ce qui peut demeurer opaque pour nous, on contrôlera le passage cité par le ou les passages analogues de l'article correspondant *en anglais* (auquel on accède en cliquant, dans la marge de droite, dans l'encadré « Autres langues », sur [English](#)). On arrive ainsi à l'article "Greenhouse effect" qui offre d'abord la description suivante du mécanisme de base ("Basic mechanism") de l'effet de serre.

The Earth receives energy from the Sun mostly in the form of visible light. The bulk of this energy is not absorbed by the atmosphere since the atmosphere is transparent to visible light. 50% of the sun's energy reaches the Earth and is absorbed by the surface as heat. Because of its temperature, the Earth's surface radiates energy in infrared range. The Greenhouse gases are not transparent to infrared radiation so they absorb infrared radiation. Infrared radiation is absorbed from all directions and is passed as heat to all gases in the atmosphere. The atmosphere also radiates in the infrared range (because of its temperature, in the same way the Earth's surface does) and does so in all directions. The surface and lower atmosphere are warmed because of the greenhouse gases and makes our life on earth possible.

Cet extrait comporte quelques points qui méritent une compréhension plus approfondie. À cause de sa température, y compris, la Terre émet de l'énergie sous forme de radiations infrarouges. Le fait qu'il s'agisse d'ondes infrarouges serait donc lié à la température du corps qui émet l'énergie. Apparemment, ces radiations infrarouges – qui, d'après l'article en français, aurait une longueur d'onde comprise environ entre 8 et 13 μm (un micromètre est égal à un millième de millimètre) – sont alors absorbées par les GES présents dans l'atmosphère et la chaleur qui en résulte diffuse dans l'atmosphère. Toujours pour des raisons de température (de l'atmosphère, cette fois), l'atmosphère émet des radiations infrarouges, dont une partie va chauffer les basses couches de l'atmosphère et la Terre – ce serait cela « l'effet de serre ».

c) Il peut être utile, en ce point, de clarifier un peu la question des « radiations infrarouges ». On a vu plus haut que le passage de l'article « Effet de serre » proposait un lien porté par l'expression [rayons infrarouges](#) : ce lien conduit à l'article « Infrarouge », dans lequel on trouve le développement que voici. On se rappellera qu'un nanomètre (1 nm) est égal à 10^{-9}

mètre, donc à un millième de micromètre (le micromètre était appelé autrefois *micron*) ; et que le zéro de la température absolue, 0 K, se situe à $-273,15$ °C environ.

Le nom signifie « en deçà du rouge » (du latin *infra* : « plus bas »), car l'infrarouge est une onde **électromagnétique** de fréquence inférieure à celle de la lumière rouge (et donc de longueur d'onde supérieure à celle du **rouge** qui va de 500 à 780 nm. La longueur d'onde de l'infrarouge est comprise entre 780 nm et 1 000 000 nm.

L'infrarouge est subdivisé en IR proche (PIR : de 0,78 μm à 1,4 μm), IR moyen (MIR : de 1,4 à 3 μm) et IR lointain (de 3 μm à 1 000 μm). Cette classification n'est cependant pas universelle : les frontières varient d'un domaine de compétence à l'autre sans que l'on ne puisse donner raison à qui que ce soit. Le découpage peut être lié à la longueur d'onde (ou à la fréquence) des émetteurs, des récepteurs (détecteurs), ou encore aux bandes de transmission atmosphérique.

L'infrarouge est associé à la **chaleur** car, à **température** ambiante ordinaire, les objets émettent spontanément des radiations dans le domaine infrarouge ; la relation est modélisée par la loi du rayonnement du **corps noir** dite aussi **loi de Planck**. La longueur d'onde du maximum d'émission d'un corps noir porté à une **température** absolue T (en **kelvin**) est donnée par la relation $2\,898/T$ connue sous le nom de loi du **déplacement de Wien**. Cela signifie qu'à température ambiante ordinaire (T aux environs de 300 K), le maximum d'émission se situe aux alentours de 10 μm , la plage concernée étant 8-13 μm . Sur la terre, un **télescope** observant dans cette gamme de longueur d'onde serait donc aveuglé par le **fond thermique** émis par les objets environnants, c'est pourquoi on envoie les télescopes infrarouges dans l'espace. Cette association entre l'infrarouge et la chaleur n'est cependant due qu'à la gamme de température observée sur la terre. Il est parfaitement possible de générer un rayonnement infrarouge qui ne soit pas thermique, c'est-à-dire dont le spectre ne soit pas celui du corps noir ; par exemple, les **diodes électroluminescentes** utilisées dans les **télécommandes** « n'émettent pas de chaleur ».

d) Plus encore que dans les textes antérieurement examinés, on doit ici faire fonctionner la *dialectique des boîtes noires et des boîtes claires* (voir à ce propos l'unité 7 du *cours de didactique fondamentale*), associée à quelques gestes « excriptifs » simples – par exemple le calcul du quotient de 2898 par 300 (on a $2898 \div 300 = 9,66$) pour contrôler l'affirmation que « le maximum d'émission se situe aux alentours de 10 μm ». En un premier parcours, on pourra laisser leur statut (éventuel) de boîtes noires aux expressions « corps noir », « loi de Planck », etc. Pour abaisser un peu le niveau de gris, on peut par exemple considérer le graphique ci-après, extrait de l'article « Infrarouge » déjà cité.

v · d · m [Enrouler]														
Spectre électromagnétique														
Spectre électromagnétique : Radioélectricité · Spectre radiofréquence · Bandes VHF-UHF · Spectre micro-ondes														
Fréquence	9 kHz	1 GHz	300 GHz	3 THz	405 THz	480 THz	508 THz	530 THz	577 THz	612 THz	690 THz	750 THz	30 PHz	30 EHz
Longueur d'onde	33 km	30 cm	1 mm	100 μm	746 nm	625 nm	590 nm	565 nm	520 nm	490 nm	435 nm	400 nm	10 nm	5 pm
Bande	ondes radio	micro-ondes	téraherz	infrarouge	rouge	orange	jaune	vert	cyan	bleu	violet	ultraviolet	rayons X	rayons γ
		rayonnements pénétrants			lumière visible							rayonnements ionisants		

On peut aussi trouver éclairant tel passage que, *a priori*, on n'aurait peut-être pas pensé à examiner ; ainsi en va-t-il ici du passage suivant relatif à l'« histoire » de l'infrarouge.

Le rayonnement infrarouge est intuitivement perceptible par la simple exposition de la peau à la chaleur émise par une source chaude dans le noir, mais il ne fut prouvé qu'en 1800 par [William Herschel](#), un [astronome anglais](#) d'origine [allemande](#), au moyen d'une expérience très simple : Herschel a eu l'idée de placer un [thermomètre à mercure](#) dans le [spectre](#) obtenu par un [prisme](#) de verre afin de mesurer la chaleur propre à chaque couleur. Le thermomètre indique que la chaleur reçue est la plus forte du côté rouge du spectre, y compris au delà de la zone de lumière visible, là où il n'y avait plus de lumière. C'était la première expérience montrant que la chaleur pouvait se transmettre indépendamment d'une lumière visible (ce phénomène était parfois appelé à l'époque la *chaleur obscure*).

Il a dans le même temps montré qu'un prisme pouvait dévier un rayon calorique.

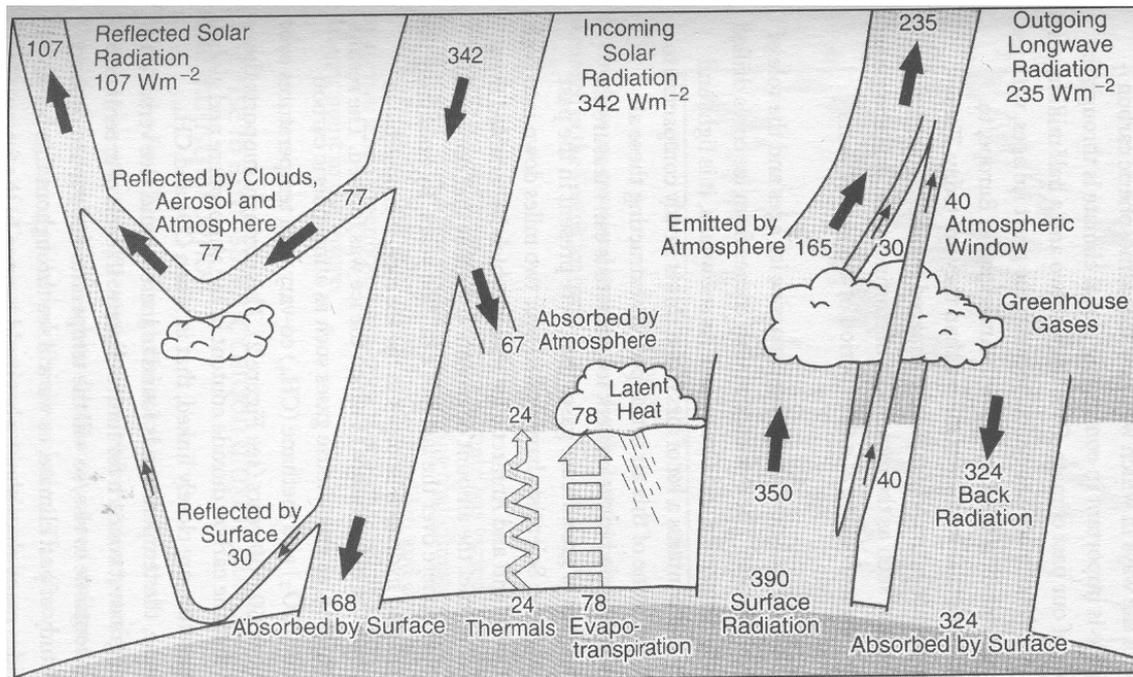
3.3.3. Poursuivons maintenant le « contrôle » de l'article « Effet de serre » (en français) à l'aide de l'article “Greenhouse effect” (en anglais).

a) Après la section intitulée “Basic mechanism” figure une section plus développée, ainsi que son nom l'indique : “Detailed explanation”. Il s'agit là d'un passage qui suppose une certaine *persévérance épistémologique et didactique*. Nous le découvrirons en deux temps : en voici la première partie.

The Earth receives energy from the Sun in the form of [radiation](#). Most of the energy is in visible wavelengths and in infrared wavelengths that are near the visible range (often called “near infrared”). The Earth [reflects](#) about 30% of the incoming solar radiation. The remaining 70% is absorbed, warming the land, atmosphere and ocean.

For the Earth's temperature to be in [steady state](#) so that the Earth does not rapidly heat or cool, this absorbed [solar radiation](#) must be very closely balanced by energy radiated back to space in the [infrared](#) wavelengths. Since the intensity of infrared radiation [increases with increasing temperature](#), one can think of the Earth's temperature as being determined by the infrared flux needed to balance the absorbed solar flux. The [visible solar radiation](#) mostly heats the surface, not the atmosphere, whereas most of the infrared radiation escaping to space is emitted from the upper atmosphere, not the surface. The infrared photons emitted by the surface are mostly absorbed in the atmosphere by greenhouse gases and clouds and do not escape directly to space. The reason this warms the surface is most easily understood by starting with a simplified model of a purely radiative greenhouse effect that ignores energy transfer in the atmosphere by [convection](#) (sensible heat transport, [Sensible heat flux](#)) and by the [evaporation](#) and [condensation](#) of [water vapor](#) (latent heat transport, [Latent heat flux](#)). In this purely radiative case, one can think of the atmosphere as emitting infrared radiation both upwards and downwards. The upward infrared flux emitted by the surface must balance not only the absorbed solar flux but also this downward infrared flux emitted by the atmosphere. The surface temperature will rise until it generates thermal radiation equivalent to the sum of the incoming solar and infrared radiation.

Explicitement, on a là une description « simplifiée », qui permet d’imaginer le mécanisme de réchauffement éventuel (quand on a dépassé les conditions du *steady state*, de l’état stationnaire) : l’élévation de la température de la Terre engendre un flux d’énergie vers l’atmosphère qui va compenser le flux de l’énergie solaire absorbée par la Terre *plus* le rayonnement infrarouge envoyé vers la Terre par l’effet de serre. On peut visualiser ce modèle, de façon plus précise, par le schéma emprunté à l’ouvrage de Mark Maslin intitulé *Global Warming. A Very Short Introduction* (Oxford University Press, 2009, p. 5) que l’on trouvera ci-après et sur lequel un certain travail peut être accompli.



b) Voici maintenant la seconde partie du passage visité.

A more realistic picture taking into account the convective and latent heat fluxes is somewhat more complex. But the following simple model captures the essence. The starting point is to note that the opacity of the atmosphere to infrared radiation determines the height in the atmosphere from which most of the photons are emitted into space. If the atmosphere is more opaque, the typical photon escaping to space will be emitted from higher in the atmosphere, because one then has to go to higher altitudes to see out to space in the infrared. Since the emission of infrared radiation is a function of temperature, it is the temperature of the atmosphere at this emission level that is effectively determined by the requirement that the emitted flux balance the absorbed solar flux.

But the temperature of the atmosphere generally decreases with height above the surface, at a rate of roughly $6.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ per kilometer on average, until one reaches the [stratosphere](#) 10-15 km above the surface. (Most infrared photons escaping to space are emitted by the [troposphere](#), the region bounded by the surface and the stratosphere, so we can ignore the stratosphere in this simple picture.) A very simple model, but one that proves to be remarkably useful, involves the assumption that this temperature profile is simply fixed, by the non-radiative energy fluxes.

Given the temperature at the emission level of the infrared flux escaping to space, one then computes the surface temperature by increasing temperature at the rate of 6.5 °C per kilometer, the environmental [lapse rate](#), until one reaches the surface. The more opaque the atmosphere, and the higher the emission level of the escaping infrared radiation, the warmer the surface, since one then needs to follow this lapse rate over a larger distance in the vertical. While less intuitive than the purely radiative greenhouse effect, this less familiar *radiative-convective* picture is the starting point for most discussions of the greenhouse effect in the [climate modeling](#) literature.

Pour les besoins de la cause, nous admettrons ici que le mécanisme proposé ici nous reste... opaque ; et nous retiendrons seulement la fin de l'extrait, qui indique que le modèle évoqué est le point de départ de la plupart des débats à propos du rôle de l'effet de serre dans les prédictions climatiques actuelles – ce qui indique au moins qu'il y a débat entre les spécialistes eux-mêmes !

c) Un aspect inattendu que l'on peut découvrir ici concerne l'expression même d'effet de serre. L'article "Greenhouse effect" comporte encore, en effet, le passage suivant.

The term "greenhouse effect" can be a source of confusion as actual greenhouses do not function by the same mechanism the atmosphere does. Various materials at times imply incorrectly that they do, or do not make the distinction between the processes of radiation and convection.

The term "greenhouse effect" originally came from the greenhouses used for gardening, but as mentioned the mechanism for greenhouses operates differently. Many sources make the "heat trapping" analogy of how a greenhouse limits convection to how the atmosphere performs a similar function through the different mechanism of infrared absorbing gases.

A greenhouse is usually built of glass, plastic, or a plastic-type material. It heats up mainly because the sun warms the ground inside it, which then warms the air in the greenhouse. The air continues to heat because it is confined within the greenhouse, unlike the environment outside the greenhouse where warm air near the surface rises and mixes with cooler air aloft. This can be demonstrated by opening a small window near the roof of a greenhouse: the temperature will drop considerably. It has also been demonstrated experimentally (Wood, 1909) that a "greenhouse" with a cover of rock salt heats up an enclosure similarly to one with a glass cover. Greenhouses thus work primarily by preventing convection; the atmospheric greenhouse effect however reduces radiation loss, not convection.

Dans l'article mentionné de R. W. Wood (1909), "Note on the Theory of the Greenhouse", on lit notamment ceci.

I have always felt some doubt as to whether this action played any very large part in the elevation of temperature. It appeared much more probable that the part played by the glass was the prevention of the escape of the warm air heated by the ground within the enclosure. If we open the doors of a greenhouse on a cold and windy day, the trapping of radiation appears to

lose much of its efficacy. As a matter of fact I am of the opinion that a greenhouse made of a glass transparent to waves of every possible length would show a temperature nearly, if not quite, as high as that observed in a glass house. The transparent screen allows the solar radiation to warm the ground, and the ground in turn warms the air, but only the limited amount within the enclosure. In the "open," the ground is continually brought into contact with cold air by convection currents.

3.3.4. Nous arrêterons là l'enquête envisagée dans ce qui précède : il est temps, en effet, de conclure.

3.4. Pour conclure

3.4.1. L'amorce d'enquête réalisée suffit pour illustrer que l'« information » reçue spontanément par les grands médias et même par des canaux plus spécialisés appelle en règle générale une *réception critique*.

a) L'effet de serre, par exemple, ne saurait être compris à partir de la seule comparaison avec une serre de jardin. De même, le passage suivant, rencontré plus haut, devrait alerter l'esprit critique du citoyen ou du futur citoyen.

Sans cet effet naturel bénéfique, la température moyenne à la surface de la Terre ne serait pas de + 15 °C mais de -18 °C !

Ce qui peut retenir l'attention, en effet, est la dissymétrie entre les deux températures avancées : +15 °C et -18 °C. D'où ces valeurs numériques peuvent-elles bien provenir ?

b) Pour la première, il s'agit, peut-on penser, du résultat d'un calcul exploitant des relevés de températures faits tout autour du globe terrestre. C'est ce que semble confirmer ce passage d'un ouvrage écrit par deux chercheurs spécialistes, Hervé Le Treut et Jean-Marc Jancovici, *L'effet de serre. Allons-nous changer le climat ?* (Flammarion, 2004).

Établir un diagnostic de l'évolution du climat requiert de choisir des indices intégrant ce qui peut se passer un peu partout sur la planète. Le plus utilisé est la température moyenne au sol, température qui, depuis le début de l'ère industrielle, a augmenté de 0,6 à 0,9 degré – une augmentation qui paraît supérieure aux variations naturelles du climat estimées sur le dernier millénaire.

Quel crédit accorder à cette estimation ? La mesure des températures moyennes au sol est certes difficile, mais s'est affinée au fil des années. La mise en place d'un réseau de mesures météorologiques systématiques sur les continents date d'à peine plus d'un siècle. Les équipes scientifiques qui ont entrepris d'analyser ces données ont dû rapidement travailler à l'élimination de plusieurs sources d'erreurs, dues notamment à l'interaction de facteurs non strictement climatiques. Les stations situées au centre d'agglomérations en plein développement sont affectées par l'effet « îlot de chaleur » d'une concentration urbaine, qui provient à la fois du

chauffage, de la circulation automobile et de l'inertie thermique des bâtiments. Certaines ont néanmoins pu être placées à proximité des aéroports. Pendant la même période, les mesures systématiques de la température de l'eau de mer par les bateaux se sont généralisées. Là aussi, l'analyse de ces données a réclamé un travail difficile et soigneux : les équipes scientifiques qui ont effectué ces études ont recensé les méthodes en usage dans chaque marine, civile ou militaire, pour en corriger les biais : la température varie selon qu'on utilise un seau en bois plutôt qu'un seau en fer pour recueillir l'eau ; de même, la température mesurée sur le bateau à la prise d'eau des machines est différente de celle mesurée par un thermomètre directement plongé dans l'eau. Ces scientifiques ont également recoupé les données marines et terrestres en utilisant les stations météorologiques sur les îles, afin de réduire leur marge d'erreur. Autre obstacle à une mesure précise : les points de mesure ne sont pas distribués de manière égale à la surface du globe, et des méthodes statistiques sophistiquées ont été nécessaires pour pondérer les moyennes en fonction de la représentativité de chaque mesure.

Nous avons désormais une base beaucoup plus solide pour valider ces calculs : depuis deux décennies, des satellites effectuent des mesures de la température de surface, mesures régulièrement distribuées sur la planète, et permettent d'établir des moyennes en bonne continuité avec les estimations antérieures. (pp. 79-80)

c) On notera que cette température moyenne est le fruit d'une procédure complexe, qui requiert, selon les auteurs, des techniques mathématiques « sophistiquées ». Cela dit, d'où provient alors la température -18°C ? Celle-ci ne peut guère avoir été *mesurée* (ou du moins déterminée par prise de moyenne à partir de relevés de températures). Il est raisonnable de penser qu'elle provient d'un modèle théorique mathématique : là-dessus, le lecteur intéressé pourra poursuivre l'enquête, par exemple en suivant, dans l'article "Greenhouse effect" de Wikipedia, le lien porté par le texte "Idealized greenhouse model"...

3.4.2. Faute d'une telle réception critique, qui suppose de conduire des enquêtes plus ou moins approfondies, sans doute, mais en tout cas *persévérantes*, le corpus des praxéologies qui diffusent dans la société – parfois, hélas ! par le truchement de l'école – tend à constituer un credo dogmatique et naïf, outillage fragile générateur de débats et de prises de position sinon toxiques, du moins souvent sans pertinence.

a) La simplification qui va de pair, en règle générale, avec la fabrication d'un « catéchisme » peut laisser à la merci d'informations « paradoxales » pour une culture de sens commun en matière de développement durable. Voici un exemple récent décrit par un article paru dans le quotidien *Le Monde* dans son édition du 24 avril 2009 sous la signature de Véronique Labonté. (L'article de la revue *Nature* mentionné peut être obtenu à l'adresse suivante : <http://www.nature.com/nature/journal/v458/n7241/full/nature07949.html>.)

La pollution de l'air freinerait le réchauffement

Dépolluer l'atmosphère peut-il aggraver le réchauffement du climat ? Il y a quelques semaines, des chercheurs avaient annoncé qu'un ciel plus clair, débarrassé de ses aérosols, pourrait

contribuer à augmenter les températures au sol. Une équipe britannique décrit dans la revue *Nature* du 23 avril un autre phénomène, qui concourt au même résultat.

Elle a ainsi calculé que les particules en suspension dans l'atmosphère, en contribuant à la diffusion du rayonnement solaire, ont tendance à accroître le processus de photosynthèse et, par conséquent, à augmenter l'absorption par le sol et les plantes du CO₂, principal gaz à effet de serre. Quand l'air est pur, au contraire, le rayonnement est direct et les végétaux se font eux-mêmes de l'ombre, ce qui diminue leur capacité à capter le CO₂ atmosphérique.

L'accroissement de la pollution de l'air entre 1960 et 1999 aurait conduit à une augmentation de 25 % du stockage de carbone par les végétaux. « *L'augmentation de la photosynthèse par le rayonnement diffus était quelque chose de connu, mais il n'avait jamais été appliqué au cycle du carbone* », explique Olivier Boucher, directeur de l'équipe climat, chimie et écosystèmes au Met Hadley Center, et cosignataire de l'étude.

La pollution atmosphérique a cependant un autre effet, antagoniste : plus l'air est pollué, moins les rayons du Soleil parviennent à la surface de la Terre. C'est ce qu'on appelle l'obscurcissement global. Si l'on déduit la perte de stockage de CO₂ causée par ce phénomène, les chercheurs estiment à 10 % l'augmentation nette du puits de carbone causée par la pollution atmosphérique.

UNE SEULE SOLUTION...

« *Nous avons des études parcellaires sur le phénomène, réalisées dans certaines régions géographiques précises, mais c'est la première fois qu'une étude mondiale est effectuée* », explique l'auteur principal, Lina Mercado.

Ces résultats viennent ajouter une nouvelle dimension à la lutte contre le réchauffement climatique. « *L'effet de réduction de la pollution de l'air au cours du prochain siècle ne sera pas dramatique puisqu'il est impossible d'éliminer toutes les particules en suspension dans l'atmosphère* », estime Olivier Boucher. Mais ces nouvelles données soulignent le risque à long terme d'une perte de capacité du puits de carbone végétal. Pour contrer ce phénomène, il ne semble y avoir qu'une seule solution... réduire au maximum les émissions de CO₂.

b) Pour terminer, on méditera une petite fiction due à l'équipe de l'émission télévisée Groland, qu'on trouvera à l'adresse suivante : <http://vu-et-a-voir.blogspot.com/2008/08/ecolo-bobo.html>.