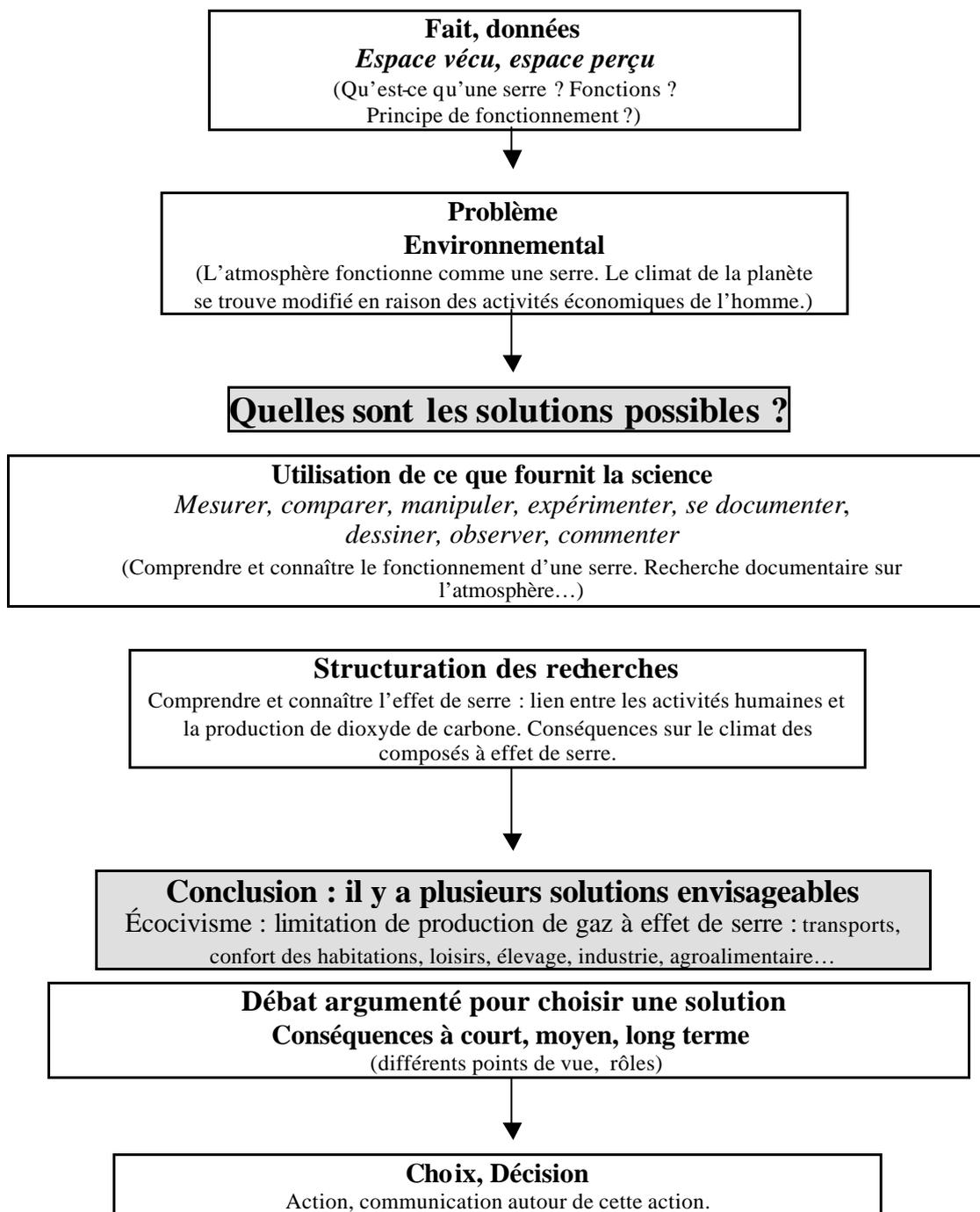


L'effet de serre

Un projet pédagogique et écocivique pour le primaire.....

L'effet de serre

Une démarche scientifique au service de l'éducation à l'environnement



(D'après : Atelier Environnement, Université d'été - Les sciences à l'école, 2000)

La place dans les programmes

Cycle de l'école primaire concerné : Cycle 3

Références aux programmes :

Référence aux Instructions Officielles de 2002 : [<http://www.eduscol.education.fr/D0048/prim-Cycle-3.pdf>].

1- Sciences expérimentales et technologie :

Cette activité relève de la thématique éducation à l'environnement : *“L'éducation à l'environnement est transdisciplinaire. En liaison avec l'éducation civique, elle développe une prise de consciences de la complexité de l'environnement et de l'action exercée par les hommes.”* (Extrait des programmes), mais aussi de l'éducation à la santé *“Conséquences à court et long terme de notre hygiène ; actions bénéfiques ou nocives de nos comportements”* (Extrait des programmes)

2- Education civique

Cette activité permet d'aborder un des grands problèmes éthique et environnemental de notre temps (dus en grande partie au développement économique)

Extrait du programme : *“Par les sciences, il [l'enfant] mesure les menaces qui pèsent sur l'environnement et la responsabilité de chacun.”* (Extrait des programmes) La connaissance des *“responsabilités que nous avons à l'égard de l'environnement”* sont des compétences devant être acquises en fin de cycle.

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

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

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

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

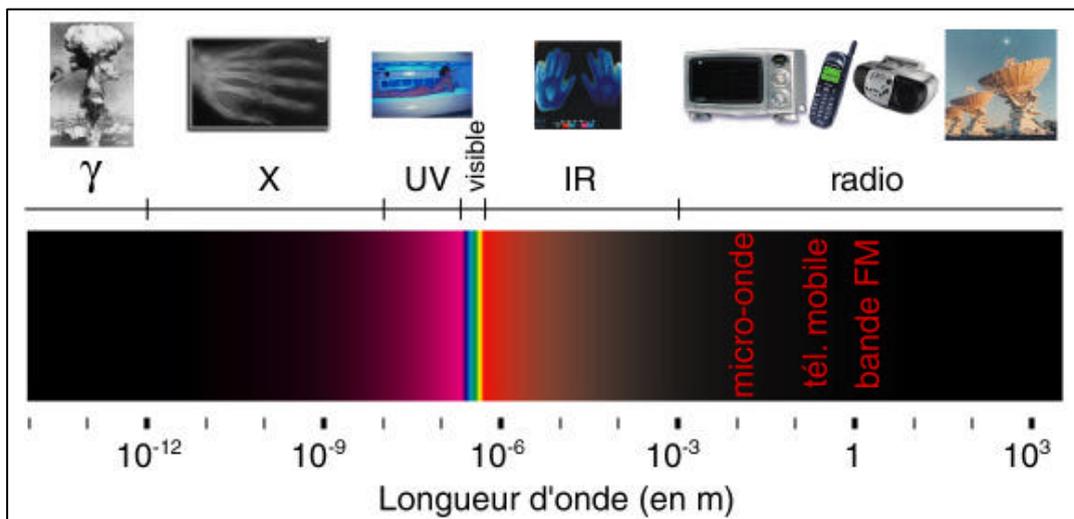


Figure 1 : Les différents rayonnements du spectre lumineux.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Références aux fiches connaissances : Objectifs notionnels

Fiche N°	Titre de la fiche	Contenus de l'activité "effet de serre" liés à ces connaissances (d'après les fiches connaissances)
2	Mélanges et solutions	Pour relever des températures, utilisation sera faite de thermomètres. On abordera simplement la notion de mélange gazeux, permettant ainsi de considérer le dioxyde de carbone comme un composé naturel de l'air.
6	Besoins des végétaux	L'approfondissement de l'étude des besoins des végétaux, abordée en cycle 2, permettra aux élèves de se questionner au sujet des paramètres environnementaux que la serre permet d'amplifier.
9	De l'ordre dans le monde vivant.	Grâce à la visite de la serre et au questionnement qui en découle, les élèves réfléchissent sur les liens entre les organismes et le milieu. La notion de facteur environnemental peut être abordée (température, hygrométrie...)
13	Énergie.	On ne tente pas, au niveau de l'école, une véritable introduction du concept scientifique d'énergie. Les notions de consommation et d'économies d'énergie seront abordées. On discutera de l'intérêt de certaines sources d'énergie simples, renouvelables et économiquement intéressantes (chauffage solaire, par exemple)
18	Système solaire et Univers.	La comparaison de quelques caractéristiques (température de surface, composition atmosphérique) de certaines planètes (Terre, Mars, Vénus), dans une phase de recherche documentaire, introduira la notion d'atmosphère, notion simplement effleurée à l'école primaire.
23	Rôle et place des êtres vivants dans leur milieu (relation).	On travaillera dans l'esprit d'une approche écologique à partir de l'environnement proche. A travers les conséquences de l'effet de serre sur l'environnement, sera discuté l'adaptation des êtres vivants aux conditions du milieu.

Certaines séances de ce module relèveront des mathématiques, de la maîtrise de la langue, de la technologie ou de l'éducation civique. Les compétences visées lors de chaque séance sont alors précisées.

SOMMAIRE DE LA SÉQUENCE

ÉTAPE 1 – QU'EST-CE QU'UNE SERRE ?

Séance 1 – Conceptions des élèves.	(Sciences ; Langue française)
Séance 2 – Préparation de la visite d'une serre.	(Sciences ; Langue française)
Séance 3 – Visite d'une serre.	(Interdisciplinaire)
Séance 4 – Bilan de visite et émission d'hypothèses.	(langue française et éducation civique)

ÉTAPE 2 – LES CARACTERISTIQUES D'UNE SERRE

Séance 5 – Comment fabriquer une serre ?	(Technologie)
Séance 6 – Construisons une serre.	(Technologie et éduc. civique)
Séance 7 – Mesurons les températures dans nos serres.	(Sciences et Mathématiques)
Séance 8 – Modélisons une serre.	(Sciences et Mathématiques)
Séance 9 – Modifions des paramètres.	(Sciences et Mathématiques)

ÉTAPE 3 – RECHERCHE DOCUMENTAIRE SUR L'ATMOSPHÈRE

Séance 10 – Atmosphères ?	(Lire, Ecrire en sciences)
Séance 11 – Revenons sur Terre.	(Recherche documentaire)

ÉTAPE 4 – DE LA SERRE A L'EFFET DE SERRE

Séance 12 – L'atmosphère fonctionne comme une serre.(Educ Civique –Débat ; Sciences)
Séance 13 – Influence des gaz à "effet de serre" sur la température.(Évaluation ;Sciences)

ÉTAPE 5 – ÉCOCIVISME : DU CONSTAT A L'ACTION

Séance 14 - Activités humaines et production de dioxyde de carbone. (Mathématiques)
Séance 15 - Conséquences sur le climat des composés à effet de serre. (Sciences)
Séance 16 – Décisions et actions (Éducation civique)

Matériel

Pour une classe de 30 élèves (proposition sur la base de 5 groupes de 6 élèves)

- 5 chronomètres (ou des montres)
 - 10 thermomètres «à sonde » identiques ou 5 thermocouples (ou intérieur-extérieur) (1)
 - 5 lampes de bureau, ampoule de type halogène (25 W ; 50W ou les deux) ;
 - 10 fonds de bouteilles en plastique ;
 - du papier cellophane, du carton, un couvercle métallique, du plastique « jardinier »(2)
 - du terreau de repiquage ;
 - 5 petits tuyaux en plastique (ou 5 crayons Bic) ; un tuyau de caoutchouc ;
 - un petit robinet du diamètre du tuyau en caoutchouc
 - 1 petite bonbonne de dioxyde de carbone ou bombe aérosol de gaz carbonique,
 - des élastiques, 5 ballons de baudruche
 - de la pâte à modeler ou de la colle à plastique.
- Selon les hypothèses des enfants : saladiers ou bols de différents diamètres, de différentes tailles ; plastiques de différentes épaisseurs, de différentes matières...

(1) Précisions quant aux relevés de températures

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

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

(2) Précisions quant aux matières plastiques utilisées

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

UN DÉROULEMENT POSSIBLE

Étape	Séance	Titre de la séance	Scénario
QU'EST-CE QU'UNE SERRE ?	1	Conception des élèves	Recueillir les conceptions initiales des élèves au sujet de « l'effet de serre » ;
	2	Préparation de la visite d'une serre	préparer collectivement la visite d'une serre et l'« interview » de son responsable en se documentant préalablement.
	3	Visite d'une serre	Visiter la serre et interviewer le responsable de la serre pour obtenir des renseignements (comme une recherche documentaire) ; se rendre compte des conditions environnementales particulières générées par la serre et de son architecture.
	4	Bilan de visite et hypothèses	Générer un questionnaire des élèves au sujet de l'utilité de la serre et de son fonctionnement ; proposer des hypothèses à ce sujet, établir un protocole expérimental (qui peut demander l'élaboration d'un modèle.
LES CARACTERISTIQUES DE LA SERRE	5	Comment construire une serre	Élaborer le « plan » d'une serre.
	6	Construisons une serre	Réalisation technologique de prototypes.
	7	Mesurons la température dans nos serres	Critiques des réalisations, hypothèses au sujet des paramètres à tester et détermination d'un protocole expérimental
	8	Modélisons une serre	À partir des serres déjà élaborées par les élèves en choisir une ou modéliser une « serre-type » à partir des points communs de celles-ci. Il pourra être relevé la température qui y règne dans des conditions normales.
	9	Modifions des paramètres	À partir de cette serre-type, faire varier un paramètre structurel (nature, opacité, épaisseur des matériaux de construction ...) ou environnemental tels que : ensoleillement, « fond » de la serre, etc....., avec pour objectif d'améliorer les performances (T°) de la serre.

RECHERCHE DOCUMENTAIRE	10	Atmosphères ?	Comprendre que la terre possède une « couche gazeuse » contrairement à d'autres planètes ou satellites du système solaire. Savoir que cette couche possède des propriétés de conservation de la chaleur et de diffusion de la lumière.
	11	Revenons sur Terre	Se documenter sur la composition de l'atmosphère terrestre, aborder la notion de mélange (gazeux). Se documenter sur ce qui est appelé « effet de serre » et sur les gaz responsables de cet effet (CO ₂ , vapeur d'eau, méthane).
DE LA SERRE A L'EFFET DE SERRE	12	L'atmosphère fonctionne comme une serre.	Transposer le modèle de la serre à la planète terre. Séance organisée autour d'une discussion du groupe-classe. Emettre des hypothèses pour tester l'effet d'un exemple de gaz à effet de serre ; détermination du protocole expérimental à l'aide du modèle-serre (séance 4)
	13	Influence des gaz à effet de serre	Expérimenter sur la composition du mélange gazeux (on préférera faire varier la quantité de CO ₂) présent à l'intérieur de la serre ; relever et organiser les résultats (variations de température) Conclure sur l'effet de ce gaz.
ÉCOCIVISME : DES CONSTATS à L'ACTION	14	Activités humaines et production de dioxyde de carbone	À l'aide d'une discussion au sujet de quelques phénomènes générateurs de composés carbonés (combustion, respiration, etc...), relever les activités humaines ayant pour conséquence une émission de dioxyde de carbone. Les quantifier.
	15	Conséquences sur le climat de l'augmentation de la présence de composés à effet de serre.	Grâce à une discussion-synthèse et des documents comprendre que l'influence de ces composés carbonés sur la température provoque, à plus ou moins longue échéance, une modification de l'environnement, en particulier des climats... Comparer le bilan carboné des élèves avec les chiffres des scientifiques.
	16	écocivisme : décisions d'actions	Faire une liste des comportements ayant pour conséquence la libération des composés à effet de serre ; Sérier les solutions pour réduire ces émissions. ; Communiquer les décisions, et les justifier auprès d'un public.

Étape 1 - Qu'est ce qu'une serre ?

Nombre de séances : 4

Au cours de ces quatre séances, il s'agit de faire formuler très simplement le rôle de la serre, tout d'abord dans sa fonction primordiale (améliorer la croissance des végétaux), puis d'aborder son principe de fonctionnement.

But de l'étape 1 :

- Faire émerger les représentations initiales des enfants sur l'effet de serre.
- Visiter une serre maraîchère, serre botanique... (à défaut, document vidéo).
- Dégager des caractéristiques de la serre : elle permet en général à des cultures de bénéficier d'une température et d'une hygrométrie supérieure à celles extérieures.

Séance 1- Conceptions des élèves

Objectifs de la séance :

L'enseignant sélectionne une situation de départ qui focalise la curiosité des élèves, déclenche leurs questions et leur permet d'exprimer leurs idées préalables.

- Formulation des conceptions initiales des élèves au sujet de l'effet de serre.
- Formulation des mots-clés par les élèves : serre, effet de serre, température, atmosphère, gaz...

Compétences travaillées

Sciences	Formuler des hypothèses
Langue française	Lire et comprendre un texte documentaire de niveau adapté ou traiter une information complexe comprenant des textes, des images, des schémas, des tableaux

Matériel / médias :

Afin d'introduire le questionnement, plusieurs possibilités reposant sur des supports différents sont envisageables :

- Petit film publicitaire (exemple : F. Luchini [cf. Document 1 - ci-dessous] au sujet des conséquences de l'émission des gaz à effet de serre [<http://www.pubstv.com/>, chercher « ampoule »]).
- Articles de journaux (cf. Document 2 ci-dessous)



Document 1 - Séquence Vidéo (Ministère de l'environnement/ADEME – L'ampoule).

« Fabrice Luchini prête sa faconde inspirée à la [...]campagne de l'ADEME, l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. Cinq spots télé. [...] Ou comment des petits riens du quotidien peuvent faire de grosses économies d'énergie.[...] Les histoires, racontées avec poésie par l'interprète de La Fontaine, rejoignent les thèmes d'une campagne simultanée du ministère de l'environnement, intitulée *Merci* ». [...]

« *Alertez les ménages !* tel pourrait être leur slogan commun. Ceux-ci — vous et nous — sont en effet responsables de plus de 50% des émissions de CO₂, facteur premier de *l'effet de serre* . Il nous est donc vivement recommandé d'opter pour des ampoules basse tension au lieu d'halogènes [...], d'éteindre téléviseurs, magnétoscopes et décodeurs sans se contenter de les laisser en veille [...]. Autant de conseils prodigués avec malice par l'allumé Luchini. » *Sylvie Santini*. (Match de l'économie). Extrait du site : www.ademe.fr - rubrique effet de serre...

Sale Temps sur la planète (Les Clés Junior 2003)

Sécheresses, tempêtes et inondations sont de plus en plus fréquentes sur la planète. Richard Connor, géographe, a participé à la préparation du Forum mondial de l'eau, qui se tient au Japon du 16 au 23 mars. Il t'explique ces changements climatiques (*lis aussi le dossier sur l'eau dans le n°376.*)

Les Clés Junior : Quel rapport y a-t-il entre le réchauffement de la planète et les catastrophes naturelles ?



Richard Connor : Dans une bouilloire, quand l'eau chauffe, les molécules d'eau bougent aussi plus rapidement. Dans l'atmosphère, c'est pareil. Il y a à la fois une augmentation de la température et du dynamisme des éléments: les tempêtes sont plus fortes, il y a plus de nuages... De plus, les ouragans se forment au-dessus des océans là où la température est d'au moins 23 °C. Ainsi, si l'air et l'océan se réchauffent, les zones et les périodes propices aux ouragans s'étendent aussi.

Les Clés Junior : Comment sera le climat dans 20 ans ?

Richard Connor : Si on regarde ce qui s'est passé au cours des 50 dernières années, on peut supposer qu'il y aura de plus en plus d'inondations, de sécheresses et de tempêtes. Et comme la moitié de la population mondiale vit près des rivières et des océans, elle sera encore plus vulnérable aux inondations.

Le Nord-Est de l'Inde et le Bangladesh sont souvent victimes de cyclones et d'inondations. Mais la construction de plates-formes refuges a permis de sauver des vies.

Quelle est la cause de ces changements ? On ne peut pas prouver que tous ces événements sont liés aux rejets de gaz polluants (qui provoquent un "effet de serre" en emprisonnant la chaleur dans l'atmosphère). En fait, la Terre a connu 2 types d'états stables : les périodes glaciaires, qui duraient entre 100 000 et 200 000 ans, et les périodes interglaciaires, plus chaudes, sur 10 000 ans. Peut-être sommes-nous en train de passer d'un état stable à un autre. Nous serions à la fin d'une période interglaciaire, et nous entrerions dans une période de glaciation. Le réchauffement de la Terre ne serait que momentané. Donc, dans 20 ans, on aura probablement des étés plus chauds, des hivers plus humides, plus de tempêtes, mais après, tout peut arriver...

Document 2 – Exemple d'article de journal.

Documents divers :

Des documents supplémentaires au format papier, des pages Internet, peuvent apporter des compléments d'information utiles et seront ré-employés plus tard dans la progression, notamment lors de l'étape 3, recherche documentaire sur l'atmosphère.

Ces documents peuvent illustrer un phénomène naturel (mort ou disparition d'organismes [corail], désertification, fonte des glaces...) dont la cause est une augmentation de la température globale de la planète.

Sites Internet : Voir liens en fin de module.

Déroulement possible :

À partir d'un travail sur les documents :

1°) Première lecture ou première diffusion, sans autre contrainte que d'essayer de comprendre ce dont il s'agit. Question : De quoi le texte parle-t-il ? (réponse en 2 ou 3 mots)

2°) Deuxième lecture ou deuxième diffusion : De quels changements parle-t-on ?

Travail d'exploitation de documents papier : Articles ou textes :

- rechercher les nombres dans ces textes. Qu'indiquent-ils ? (dates, mesures de durée, de température, pas d'unité...)

- Noter les mots du texte qui indiquent des quantités. Qu'est-ce qui augmente ?

- Quels sont les mots qui parlent de météo ?

Tout autre document adapté aux enfants pourra être utilisé...

Projection de la séquence vidéo : Qu'est-ce qui est mystérieux ? « Quel rapport entre les ours et l'ampoule ? » Amener à mettre en évidence qu'il nous manque des connaissances pour comprendre le discours. Aider les élèves à commenter le film.

Le maître peut questionner : “*qu'avez-vous retenu ?*”. Il aide les élèves à commenter les documents, jusqu'à la formulation du terme “serre” ou “effet de serre”.

Si aucun élève ne mentionne l'un de ces deux termes, le maître peut dire : “*si je vous dis effet de serre, à quoi pensez-vous ?*”, “*Pour vous qu'est-ce que l'effet de serre ?*”.

Les élèves explicitent les termes selon leurs conceptions initiales. Ce questionnement, testé avec plusieurs classes, fait ressortir deux conceptions principales :

- Mot “*effet*” : “*Quand je fais [telle ou telle chose]..., ça a un effet*” (cause à effet).
- Mot “*serre*” : - Notion de culture, de conservation des plantes, des fleurs (fonction).
- Véranda, tente en plastique (objet “serre”).

Trace écrite :

Les élèves notent leurs remarques, leurs réponses, et leurs conceptions initiales sur leur carnet d'expériences.

Un organigramme de toutes ces remarques peut être composé collectivement.

Séance 2- Préparation de la visite d'une serre

(en trois temps de 15')

Objectif : Articuler questionnement et démarche d'investigation. Préparer une enquête.

Compétences travaillées :

Sciences	Participer à la préparation d'une visite en élaborant un protocole d'observation, un questionnaire
Langue française	Parler: formuler des questions pertinentes

Déroulement possible de la séance :

Le maître peut proposer aux élèves de trouver les moyens de se renseigner au sujet de ce qu'est une serre, ce à quoi elle sert.

Certains élèves en connaîtront probablement l'utilité dans l'objectif d'y faire croître des végétaux. Le maître pourra ainsi suggérer de le vérifier, et demandera de quelle façon il serait possible de le faire (visite d'une serre et questionnement de son responsable).

Si la visite d'une serre n'est pas envisageable, cette recherche pourra être envisagée sous la forme d'une courte recherche documentaire.

Premier temps : Préparation du questionnaire

(Individuellement)

Dans la perspective de la visite de la serre et de l'interview de son responsable, les élèves sont invités à rédiger, sur leur carnet d'expériences, les questions qu'ils souhaiteraient poser.

(Collectif)

- Les élèves sont invités à formuler leurs questions au groupe-classe, qui peut réagir.
- Au fur et à mesure des échanges, l'enfant peut ajouter des questions ou les reformuler.
- Il remet ses questions écrites au maître.

Pause hors élèves: Le maître rassemble les questions des élèves. Il les réécrit, en en gardant l'ordre et le sens mais en rectifiant l'orthographe et éventuellement la syntaxe. (Il peut aussi prévoir une séance spécifique sur les formes interrogatives)

Il dresse la liste des noms communs utilisés, des groupes verbaux ou des adjectifs utilisés, et construit ainsi un référent. Il peut aussi ajouter sa ou ses questions.

Deuxième temps : Organisation du questionnaire

- Distribution de l'ensemble des questions. Lecture silencieuse.
- Consigne : organiser par thème, puis ordonner les questions dans le thème (individuel ou par groupe).
- Collectif : Ensemble, ils décident de celles qui seront posées au responsable de la serre.
- Ils se les distribuent (une question pour un élève).

Troisième temps : Préparation matérielle de la visite

- Le maître propose aux élèves de noter l'ensemble du questionnaire organisé sur une feuille libre (qu'ils pourront emporter pour la visite, en laissant de la place pour les réponses) qu'ils pourront ensuite inclure dans leur carnet d'expériences.

Remarque 1 : Si l'hypothèse que la température ou l'hygrométrie est plus importante à l'intérieur de la serre qu'à l'extérieur est formulée, le maître pourra proposer aux élèves de le vérifier. Etablir la liste du matériel à emporter (par enfant, pour la classe).

Remarque 2 : Le maître peut prévoir un questionnaire supplémentaire d'observation, pour inciter à mieux regarder, dessiner, questionner son environnement... en faisant appel aux sens (odeurs, sensations tactiles, température, moiteur, lumière).

Séance 3- Visite d'une serre

Objectifs : Construire les connaissances et les compétences en articulant questionnement et démarche d'investigation : visite.

Se renseigner sur le rôle du dispositif serre, pour mieux comprendre les premiers documents.

Compétences travaillées :

Sciences	Utiliser des instruments d'observation et de mesures
Langue française	Parler : être capable de poser des questions précises et cohérentes à propos d'une situation d'observation. Ecrire : prendre des notes lors d'une visite

Matériel :

Un thermomètre, éventuellement un hygromètre (mesure du taux d'humidité) ; des calepins, un appareil photographique, un magnétophone ou un caméscope, plus tout matériel suggéré par les enfants lors de la séance précédente.

Déroulement possible de la séance :

(Collectif)

Visite de la serre.

(En petits groupes)

- Les élèves posent les questions au responsable ; ils notent les réponses.
- Les élèves prennent note ce qu'ils voient dans la serre (nature des plantes, conditions à l'intérieur de la serre : température, humidité...) et réalisent des dessins ; ils peuvent élaborer des supports illustratifs (photos et séquences vidéo réalisables par l'enseignant ou par les enfants) ;

Alternative et questions supplémentaires (au responsable de la serre) :

- Réponse au questionnaire éventuel (*).
- Noter les sensations, les observations, de façon libre...

Il pourra être fait ici un constat concernant les conditions particulières régnant dans la serre (température, humidité) et cela grâce aux sens des enfants.

Exemple : noter les différences de sensations entre l'extérieur de la serre et l'intérieur : " il fait plus humide, plus chaud, ça sent la terre, le parfum de fleurs ").

Précautions : L'enseignant(e) pourra, au préalable, échanger avec le jardinier, afin qu'il n'anticipe pas le questionnement des enfants et qu'il utilise un vocabulaire adapté à ces derniers.

Séance 4- Bilan de visite et émission d'hypothèses

Objectifs :

- **Renforcement de la maîtrise du langage et de la langue française :** assembler les informations, les discuter, émettre des hypothèses au sujet de la fonction d'usage de la serre, et ses principes techniques.
- **Prise de conscience de la complexité de l'environnement.**

Compétences travaillées :

Education civique	Participer à un débat
Langue française	Ecrire : participer au compte-rendu d'une enquête ou d'une visite

Déroulement possible de la séance :

(Individuel)

Collecte des informations : Chaque question posée est reprise. L'enfant qui était chargé de poser la question reprend ses notes et les lit silencieusement (pour être capable ensuite de les dire à haute voix ou de les commenter).

(Par groupe)

Rédaction de la réponse proprement pour duplication ou affichage (utilisation ou traitement de texte) .

Communication des notes et remarques à l'ensemble de la classe.

(Collectif)

Débat pour passer des observations à la fonction d'usage de la serre et aux hypothèses sur son principe de fonctionnement : les enfants expriment leurs hypothèses au sujet des raisons de l'utilisation d'un tel dispositif (la serre) pour faire pousser des plantes.

Remarque : la difficulté est ici de relier l'observation de certains faits constatés dans la serre (augmentation de température, d'hygrométrie, de luminosité (ensoleillement ou éclairage artificiel), avec leur possible influence sur les plantes. Si une séquence sur la croissance des végétaux a déjà été entreprise dans les cycles précédents, cela peu s'avérer assez plus aisé. Cependant, les réponses fournies par le jardinier et/ou les documents vidéo pourront permettre aux enfants de faire l'hypothèse de ce lien et de le vérifier par la suite en entreprenant des cultures sous serre.

On peut structurer le débat en organisant remarques et questions :

	Comment est la serre ?	A quoi sert-elle ?	Comment fonctionne-t-elle ?
Ce que je sais			
Les questions que je me pose			

Tableau 1 : Exemple de tableau facilitant la structuration du débat pour l'élève.

Étape 2 – Les caractéristiques d'une serre

Nombre de séances : 5

Au cours de ces cinq séances, les élèves ré-investiront les connaissances acquises au sujet de la serre dans la première étape et tenteront d'en construire une après en avoir imaginé les plans. Après en avoir testé les performances, une mise en commun des caractéristiques des serres ainsi construites permettra l'élaboration d'un modèle de serre sur lequel la classe pourra expérimenter.

Buts de l'étape 2 :

1*) Mettre en œuvre une démarche technologique :

Démarche... : du besoin à l'objet.

Lors de cette étape, les élèves tenteront de construire une serre qui fonctionne, et dans laquelle ils pourront faire germer des plantes.

... ou Démarche : de l'objet à l'objet.

S'ils n'ont pas visité de serre, et que leur connaissance est uniquement documentaire, ils élaboreront un modèle de serre d'après un modèle préexistant du commerce.

2*) Mettre en œuvre une démarche expérimentale :

Les élèves ont émis des hypothèses au sujet du principe de fonctionnement de la serre. Ils mesureront les performances de la serre, et établiront des liens entre variables et performances. Vérifier les hypothèses formulées précédemment à l'aide des serres réalisées par les élèves.

Passer du prototype au modèle : construire un modèle expérimental, présentant les caractéristiques communes aux serres construites par les élèves, ceci afin d'homogénéiser les expérimentations suivantes et de **simplifier le modèle expérimental.**

Reproduire les caractéristiques de la serre à l'aide d'un modèle optimisé (en testant différents matériaux).

Séance 5- Comment fabriquer une serre ?

Objectifs : - Articuler questionnement sur le monde et démarche d'investigation.
- Développer des attitudes d'écoute, de respect, de coopération.

Compétences travaillées :

Sciences expérimentales et technologie	Imaginer un dispositif expérimental susceptible de répondre aux questions que l'on se pose, en s'appuyant sur des observations et un schéma.
--	--

Déroulement possible de la séance :

(Collectivement)

Par exemple, l'enseignant peut questionner : “ Comment fabriquer une serre ? ”.

Pour qu'une expérimentation puisse être menée sur ces modèles, le maître veillera à ce que ces réalisations soient d'une taille réduite*. On peut donner la contrainte : construire une serre qui contienne un godet pour plantation, ce qui induit la taille de la serre.

(*) **Remarque :** Les temps d'obtention des équilibres (température, humidité) sont proportionnels au volume au cube (v^3) du récipient! Il vaut donc mieux fonctionner avec des expériences mettant en jeu de petits volumes afin d'accélérer les temps d'observation. De même, on veillera à ce que les parois ne soient pas trop épaisses, afin d'éviter l'absorption du rayonnement par le matériau ce qui augmenterait le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre.

L'enseignant rassemble les hypothèses des enfants au sujet du principe de fonctionnement de la serre. Les enfants expriment de quelle façon fait-il plus chaud, plus humide... Grâce à quels dispositifs, quel(s) principe(s), quels matériaux, est-il possible de reproduire les conditions régnant dans une serre? Les élèves sont invités à formuler les modifications environnementales induites par la serre, hypothèses qui seront testées dans la séance suivante, notamment la différence de température entre l'intérieur de la serre et l'extérieur.

(Individuellement, puis en petits groupes de 2 à 5)

Consigne : Dessine la serre que tu vas construire. Ecris la liste du matériel dont tu as besoin.

- Les élèves rassemblent leurs conceptions au sujet de la construction d'une serre en les explicitant à l'aide d'un dessin légendé (nom des différentes parties, matériaux...) ou accompagné d'une brève explication.
- Les élèves présentent leur projet à l'intérieur de chaque groupe. Soit ils se mettent d'accord sur une réalisation, soit ils maintiennent leur projet personnel.
- Présentation des différents projets au groupe classe.

Le maître peut proposer du matériel supplémentaire.

Trace écrite :

Dans un premier temps, un dessin ou un schéma légendé individuel réalisé sur le carnet d'expériences.

Puis un deuxième plan sera issu du travail de groupe : Liste du matériel nécessaire, des outils, des matériaux et schéma de la réalisation envisagée.

Observation des présentations écrites, et commentaires.

La synthèse, à l'issue des présentations de chaque projet, pourra se faire sur :

- la faisabilité : matériaux, matériel, étapes et consignes (gamme de fabrication)
- la clarté du dessin
- les procédés de schématisation : tracés, vues de face, différentes vues, dessins en 3D, éclatés, étapes de construction...
- les légendes : présence, précision des légendes, organisation graphique

Si les modèles dans le groupe sont très différents, ne pas hésiter à former d'autres équipes sur un principe technique commun.

séance 6- Construisons une serre

Objectifs: L'élève s'initie, dans le cadre d'une réalisation, à la recherche de solutions techniques, au choix et à l'utilisation raisonnée de matériaux.
Mise en œuvre une démarche d'investigation, d'observation et de recherche, occasion de s'approprier des notions scientifiques.

Compétences travaillées :

Sciences expérimentales et technologie	Réaliser un dispositif expérimental susceptible de répondre aux questions que l'on se pose, en s'appuyant sur un schéma.
Education civique	Participer activement à la vie de la classe en respectant les règles de vie.

Réalisation d'un modèle :

- Reprise des plans dessinés, et des listes de matériel.
- Construction : Le maître invite les élèves à réaliser la serre qu'ils ont imaginée et ceci à l'aide d'objets ménagers communs (pots de verre, gobelets ou films en plastique, carton).
- Premiers tests : Prévoir une lampe et un ou deux thermomètres par groupe. Quelle température fait-il dans la classe? Dans la serre? Que se passe-t-il si j'allume la lampe? Fait-il plus chaud dans le prototype? Ces premières expériences sont faites de façon non structurée. C'est la séance suivante qui prévoit des relevés systématiques de température.

Plus tard, ils pourront y faire pousser des végétaux et comparer l'efficacité de leurs procédés à un pot témoin qui ne soit pas mis sous serre.

Séance 7 - Mesurons les températures de nos serres

Objectifs en Education scientifique : Observation directe ou assistée par un instrument, avec mesure.

Objectifs en Mathématiques : Les situations sur lesquelles portent les problèmes mathématiques sont issues de la vie de la classe. Elles peuvent être présentées sous la forme d'expérience concrète.

Compétences travaillées :

Sciences expérimentales et technologie	Utiliser des instruments d'observation et de mesure : chronomètre, thermomètre
Mathématiques	Exprimer le résultat d'un mesurage par un nombre ou un encadrement.
Mathématiques	Organiser des séries de données : listes, tableaux.
Mathématiques	Construire quelques représentations : diagrammes, graphiques.

Matériel :

Serres construites par les enfants ; thermomètres, montres ou chronomètres, lampes halogènes (25w ou 50w).

Situation de départ :

A partir de leurs représentations, des renseignements rassemblés, des expérimentations entreprises dans la première étape et après discussion au sein du groupe classe, les enfants ont construit une ou plusieurs serres, avec divers matériaux (fournis ou pas par l'enseignant), afin de pouvoir tester leurs hypothèses au sujet de l'utilité d'une serre et de ses principes de fonctionnement.

En fonction des hypothèses initiales des élèves, a pu déjà être vérifié (lors de la visite), que la température locale (dans la serre) était modifiée (par rapport à celle extérieure à la serre) par le dispositif serre. Il apparaît important de le vérifier sur leurs réalisations (cf. Figure 2 : exemple de procédé expérimental, ci-dessous).

Déroulement possible de séance :

Plusieurs serres sont construites à partir des représentations des enfants, il sera envisageable comparer expérimentalement les constructions (relevé de températures) on choisira alors le modèle le plus « performant » comme dispositif expérimental pour la suite de l'activité.

Après avoir constaté les modifications environnementales (augmentation de la température et de l'hygrométrie) provoquées par la serre, les élèves tentent d'optimiser ces modifications par l'utilisation de divers matériaux de construction, d'éclairages de puissance plus ou moins importante...etc. Il est possible qu'une séance de classe supplémentaire soit nécessaire pour conclure cette étape. On propose ici de quoi tester les modifications de température.

Exemple de procédé expérimental :

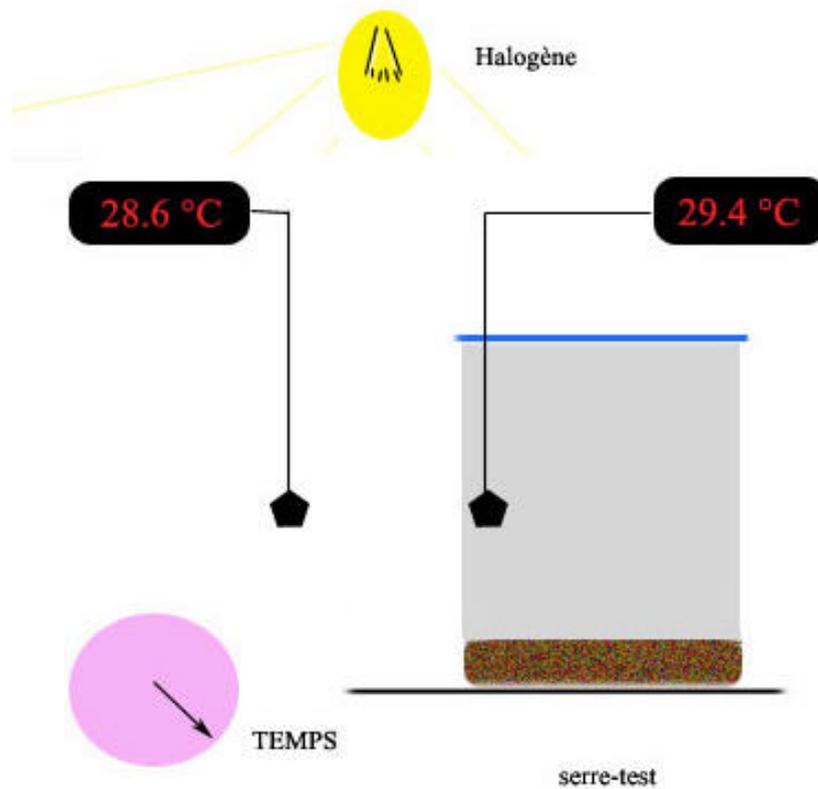


Figure 2 : exemple de procédé expérimental.

Chaque groupe teste sa serre, et reporte ses relevés dans un tableau (cf. tableau 2 ci-dessous).

Relevés de température : Fiche du groupe.....				
	Au départ		Après 10 minutes de lumière	
	Hors serre	Dans la serre	Hors serre	Dans la serre
Serre ...				
Commentaires, remarques, constats...	Sur l'expérience : Sur les nombres trouvés :			

Mise en commun des relevés de température				
	Au départ		Après 10 minutes d'éclairage	
	Colonne 1	Colonne 2	Colonne 3	Colonne 4
Serres	Hors serre	Dans la serre	Hors serre	Dans la serre
A				
B				
C				
D				
...				
	=		<	

Tableaux 2 : exemple de tableaux pour les relevés de mesures.

Les constats attendus sont :

Les températures de la Colonne 1 sont égales à celles de la Colonne 2.
Les températures de la Colonne 2 sont inférieures à celles de la Colonne 3.
Les températures de la Colonne 2 sont inférieures à celles de la Colonne 4.
Les températures de la Colonne 3 sont inférieures à celles de la Colonne 4.

Remarque : La transitivité de la relation d'ordre n'est pas acquise à pour tous à cet âge.

Il est possible que quelques serres ne donnent pas les résultats attendus. L'analyse des matériaux qui les constituent, l'épaisseur, l'assemblage, permettra de mettre en avant les critères de réussite.

Difficultés expérimentales qui peuvent être à l'origine d'une séance supplémentaire de mathématiques :

Les bouteilles et les thermomètres peuvent ne pas être absolument "identiques", et il se peut que l'on mesure des températures différentes dans les bouteilles avant même le début de l'expérience. On peut alors effectuer une calibration (cf. Annexe 1 : calibration).

Séance 8 : Modélisons une serre

Objectifs : Réalisation matérielle : recherche de solutions techniques.

Compétences travaillées :

Sciences expérimentales et technologie	Recommencer une expérience en ne modifiant qu'un seul facteur par rapport à l'expérience précédente
Mathématiques	Exprimer le résultat du mesurage par un nombre ou un encadrement
Mathématiques	Organiser des séries de données : listes, tableaux

Grâce à un questionnaire au sujet des points communs entre toutes les serres élaborées par les élèves, ces derniers tenteront de dégager ceux de leurs réalisations. A partir de ces caractéristiques communes, le maître proposera aux élèves des objets et des matériaux de construction simples (bouteilles en plastique, pots en verre, terre, gobelet, carton, cellophane, etc.) et supervisera la construction de la serre en simplifiant autant que possible son architecture.

Une autre possibilité peut consister à choisir la serre parmi celles déjà réalisées par les élèves, si celle-ci est simple dans son architecture et peut être construite à plusieurs exemplaires. Un second critère peut être sa capacité à retenir la chaleur : une serre doit être close pour fonctionner correctement.

Dans la serre, après quelques minutes d'insolation, la température (ainsi que l'humidité) est plus importante qu'à l'extérieur (la serre a des propriétés de rétention de la chaleur et de la vapeur d'eau). La serre ainsi construite servira à l'expérimentation, en fonction d'une représentation simplifiée : soleil=lampe, terre (des plantes)=terreau, serre=récipient fermé.

Choix ou élaboration de la serre pour l'expérimentation

Matériel :

Tous types de matériaux, dont :

- 2 bouteilles en plastique IDENTIQUES dont on coupe la partie supérieure.
- De la terre noire sèche (terreau du commerce).

Pour chaque groupe :

- une lampe, halogène de préférence (deux positions, 25W et 50W),
- deux thermomètres identiques à capteur ou un thermocouple,
- Une montre à trotteuse ou digitale ou un chronomètre.

Déroulement possible de la séance :

(collectivement)

L'enseignant propose aux élèves de reprendre les serres qu'ils ont réalisées, et de chercher ensemble leur points communs et/ou leurs différences. Cela permettra de dégager les caractéristiques architecturales de la serre (un fond, avec de la terre ; un couvercle ou un toit, transparent).

Le maître propose aux élèves de construire une autre serre, la serre-type, à l'aide de matériaux présentant les caractéristiques dégagées précédemment par les élèves ;

(en petits groupes)

Les enfants échangent et réalisent une serre à l'aide du matériel que l'enseignant met à leur disposition.

(collectivement)

A l'issue de la réalisation des serres, l'enseignant peut livrer les modèles à la description ou à la critique des élèves. Il est possible que des modèles non-adaptés à l'expérimentation soient ainsi rejetés par le groupe-classe (serre non closes, sans éclairage, complètement opaques....

L'enseignant peut questionner : Comment vérifier que vos serres fonctionnent ?

Une réponse du groupe-classe sera sans doute de relever la température à l'intérieur de la serre.

On pourra utiliser les mêmes tableaux de mesure que précédemment.

Vérification du fonctionnement de la serre :

Les élèves pourront vérifier, par exemple, que la serre doit être close, éclairée ou présenter des parties transparentes, et ceci en effectuant des relevés expérimentaux sur les serres-test. L'utilisation d'une serre présentant un « défaut » (non close, par exemple) en tant que serre-témoin, est préférable*.

On observe que les deux courbes de températures augmentent de la même manière, c'est-à-dire que la différence de température entre les deux expériences reste constante. Il sera possible de travailler avec l'évolution de la différence de température entre la serre-témoin et la serre-test (cf. annexe calibration). En effet cette quantité permet de s'affranchir des effets systématiques liés aux différences possibles de calibration des thermomètres.

(*) Remarque : Afin que le relevé de mesures soit rigoureux et le plus précis possible, il est conseillé de pratiquer l'expérimentation sur la serre et une serre témoin, plutôt que de choisir la serre et l'extérieur de la serre. Ainsi pour la première expérimentation, qui peut être considérée comme un étalonnage (cf. Annexe 1) on pourra expérimenter sur la serre-test, close par un couvercle et la serre-témoin, non close.

Exemple de dispositif expérimental :

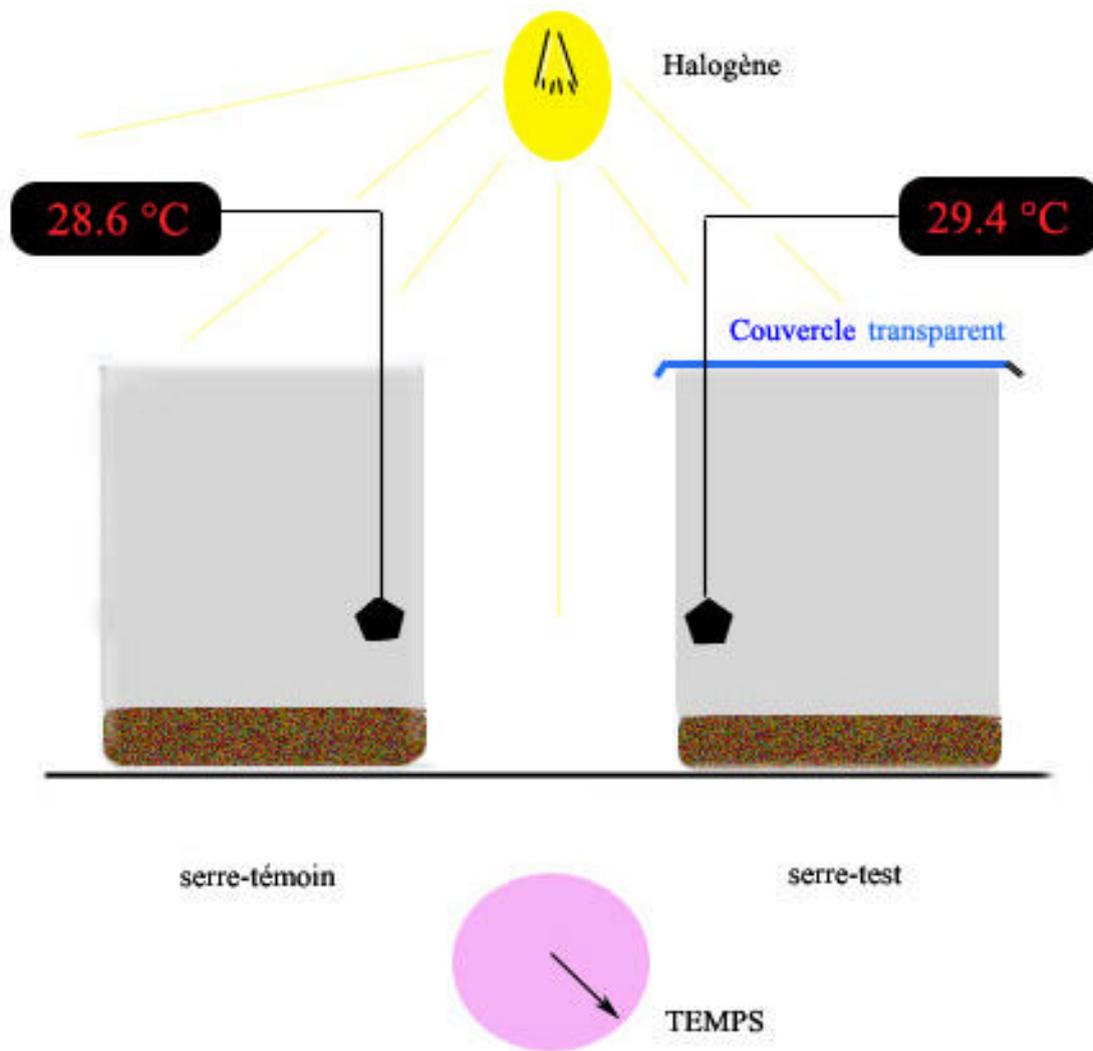


Figure 3: exemple de dispositif expérimental avec serre-test et serre-témoin.

Séance 9 – Modifions des paramètres

Objectifs : il s'agit ici de modifier des paramètres pour obtenir la différence de température la plus importante possible entre la serre -test et la serre-témoin.

Compétences travaillées :

Sciences expérimentales et technologie	Recommencer une expérience en ne modifiant qu'un seul facteur par rapport à une expérience précédente
Mathématiques	Construire quelques représentations : diagrammes, graphiques

Notion

- La nature des matériaux utilisés pour construire la serre a une influence sur ses performances (calorifiques).

Matériel (pour 1 groupe) :

- 1 serre-type (demi-bouteille + terre)
- 2 thermomètres identiques ou un thermocouple
- 1 morceau de carton,
- 1 morceau de verre fin (biseauté) ou de plastique fin
- 1 morceau de plastique "serre jardinière" (cf. page 7[2]) et un élastique.

Trace écrite et construction graphique :

Les élèves pourront préalablement réfléchir, sur leur carnet d'expériences, aux façons de noter les résultats des mesures (sous forme de tableau) et à la représentation finale : dendrogramme (graphique en barres) et / ou courbe.

Exemple de tableau

Toutes les 30'

Temps (sec)	0''	30''	1'	1'30	2'	2'30	3'	3'30	4'	4'30	5'
T° (C°) Serre- témoin											
T° (C°) Serre-test											
Couvercle transparent											

Tableau 3 : Exemple de tableau de relevés de mesures

Type de récipient test : *Fond de bouteille plastique avec couvercle transparent (cellophane)*

Type de récipient témoin : *Fond de bouteille plastique avec couvercle opaque (carton)*

Prise de mesure : *Nom de l'enfant ;* chronométreur : *Nom de l'enfant*

Déroulement possible de la séance :

A la suite de l'expérimentation précédente pour laquelle les élèves avaient éprouvé les capacités isolantes de la serre-type, munie d'un **couvercle transparent**, le maître peut questionner au sujet de la nature des matériaux constitutifs de la serre.

Les élèves proposeront sans doute que cette propriété de la serre est liée, par exemple, à la transparence de son couvercle, **son épaisseur, sa nature** (verre ou plastique). Ce sont ces hypothèses que les élèves pourront tester. Diverses hypothèses liées **à l'opacité, l'épaisseur ou la nature des matériaux peuvent** être vérifiées dans des groupes expérimentaux différents.

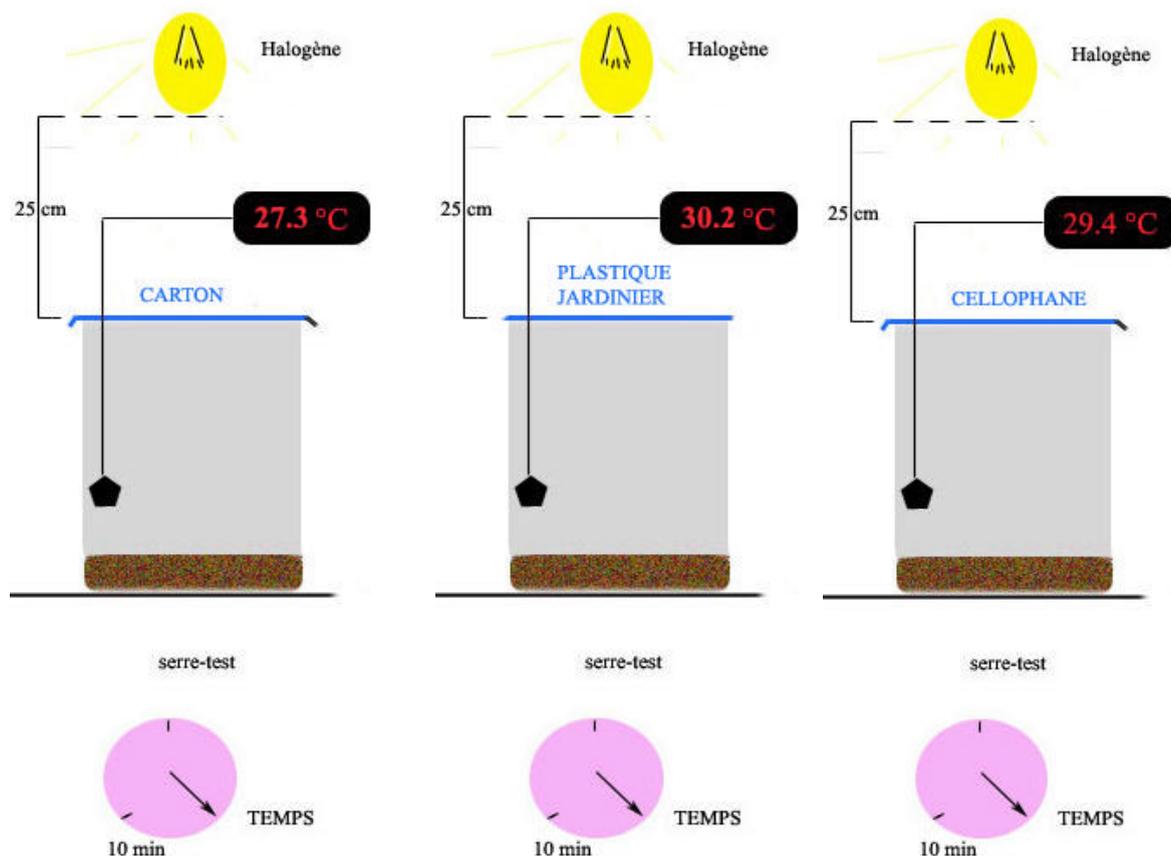


Figure 4 : exemple de dispositif expérimental.

Le maître pourra proposer au groupe-classe d'établir un protocole expérimental, avec trois types de matériaux pour chaque facteur à tester.

Par exemple, pour la nature de matériau utilisé pour le couvercle, les élèves pourront proposer, en fonction des matériaux disponibles, d'expérimenter avec un couvercle en carton (opaque), en verre ou en plastique.

Pour la transparence du matériau, les élèves pourront expérimenter avec un plastique fin (cellophane), du carton (opaque), du plastique jardinier (translucide). Le maître veillera à ce qu'il seul facteur soit testé en même temps. Il sera aussi possible de croiser les expérimentations.

Le protocole ne nécessite, a priori, aucune serre-témoin, et peut consister en trois expérimentations successives (cf. figure 3 ci-dessus) pour lesquelles seul le couvercle sera changé. Le thermomètre doit revenir à la température d'équilibre (ce qui peut prendre du temps en fonction de la sensibilité de celui-ci).

Observations attendues :

Au bout de 10 minutes (temps maximum de mesure) : la température est plus élevée dans la serre fermée avec un couvercle en verre, transparent, et épais. Elle est plus élevée avec un plastique jardinier qu'avec un plastique fin qu'avec du carton. De l'humidité peut apparaître, sous la forme de condensation sur les parois de la serre.

Les conditions (température plus élevée qu'à l'extérieur, humidité visible [condensation]) paraissent identiques à celles de la serre visitée. Il faut que la lumière puisse passer pour chauffer la serre.

Étape 3 – RECHERCHE DOCUMENTAIRE SUR L'ATMOSPHERE

Nombre de séances : 2

But de l'étape 3 : Rassembler de la documentation au sujet de l'atmosphère terrestre, des gaz la composant et comparer avec les autres planètes ou satellites du système solaire

Un florilège de documents : textes, ouvrages, photos, et adresses de sites Internet est proposé aux enfants. Pendant 2 séances, il se renseigne au sujet de l'atmosphère et s'exprime au sujet de ce qu'ils tiennent comme responsable de l'effet de serre : les gaz et le fait que ces gaz se trouvent dans la " première " couche entourant la planète : l'atmosphère.

Objectifs : Engager les élèves dans une démarche de construction d'un modèle scientifique.

Prise de conscience de la complexité de l'environnement et de l'action exercée par les hommes (comprendre l'importance — *i.e.* effets bénéfiques et préjudiciables — de l'effet de serre sur l'environnement).

Rappels pour l'enseignant :

Eléments spécifiques à la recherche documentaire en B.C.D.
1 - Avoir un projet de recherche : comprendre pourquoi on parle d'« effet de serre » à l'échelle de la terre.
2 - Cerner le sujet de la recherche : formuler un questionnement Faire proposer, ou déterminer des mots-clé comme : atmosphère, air, gaz, nuages, effet de serre...
3 - Chercher les documents Se servir des catalogues papier et informatique pour trouver un livre Se servir des informations portées sur la couverture...
4 - Localiser l'information dans les livres Pouvoir entrer dans un ouvrage en utilisant des indices externes. Savoir consulter un lexique, un dictionnaire. Savoir utiliser un fichier, une table des matières...
5 - Prélever l'information Noter les informations recueillies à l'occasion de lectures rédiger un texte pour communiquer des connaissances.
6 - Restituer l'information. Synthétiser : réunir les informations, les organiser logiquement, reconstituer un texte, résumer sommairement un texte lu. Communiquer ses démarches. Préciser quelques traits caractéristiques d'un document simple : contenu, forme, style, particularité, type... Exposer l'information recueillie à l' oral : Argumenter, donner son avis sur ce qui a été lu. Exposer l'information recueillie à l' écrit : Structurer un texte par sa présentation.

Notions culturelles au fil des lectures :

- Acquérir des notions au sujet de l'atmosphère (comprendre que c'est dans l'atmosphère terrestre que tout cela se passe !).

- Identifier des gaz à effet de serre : dioxyde de carbone, eau atmosphérique, méthane ...

Séance 10- Atmosphère, atmosphères ?

Objectifs : Avoir compris et retenu quelques modèles simples des phénomènes astronomiques, et quelques notions sur le système solaire et l'Univers...

Compétences :

Lire	Traiter une information complexe comprenant du texte, des images, des schémas, des tableaux...
Ecrire	Noter les informations recueillies à l'occasion de lectures

Problème posé : Qu'est-ce qu'une atmosphère ? Y en a-t-il autour des autres planètes ou satellites du système solaire que la terre ?

Tableau à remplir :

Organisations possibles :

- À l'aide du tableau ci-joint qui permet de rassembler les informations de la recherche documentaire correspondant au problème posé.
- A l'aide de documents de planétologie comparée (photos de différentes planètes : Vénus, Mars, Terre) ou satellites. Les vues aux limbes sont à privilégier (cliché satellitaire en vue rasante avec le soleil à l'arrière-plan de la planète), mais d'autres peuvent aussi être exploités (cf. figures ci-dessous).
- Des informations au sujet des conditions régnant sur le planète peuvent aussi être fournies préalablement, comme la température moyenne de surface ou TMS (c'est la moyenne des températures la surface de la planète le jour et la nuit pendant une année).

Exemples d'illustrations :

Figures 5 & 6 : la Terre : La vue aux limbes permet de mettre en évidence la présence d'une couche atmosphérique, très fine, de différentes couleurs, ... **TMS : 15 °C**



Figure 5



Figure 6

Figures 7 & 8 : la Lune - Comme il n'y a pas d'atmosphère sur ce satellite de la terre, le ciel derrière les astronautes est noir...À distance ne perçoit pas de couche atmosphérique, même très fine **TMS : -18 °C**



Figure 7



Figure 8

Figures 8 & 9 : Mars - 1,5 fois plus distante du soleil que la terre, Mars présente une atmosphère très ténue ; ici le ciel n'est pas noir et la vue aux limbes montre une fine couche atmosphérique **TMS : -50 °C**

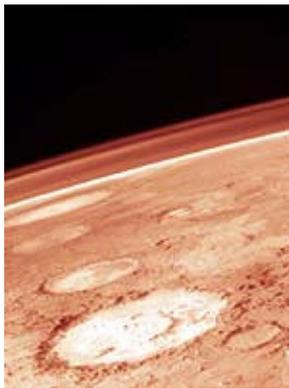


Figure 8

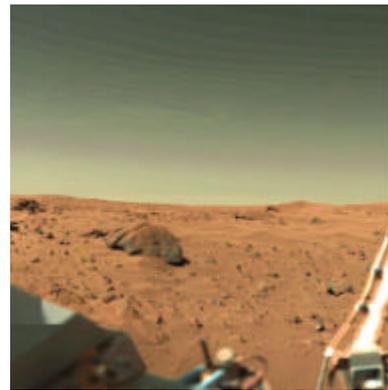


Figure 9

Figures 10 & 11 : Vénus - la vue aux limbes révèle une couche atmosphérique (en violet- au dessus, une comète). Sur la photo distante, on remarque bien les nuages de Vénus, preuve de l'existence d'une atmosphère. **TMS : 450 °C**



Figure 10

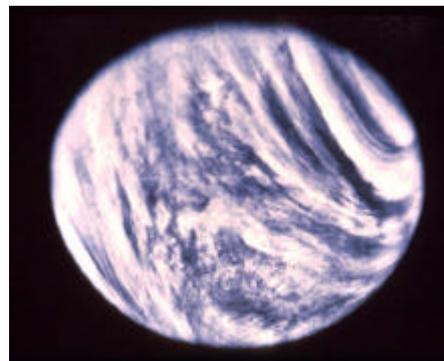


Figure 11

Enquête sur le système solaire

On peut donner aux groupes d'enfants le tableau vierge, et les charger de compléter, soit par colonne, soit par ligne, au fur et à mesure de leurs recherches documentaires.

Planète	Distance au soleil en millions de km	Diamètre en km	T°	Aspect	Composition de l'atmosphère	Durée de révolution	Autour du	Satellites
Mercure	58	4900	+ 167 °C	Jaunâtre	Pas d'atmosphère	88 j	Soleil	0
Vénus	108	12100	+ 450°C	Nuages	Dioxyde de carbone, diazote eau	225j	Soleil	0
Terre	150	12800	+ 15°C	Bleue, nuages	Azote, oxygène, dioxyde de carbone, eau	365j	Soleil	Lune
<i>Lune</i>	<i>150</i>	<i>1000</i>	<i>- 18°C</i>	<i>Ciel noir</i>	<i>Non</i>	<i>28j</i>	<i>Terre</i>	<i>-</i>
Mars	230	6800	- 50°C	Atmosphère. Ciel pas noir Planète rouge	Oui, mais ténue Dioxyde de carbone, diazote	687j	Soleil	2
Jupiter	780	143000	- 150 °C	Bandes nuageuses, tornades, cyclones	hydrogène, hélium, ammoniac	12 ans	Soleil	16
Saturne	1420	120000	- 150°C	bandes longitudinales, de couleur jaune vif : nuages étirés circulant parallèlement à l'équateur.	Hydrogene, helium, methane	29 ans	Soleil	17
Uranus	2900	51000	- 216°C	coloration bleu verdâtre (methane)	Hydrogène, hélium et méthane	84 ans	Soleil	5
Neptune	4500	49000	- 218 °C	coloration bleu verdâtre (methane)	Hydrogène, hélium et méthane	165 ans	Soleil	2
Pluton	6000	2700	- 233 °C	<i>Ciel noir</i>	Rarifiée : diazote, méthane	248 ans	Soleil	1

Tableau 4 : exemple de tableau collectif permettant le report des données des différents groupes.

<p>Sources : renseignements d'après les photos ci-dessus (Nasa), et d'après « Le livre du ciel », Jean Pierre Verdet, Collection découverte cadet, Gallimard et le site planet-terre http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre/Infosciences/Planetologie/Description/Articles/planetellur.html. (Les données numériques peuvent varier d'une source documentaire à une autre).</p>

Quelques conclusions possibles à partir du tableau :

Plus elles sont loin du soleil, plus elles mettent de temps à en faire le tour, et plus elles tournent lentement sur elles-mêmes, mais il ne s'agit pas d'une relation de proportionnalité.

« Plus je m'approche du soleil, plus il fait chaud ! » semble une affirmation vraie, d'après les données du tableau.

Faire remarquer que les variations dues à l'effet de serre sont minimales (moins de 5 degrés).

Pourtant, l'équilibre de la planète (continents, océans et salinité, espaces verts, eau douce, faune et espèce humaine) est fragilisé dès l'augmentation d'un degré de la température

Complément scientifique pour l'enseignant (extraits des questions aux consultants du site La main à la pâte) :



[Pourquoi certaines planètes n'ont pas d'atmosphère ?](#)

Réponse de David Wilgenbus (Astrophysicien, La main à la pâte) :

Une planète doit être suffisamment massive pour que son champ de gravité lui permette de garder son atmosphère. Mais, malgré l'attraction gravitationnelle, des molécules s'échappent continuellement en raison de leur agitation thermique. Dans un gaz, les molécules sont animées de mouvements aléatoires et leur vitesse moyenne dépend de la température. Plus la température est élevée, plus la vitesse moyenne des molécules est élevée.

Or, si une molécule dépasse une vitesse limite, dite "vitesse de libération", elle échappe à l'attraction de la planète et ne retombe pas (la vitesse de libération vaut environ 11km/s sur Terre). Ainsi, plus la température est élevée et plus il y aura de molécules qui pourront "s'échapper" dans l'espace. La planète perd son atmosphère de cette façon.

Une planète garde son atmosphère si les molécules ont des vitesses faibles devant la vitesse de libération. Pour cela, il y a deux moyens :

- plus la planète est massive et plus la vitesse de libération est élevée ;
- plus la température est basse et plus la vitesse moyenne des molécules est faible.



[Pourquoi le ciel est-il bleu ?](#)

Réponse de Patrick Bouchareine (professeur à l'école supérieure d'optique) :

"Le ciel est bleu parce que l'atmosphère est diffusante, et que les lois de la diffusion par des particules plus petites que la longueur d'onde (il s'agit des molécules), lois qui ont été établies par Lord Rayleigh, précisent que cette diffusion est d'autant plus efficace que la longueur d'onde est petite (l'intensité de la lumière diffusée est proportionnelle à la quatrième puissance de la fréquence, c'est-à-dire de l'inverse de la longueur d'onde). La lumière qui nous parvient du Soleil est approximativement un faisceau de rayons parallèles. Dans la traversée de l'atmosphère ces rayons sont diffusés dans toutes les directions, c'est pourquoi dès que le Soleil se lève, le ciel devient lumineux et nous ne pouvons plus voir les étoiles. Cette lumière diffusée est plus riche en courtes longueurs d'onde (radiations bleues et violettes) et c'est ce qui donne cette couleur caractéristique. Corrélativement le Soleil bas sur l'horizon paraît plus rouge, parce que la lumière non diffusée s'appauvrit en radiations bleues et violettes après un long parcours dans l'atmosphère. En montagne le ciel est beaucoup plus sombre, parce que le nombre de molécules diffusantes est plus faible. Au-dessus de 3 000 m le bleu vire progressivement au noir, jusqu'à voir "les étoiles de midi" au-dessus de 4 000 m. Par temps brumeux, le ciel est plus blanc parce que les particules diffusantes, de petites gouttes d'eau, sont beaucoup plus grosses. La fumée d'une cigarette (fumer est dangereux pour la santé) sur laquelle on ne tire pas est formée de particules très fines (je ne connais pas leur dimension, mais probablement de l'ordre du micromètre) qui diffuse avec une majorité de bleu. La fumée provoquée par le fumeur (celle qu'il exhale ou celle qui sort par le filtre de la cigarette) est constituée de particules beaucoup plus grossières et elle est plus jaune. "

Séance 11- Revenons sur Terre

Compétences :

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

Problème posé :

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

(en petits groupes)

Recherche documentaire :

Sur documents papier ou Internet.

Au sujet des gaz à effet de serre :

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

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



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

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

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

Réponse un plus détaillée :

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

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

l'atmosphère devient négligeable au-delà de 150 km d'altitude (bien que les gaz n'échappent vraiment à l'attraction terrestre qu'au-delà de 400 km d'altitude)

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

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

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

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

- la vapeur d'eau (H_2O) qui est un gaz à effet de serre "naturel" est présente essentiellement dans la troposphère ;
- le dioxyde de carbone, ou gaz carbonique (CO_2) est présent à la fois dans la troposphère et la stratosphère. Il est détruit au-delà de 70 km d'altitude par le rayonnement ultraviolet émis par le soleil. Son rôle de gaz à effet de serre se joue essentiellement dans la troposphère ;
- le méthane (CH_4), qui est réparti à peu près de la même façon que le CO_2 dans l'atmosphère;
- Le gaz hilarant (N_2O) s'accumule dans la troposphère, et il est détruit par le rayonnement solaire ultraviolet quand il passe dans la stratosphère ;
- Les chlorofluorocarbones (CFC) sont aussi des gaz à effet de serre. Ils sont présents dans la troposphère et sont également détruits dans la stratosphère par le rayonnement solaire ultraviolet et leur réaction avec l'ozone stratosphérique.

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

90% de l'ozone atmosphérique se trouve dans la stratosphère. C'est là que l'ozone (O_3) est fabriqué "naturellement" : l'absorption d'une partie du rayonnement solaire ultraviolet (très énergétique) par la molécule de dioxygène (O_2) provoque la cassure de cette molécule en deux atomes d'oxygène. Cette réaction ne peut se faire qu'au-delà de 20 km, car aux plus basses altitudes, le rayonnement solaire est atténué par son interaction avec les composants atmosphériques et n'a plus l'énergie nécessaire pour casser la molécule d' O_2 . Les deux atomes d'oxygène réagissent ensuite chacun avec une molécule de dioxygène pour donner une molécule d'ozone (O_3).

C'est cet ozone stratosphérique qui constitue la fameuse "couche d'ozone" qui nous protège d'une partie du rayonnement ultraviolet du soleil : en effet, la molécule d'ozone a pour propriété d'absorber également une partie du rayonnement ultraviolet (un peu moins énergétique que le précédent) et de se casser en une molécule de dioxygène (O_2) et un atome d'oxygène (O). Celui-ci réagit ensuite avec une molécule d'ozone (O_3) pour donner deux molécules d' O_2 .

Dans la troposphère, l'énergie solaire n'est plus assez forte pour casser la molécule d' O_2 , et la production d'ozone n'est pas possible par ce moyen là. Par contre, il existe un autre moyen : la cassure du dioxyde d'azote (NO_2) par le rayonnement ultraviolet. L'ozone est produit en plus faible quantité que dans la stratosphère car ses précurseurs sont moins abondants que l'oxygène (je vous fais grâce de toute la chimie qui permet d'expliquer la concentration en ozone de la troposphère, je vous l'envoie si vous voulez !).

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

5. Et l'effet de serre dans tout ça ?

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

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

Ce sont les basses couches de l'atmosphère (troposphère) qui sont les plus concernées car :

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

6. Conclusion :

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

Milieu de vie, environnement

[Composition de l'atmosphère terrestre](#)

Texte d'Isabelle Catala (INRA) :

L'atmosphère est l'enveloppe gazeuse qui entoure notre planète. La troposphère qui s'étend entre 6 et 17 km au-dessus de la surface de la Terre constitue 80% de l'atmosphère et contient la quasi-totalité de l'eau de l'atmosphère. C'est à ce niveau que se déroule la circulation de l'air. La stratosphère qui s'étend jusqu'à 50 km d'altitude est extrêmement sèche.

L'atmosphère se compose de 78,08% d'azote, 20,95% d'oxygène, 0,93% d'argon et 0,03% de dioxyde de carbone (gaz carbonique) et présente des traces d'hélium, d'hydrogène, de néon, de krypton, de xénon, d'ozone et de méthane.

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

L'effet de serre provoqué par les gaz présents dans l'atmosphère évite la perte d'énergie thermique que la Terre rayonne vers l'espace et maintient ainsi une température clémente sur Terre. L'équilibre de l'atmosphère est fragile, le modifier pourrait provoquer des changements climatiques néfastes à l'équilibre de notre planète.

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

Nombre de séances : 2

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

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

Complément scientifique pour l'enseignant :

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

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

Séance 12 : L'atmosphère fonctionne comme une serre

Objectifs :

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

Compétences :

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

Un exemple de cheminement pour l'enseignant :

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

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

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

Objectif :

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

Compétences : Séance d'évaluation de compétences

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

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

Matériel :

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

Exemple de dispositif expérimental :

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

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

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

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

Déroulement possible de la séance :

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

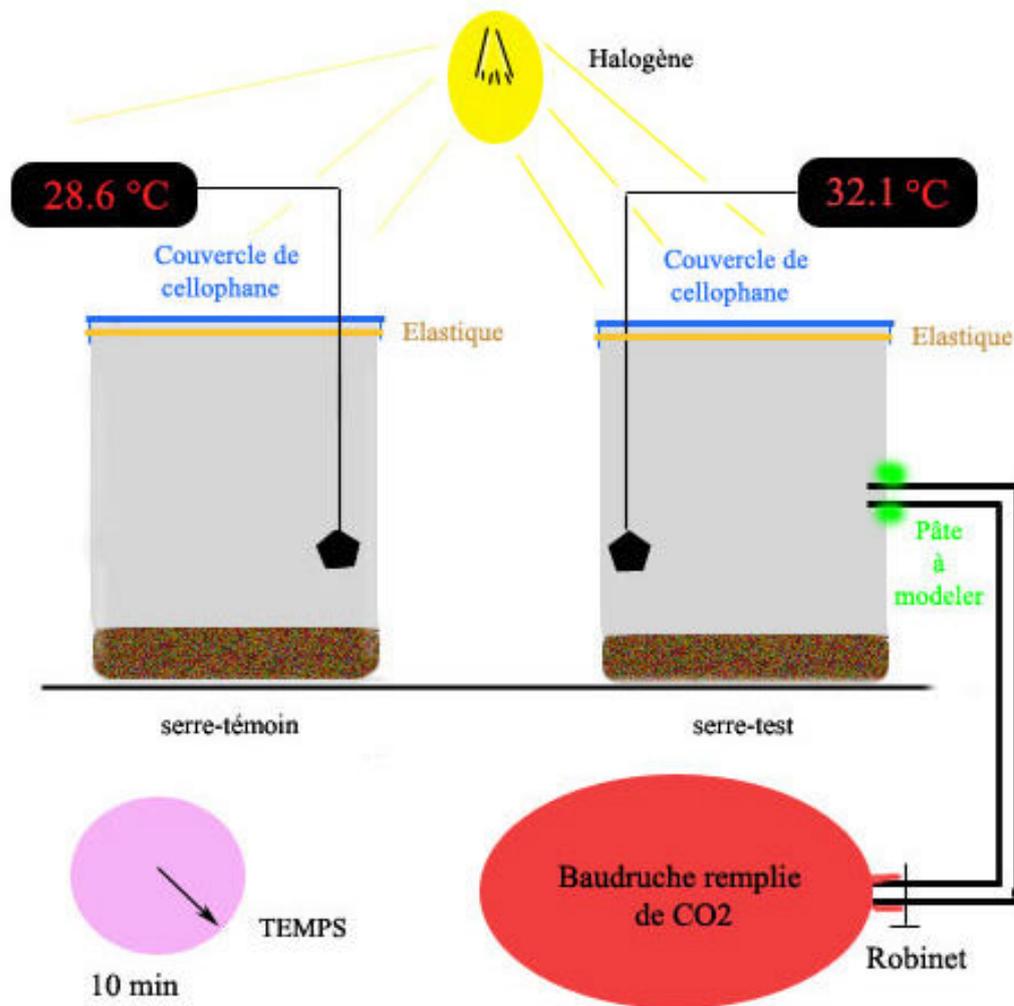


Figure 12 : exemple de dispositif expérimental

Autre possibilité expérimentale :

L'objectif est un peu différent : mettre en évidence que le dioxyde de carbone joue le même effet qu'un couvercle transparent, (i.e. qu'une serre fermée par un couvercle). Le dioxyde de carbone est un gaz à effet de serre, mais son mécanisme de "rétention" de la chaleur est différent dans l'atmosphère et dans l'expérience simple de laboratoire que nous proposons où il agit principalement comme un "couvercle" *. La seule différence avec l'expérience précédente est que la serre-test ne possède pas de couvercle.

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

- Dans la pratique, nous avons observé que l'optimum de concentration de dioxyde de carbone (pour observer les plus grands effets) se trouvait pour une concentration correspondant à une décharge de 15 secondes de la bombe aérosol. (Pour des temps de décharge plus courts, il n'y a pas assez de dioxyde de carbone pour former un couvercle. Pour des temps plus longs, l'efficacité diminue car une partie de la chaleur de la serre est utilisée pour essayer de "mélanger" le dioxyde de carbone).
- Le dioxyde de carbone est plus lourd que l'air. Il aura donc tendance, après son injection, à rester confiné un certain temps dans la bouteille. Il ne faudra cependant pas poursuivre l'expérience au-delà de 10 min, car il ne restera plus de CO₂ après cette période.

Exemple de résultat expérimental :

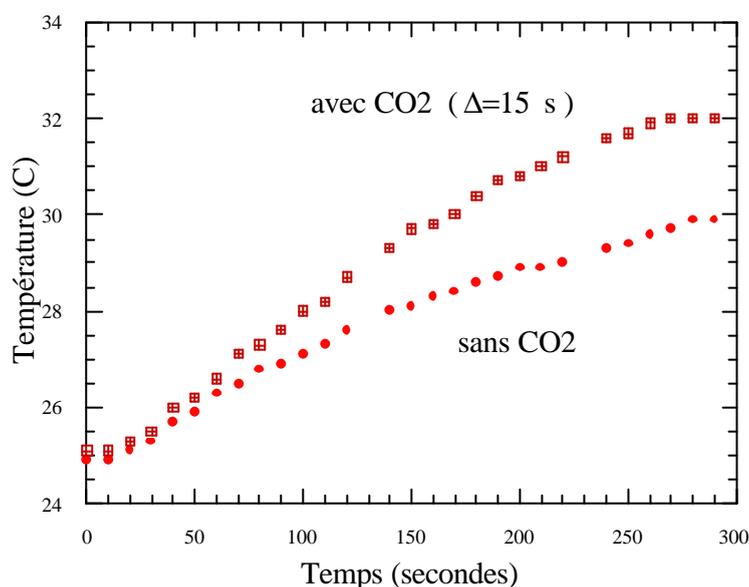


Figure 13 – Courbe de la T° à l'intérieur des bouteilles en fonction du temps avec et sans ajout de dioxyde de carbone (noté ici CO₂) . La différence de température entre les deux bouteilles augmente.

Trace écrite :

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

Conclusion :

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

Étape 5 - Écocivisme : des constats à l'action

Nombre de séances : 3

Buts de l'Étape 5 : avoir compris et retenu la responsabilité que nous avons à l'égard de l'environnement : problèmes environnementaux dûs à l'augmentation de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre.

Connaître les solutions pour limiter les émissions de ces composés. Sensibiliser les familles, et faisant calculer l'émission de ces composés dans le cadre familial.

Préambule :

Lors de l'étape 4, on a listé les différentes origines possibles des gaz à effet de serre. Schématiquement, on peut distinguer deux types d'émission de gaz à effet de serre :

- l'effet de serre naturel (plantes, respiration...). Sans lui, l'atmosphère et le climat de la terre seraient trop froids pour maintenir la vie.
- la grande quantité de gaz à effet de serre (principalement du dioxyde de carbone et de l'eau) due à l'activité (industrielle) humaine, le plus souvent par combustion d'hydrocarbures ou de composés fossiles (pétrole, gaz, charbon).
- la production de méthane très importante par les bactéries du tube digestif des élevages de bovins et d'ovins (uniquement herbivores).

L'origine naturelle du dioxyde de carbone, faisant appel à des notions de physiologie végétale relativement complexes (photosynthèse, respiration végétale) seront abordées au collège.

Au cours des séances qui suivent, la classe s'intéressera uniquement aux dioxydes de carbone d'origine anthropique (liée aux activités humaines).

Séance 14 - Activités humaines et production de dioxyde de carbone – Bilan carboné

Objectifs : - Responsabilité que nous avons à l'égard de l'environnement :

- **Rendre concrète la prise de conscience de la réduction possible, par chacun, de la production de gaz à effet de serre.**
- **Utiliser ses connaissances pour traiter un problème mathématique.**

Moyens :

- Faire une liste des activités humaines productrices de dioxyde de carbone, qui peuvent être quotidiennes pour les élèves.
- Établir un bilan chiffré annuel de la quantité de dioxyde de carbone produite par chaque élève.
- Comparer au chiffre moyen correspondant à une stabilisation de l'effet de serre, le bilan chiffré de la quantité de dioxyde de carbone produite par chaque élève.
- Prendre la mesure de cet écart, en réaliser les causes possibles (gaspillage, mauvaise gestion ou choix énergétique) et les conséquences sur l'environnement.

Selon les compétences des élèves en mathématiques, l'accent de cette séance se fera sur :

Lecture/ Math.	Traiter les informations d'un document écrit
Exploitation de données numériques	Résoudre des problèmes en utilisant des connaissances sur les nombres naturels et les décimaux et sur les opérations étudiées.
Exploitations de données	Organiser des séries de données (listes, tableaux)
Mesures	Connaître les unités légales du système métrique, (masses ; longueurs, volumes, kWh) et effectuer des calculs simples sur ces mesures.
Calcul	Utiliser à bon escient sa calculatrice pour obtenir un résultat numérique issu d'un problème, et interpréter le résultat obtenu.

Déroulement possible de la séance :

L'enseignant questionne les élèves sur les activités liées à l'homme susceptibles de produire du dioxyde de carbone (exemples de réponses : la pollution, les feux, les usines, la respiration, les voitures...). Un élève peut noter au tableau la liste de ces activités.

(Collectivement)

Une petite discussion à ce sujet peut s'engager au sein du groupe-classe, afin de permettre l'émergence du rapport entre production de dioxyde de carbone et la combustion d'hydrocarbures ou de composés organiques (charbon, par exemple).

A ce niveau, il sera utile de revenir sur les documents de départ du module: (documents 1 & 2) et éventuellement consulter les sites internet conseillés (cf. page52).

(En petits groupes)

L'enseignant questionne les élèves sur leurs activités quotidiennes susceptibles de produire du dioxyde de carbone. Une discussion s'installe au sein du petit groupe et objectif leur est demandé de rassembler une dizaine de ces activités pour chaque groupe.

À l'issue de cette discussion, l'enseignant essaye de rassembler ce florilège sous quatre rubriques:

- mode de chauffage domestique,
- mode de transport,
- déchets (c.a.d. production humaine non-recyclée),
- alimentation (c.a.d. production des produits alimentaires) *(1).

***(1) Remarque** : il est possible qu'il existe une difficulté pour amener les élèves à la notion de dépense énergétique dans le but de produire les composés de leur alimentation. Un simple questionnement concernant le travail d'un agriculteur : l'utilisation de son tracteur (labourage, récolte, etc...), des engrais, du transport et du conditionnement entre le producteur et le consommateur, le transport des fruits et légumes hors saison par avion etc.... permettra probablement de faire ce lien.

L'enseignant propose de rassembler ces activités dans un tableau *(2), dans lequel apparaissent clairement les 4 rubriques. (cf. tableau "bilan carboné", en annexe 2).

Ensuite, il peut annoncer : *"des scientifiques ont calculé combien chacune de ces activités produit de dioxyde de carbone", je vous propose que nous utilisions ces chiffres pour se rendre compte du dioxyde que nous produisons en une année.* "Pour cela je vous donne le tableau et vous demande de le remplir avec vos parents à la maison".

Cette tâche nécessitera les factures d'eau, d'électricité, éventuellement de fuel ou gaz ; si l'élève rencontre des difficultés à rassembler les données avec ses parents, des copies de factures peuvent être proposées.

***(2) Remarque** : en se référant à l'émission de jeux *Climaction*, ce bilan carboné peut aussi se faire en « planète consommée ».

L'enseignant propose à quelques élèves de présenter les nombres du bilan carboné [il aide éventuellement ceux qui n'ont pas fini les calculs] à la classe. Après les avoir reportés au tableau, il peut expliquer :

"Des travaux scientifiques rapportent que, pour que la température de la terre reste stable, la production maximum de chaque habitant de la planète ne devrait pas dépasser 500 kilos de dioxyde de carbone, par an. "

Il est ensuite proposé de comparer les résultats des élèves à ce chiffre*(3). La classe constate qu'en moyenne, leur production (et la production française), est quatre fois supérieure (environ 2 tonnes/an).

***(3) Remarque** : l'annonce de chiffres relevés pour, par exemple, le Maroc (400 kilos/an), les États-Unis (6000 kilos/an), la Suède (2,2 tonnes/an) et l'Allemagne (3,4 tonnes/an) peut permettre d'atténuer un éventuel sentiment de culpabilité chez les enfants.

Séance 15- Conséquence sur le climat des composés à “ effet de serre ”

Lien entre l'éducation civique, les sciences et la géographie.

Objectifs : les géographes cherchent à comprendre comment les hommes produisent, occupent, utilisent, aménagent et transforme leurs territoires, pour et par leurs activités.

- Faire le lien entre les activités humaines, l'augmentation de la température moyenne et les conséquences sur le climat et l'environnement.
- L'enseignement de la géographie fait appel à des supports variés de lecture et de réflexion/

Géographie	
Sciences	
Education civique	
Français	

Déroulement possible :

Collectivement

Questionnement introductif :

L'enseignant : *“d'après tous ces chiffres, nous libérons trop de dioxyde de carbone, c'est-à-dire trop de gaz à effet de serre. Que se passe-t-il donc au niveau des climats terrestres ?”*

Les élèves : *“ils sont de plus en plus chauds”*

L'enseignant : *“ Quelles en sont les conséquences ?”*

Les élèves vont proposer des conséquences du réchauffement climatique.

- Sur quelle base ?

Retour à la vidéo de Luchini ? aux documents de la séance 1

L'enseignant veillera, autant que possible, à éviter tout catastrophisme et, car elles seront nombreuses, à rassembler ces conséquences dans les thèmes suivants :

- Température moyenne et climats (tempêtes, sécheresse, inondation).
- Fonte des neiges et glaces (élévation du niveau de la mer, inondations).
- Changement dans les écosystèmes (au niveau de la flore et de la faune : disparition d'espèces, désertification).
- Santé humaine (pollution, épidémies [moustiques]).

Ce questionnement permettra dans la séance suivante d'apporter les éventuelles solutions que les élèves et leurs parents peuvent entreprendre pour limiter les émissions de ces gaz.

**Quelle documentation pour aider le maître à ce niveau ? Météo fiction de l'émission climaction (été très chaud, continents inondés, hiver très froid... Gulfstream... el nino)
Quels écrits de climatologue ?**

L'enseignant questionne les élèves au sujet de ce qu'ils pensent des causes et conséquences du changement climatique, et les amène à un projet d'action.

Séance 16 – Décisions et actions

Rappel des étapes : connaître, comprendre, choisir, décider puis agir... après avoir réfléchi aux conséquences des actions...

Les volets connaître et comprendre ont été détaillés. Les élèves en arrivent à la partie « choix », décisions collectives, et étude des conséquences de leurs comportements... On peut choisir d'agir, et on peut, de plus, choisir de communiquer pour convaincre d'agir...

Objectifs : choix et mise en œuvre d'une action de protection de l'environnement.

Education civique	Noter, formuler les décisions prises suite à un débat
Sciences/ Ecrire	Rédiger un texte pour communiquer des connaissances (statut documentaire)

- Comprendre la notion d'écocivisme et le pouvoir qu'ont les humains de modifier l'environnement;
- Etre en mesure d'intégrer dans sa vie quotidienne ou sa future vie adulte, une série de comportements qui contribu(rai)ent à diminuer l'émission de dioxyde de carbone.

Déroulement possible :

(Collectivement)

Reprendre les bilans carbonés. Le maître discute avec les élèves de la façon dont ils pourraient réduire la production de dioxyde de carbone en se comportant différemment *. Ils comprennent comment ces changements pourraient aider à prévenir le changement climatique. L'enseignant pourra préciser que les comportements qui économisent de l'énergie permettent généralement de réduire l'émission des gaz à effet de serre. Ils peuvent en parler à la maison ou se baser sur ce qu'ils savent déjà.

Connaissent-ils des mesures pour diminuer l'émission des gaz à effet de serre ?

(en petits groupes)

Demander aux élèves proposer une liste d'environ dix comportements de la vie quotidienne qui ont un impact positif sur l'émission des gaz à effet de serre.

Faire des propositions d'affiches, de dépliants ou de textes documentaires mettant en avant les décisions positives.

Chaque équipe présentera son projet de décisions et de communication, qui sera repris lors de séances de français...

* **Remarque :** les émissions individuelles constituent 25% du total des émissions de gaz à effet de serre. Le transport quotidien des individus produit la moitié des rejets de dioxyde de carbone pour le secteur du transport.

Prolongement sur l'écocivisme

Conséquences positives des actions :

Présenter aux élèves les autres bienfaits de ces types de changements dans les comportements, par exemple :

- Amélioration de la qualité de l'air, moins de pollution par les fumées dans les centres urbains : impact positif sur la santé, particulièrement celle des enfants ;
- Moins de pluies acides : impact positif sur la vie dans les lacs et rivières ;
- Moins de déchets qui remplissent les lieux d'enfouissement, moins de pollution ;
- Innovations technologiques qui réduisent les émissions (pot catalytique, etc...).

Tout le monde économise grâce à une plus faible consommation d'essence, des coûts de chauffage moins élevés, etc...

Discuter avec les élèves comment ils peuvent intégrer ces comportements dans leur vie quotidienne. Y aura-t-il de la résistance autour d'eux? Quels arguments peuvent-ils utiliser pour convaincre leurs proches?

Évaluation avec un jeu ADEME en ligne : <http://site.voila.fr/libeo/prod/adem/pilotage/>

Petite évaluation

A l'aide de la vue par satellite montrant la terre la nuit vue de l'espace (photo ci-dessous, mais préférer le site de la Nasa), questionner au sujet de la consommation énergétique de chaque continent et la rapprocher de la quantité de carbone émise et donc de la contribution des pays développés ou en voie de développement à l'augmentation de l'effet de serre.



Figure 13 : Photo satellite montrant les émissions lumineuses à la surface de la terre

Conclusion

C= Communication

L'ensemble de ce travail sera l'objet d'une présentation des travaux sous la forme d'un bilan, d'une exposition, d'un exposé, d'un dépliant, d'informations en direction des parents, d'un article dans un journal local, de la rédaction de pages web sur Internet...

Bibliographie et crédits

Bibliographie

Publications, ouvrages et références :

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

Sites Internet :

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

www.climaction.org: association

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

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

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

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

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

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

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

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

Autres sites :

Environnement Canada est une bonne source d'informations générales :

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

Autre site canadien sur les changements climatiques :

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

Crédits

Auteurs :

Comité scientifique :

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

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

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

Comité pédagogique et communication :

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

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

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

Coordination :

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

Aides documentaires :

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

Illustrations

Documents

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

#2 : Les Clés Junior– n°280, 2003.

Figures :

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

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

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

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

Remerciements

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

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

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

Annexe 1 - CALIBRATION

Matériel non "calibré", les bouteilles (et les thermomètres s'ils ne sont pas identiques) peuvent ne pas être absolument "identiques", et il se peut que l'on mesure des températures différentes dans les bouteilles avant même le début de l'expérience.

Pour s'affranchir de cet effet, il est donc conseillé d'effectuer une expérience de "calibration" :

Dispositif expérimental : Dans le fond des bouteilles mettre un volume identique de terre sèche, puis fixer les capteurs à l'intérieur des bouteilles avec du ruban adhésif à un cm de la surface de la terre. Éclairer avec la lampe halogène par le dessus, noter la distance entre le couvercle de la serre et la lampe. Relever la température toutes les 20 secondes pendant 5 à 10 minutes (cf. Figure 1)

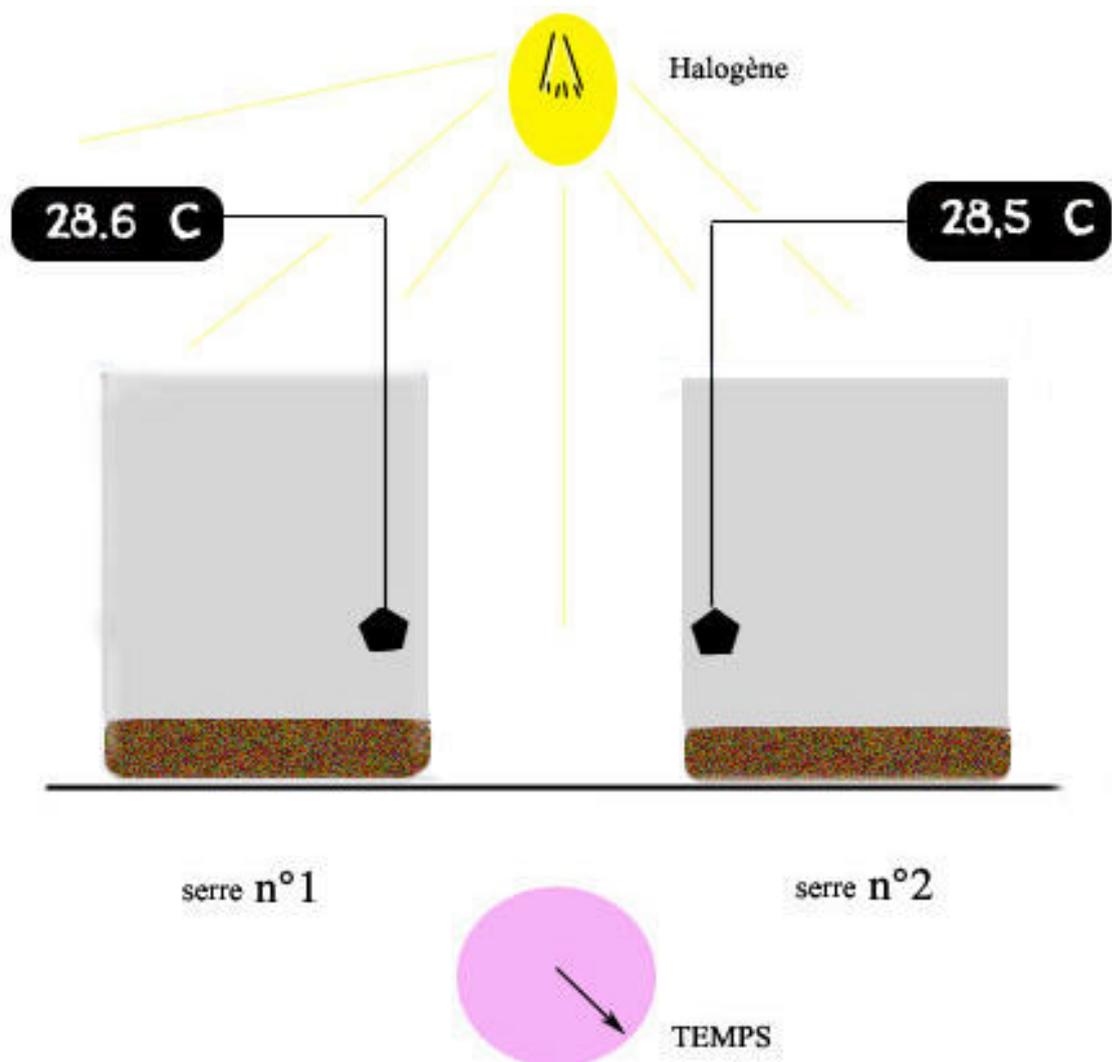


Figure 1 : Exemple de dispositif expérimental

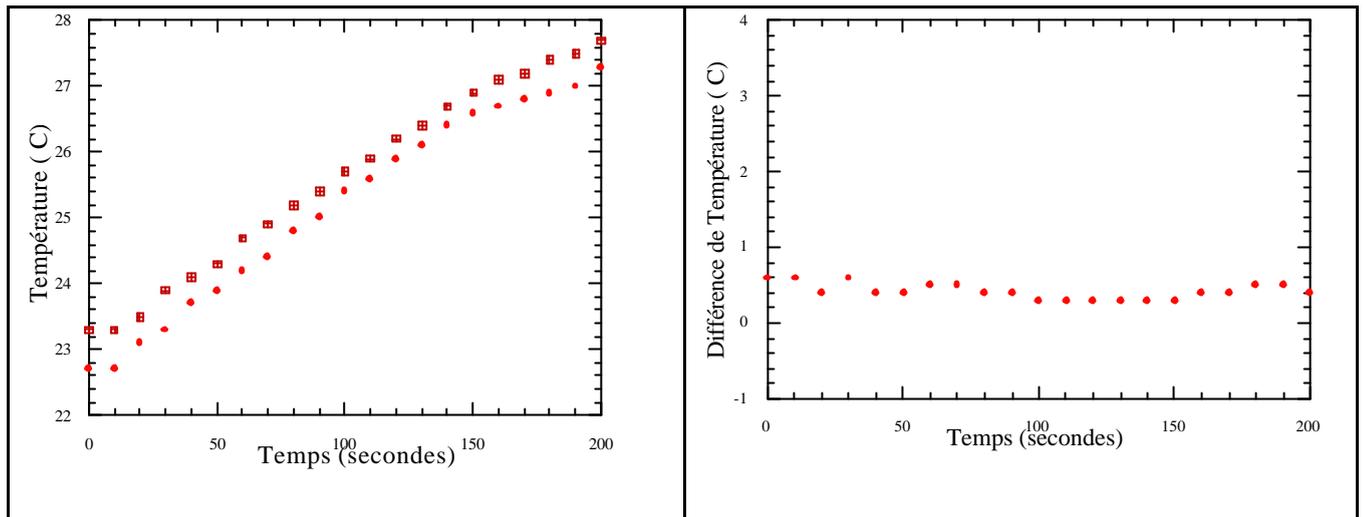


Figure 2 : Courbes de calibration

Commentaires :

La figure 2 ci-dessus représente les courbes de la T° à l'intérieur de deux serres identiques en fonction du temps (à gauche les deux relevés de températures, à droite la différence de température entre les deux relevés). Les températures diffèrent dans les deux serres, mais la différence de température entre les deux serres reste à peu près constante. C'est cette quantité qui est pertinente.



ANNEXE A : BILAN CARBONÉ

Estimation des émissions de carbone liées aux activités quotidiennes

Action reliée	Carbone émis (en grammes)	Mes émissions de dioxyde de carbone	
		La consommation annuelle	Mon émission annuelle de carbone
Electricité (s'éclairer, faire fonctionner les appareils)			
1 kWh	25		
Chauffage, par kWh			
Fioul	100		
Gaz	75		
Électricité	25		
Transport (par passager et par km)			
Voiture en ville	85		
Voiture grand route	50		
Bus en ville	20		
Bus grand route	8		
Tramway/RER	6		
Vélo	0		
Pied, roller	0		
Train	7		
Avion	30		
Eau			
1 m ³	30		
Produits alimentaires (production)			
1 kg de blé	100		
1 kg de volaille	500		
1 kg de boeuf	8 000		
1 kg de veau	80 000		
1 litre de lait	170		
Agriculture biologique	0		
Produits manufacturés			
1 kg d'acier	800		
1 kg de plastique	700		
1 kg de verre	500		
1 kg de bois	0 (si forêt entretenu)		
1 kg de ciment/béton	250		

MODE D'EMPLOI

Pour calculer le montant de production de carbone du secteur « chauffage », il faut :

1. Déterminer le type de chauffage.
2. A partir des factures de l'année passée, estimer la consommation annuelle d'énergie liée au chauffage (en kWh).
3. Diviser par le nombre d'occupants de la maison. Reporter ce chiffre dans la troisième colonne du tableau.
1. Convertir en quantité de carbone à l'aide des chiffres. Reporter ce chiffre dans la quatrième colonne.

Pour calculer le montant des émissions de CO₂ du secteur "électricité", il suffit :

1. A partir des factures de l'année passée, estimer la consommation annuelle d'électricité (en kWh).
2. Diviser par le nombre d'occupants de la maison. Reporter ce chiffre dans la troisième colonne du tableau.
3. Convertir en quantité de carbone à l'aide des chiffres. Reporter ce chiffre dans la quatrième colonne.

Pour calculer le montant des émissions de CO₂ du secteur "eau", il faudra :

1. Repérer sur la facture d'eau [★] combien de m³ ont été consommés.
2. Diviser par le nombre d'occupants de la maison. Reporter ce chiffre dans la troisième colonne du tableau.
3. Convertir en quantité de carbone à l'aide des chiffres. Reporter ce chiffre dans la quatrième colonne.

Pour calculer le montant de production de carbone du secteur "transport/voiture", il faudra :

- Calculer le kilométrage annuel de chacun des véhicules de la maison.
- De ce chiffre, repérer quelle partie va dans le secteur : ville, et quelle partie va dans le secteur "grand route" (pour chaque véhicule).
- Sommer les kilométrages obtenus de chacun des véhicules de la maison, pour chacune des deux catégories. Diviser chacun des kilométrages obtenus par le nombre d'occupants de la maison. Reporter les deux chiffres correspondants dans la troisième colonne du tableau.
- Convertir en quantité de carbone à l'aide des chiffres. Reporter ce chiffre dans la quatrième colonne.

Pour les modes de transport train et avion, il faut :

1. Répertorier les différents voyages effectués dans l'année. Pour chacun, estimer le nombre de kilomètres parcourus. Sommer le nombre de kilomètres pour obtenir le nombre total de kilomètres parcourus dans l'année avec ce mode de transport

2. Reporter ce chiffre dans la troisième colonne du tableau.
3. Convertir en quantité de carbone à l'aide des chiffres. Reporter ce chiffre dans la quatrième colonne

Pour calculer le montant de production de carbone du secteur "alimentaire", il faudra :

1. *Estimer la consommation journalière (en grammes) de chacun des produits présents dans la table. Pour simplifier, toute viande rouge compte comme "bœuf". Tous les produits laitiers comptent comme "lait" (1 kg de produit laitier = 1 litre de lait).*
2. *Convertir ce chiffre en consommation annuelle en le multipliant par 365.*
3. *Reporter ce chiffre dans la troisième colonne du tableau.*
4. *Convertir en quantité de carbone à l'aide des chiffres. Reporter ce chiffre dans la quatrième colonne.*

Pour calculer le montant des émissions de CO₂ du secteur « produits manufacturés », il faut :

1. Estimer la quantité et la nature des déchets produit journalièrement. Par exemple, disséquer le contenu de sa poubelle.
2. Convertir en quantité de CO₂ à l'aide des chiffres

A la fin, en sommant tous les chiffres de la quatrième colonne, on obtient la production annuelle totale de carbone en grammes. Cette dernière peut être convertie en kilogrammes en divisant par 1000. A titre de comparaison, la production annuelle moyenne d'un français est de 2200 kg. L'enseignant peut alors poser les questions suivantes :

Produis-tu plus ou moins que la moyenne ? Peux tu identifier pourquoi (en regardant dans quel domaine tu a produit le plus de carbone, par exemple) ?

A l'aide du document "Que pouvons nous faire?" (cf. Annexe C, page 12), peux tu identifier comment et de combien tu pourrais réduire ta production de carbone ?

ANNEXE B : DOCUMENTATION SCIENTIFIQUE

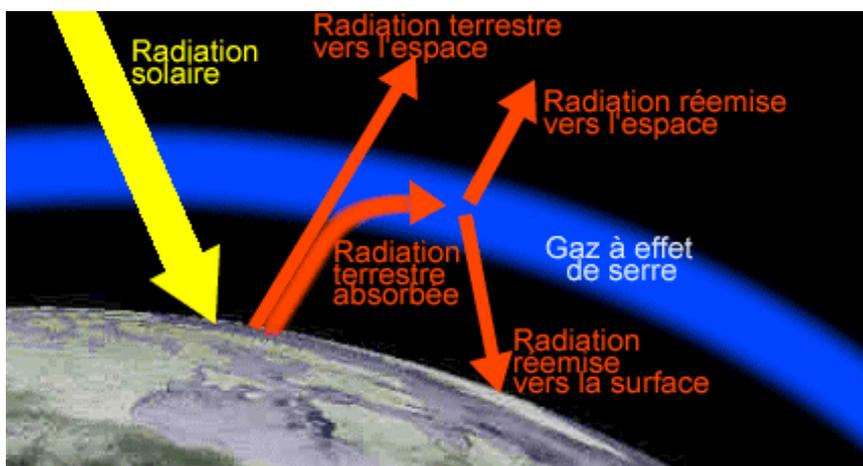
Au sujet de l'effet de serre...

Ce texte s'accompagne d'un fichier diaporama (au format Powerpoint), reprenant les figures du texte, et s'adresse uniquement à l'enseignant, afin de l'aider dans la compréhension du phénomène de « l'effet de serre ».

Qu'est ce que l'effet de serre?

Une serre est un bâtiment couvert de vitres, qui laisse passer la lumière du soleil, mais empêche que la chaleur qui se forme à l'intérieur de la serre, sous l'effet de la lumière du soleil, ne se dissipe trop vite vers l'extérieur. Sous une serre, la température est plus élevée qu'à l'extérieur (ce qui permet de cultiver des orangers en région parisienne, par exemple (au Luxembourg ou au jardin des Tuileries!).

A l'échelle de la terre, il existe un ensemble de mécanismes physiques jouant un rôle analogue (Figure 1). La terre reçoit chaque jour une énergie considérable du soleil : en moyenne 342W/m^2 (en un an, l'humanité consomme une énergie égale à moins de 3% de ce que nous envoie le soleil en un jour !). De cette énergie reçue, un tiers est réfléchi directement par le système terre (comme par un miroir) via les nuages, les glaces, la surface des océans. Les 2/3 restants sont absorbés par le système terre-ocean-atmosphère (ce sont d'ailleurs les océans qui absorbent pratiquement tout).



La terre est en équilibre: elle doit se débrouiller pour rayonner autant d'énergie qu'elle en reçoit. Lorsque l'équilibre s'est établi, le système terre atteint une température moyenne, dite température d'équilibre. Il existe une loi physique théorique qui relie la température d'un corps "idéal" à la quantité du rayonnement

qu'il émet.

Figure 1 : bilan radiatif des infrarouges à la surface de la terre.

Quand on applique cette loi théorique à la terre, on trouve que la température d'équilibre atteinte devrait être de -15°C , soit 30°C plus bas que celle observée actuellement à la surface! C'est la température qui existerait en l'absence de tout effet de serre, si nous étions seulement chauffés par la lumière du soleil...A ces températures, l'eau est solide, il n'y aurait donc pas de vie sur terre !!!

Heureusement pour nous, il existe des gaz au sein de notre atmosphère (les "gaz à effet de serre"), présents en petite quantité, qui jouent pour notre planète exactement le même rôle que les vitres de la serre. Ils n'empêchent pas la lumière du soleil d'arriver jusqu'à nous, mais font office de couverture en empêchant l'énergie que nous recevons du soleil de repartir trop vite vers l'espace.

Selon la loi d'émission, à la température de la terre, le rayonnement émis est sous forme de rayons infrarouges. Les gaz à effet de serre sont des gaz qui sont transparents à la lumière visible (celle que le soleil nous envoie), mais qui absorbent la lumière infra-rouge. Ce faisant, ils récupèrent l'énergie et chauffent. Cela conduit, de proche en proche, ces gaz, puis l'atmosphère — et avec elle la surface de la Terre — à être plus chauds que si le rayonnement infrarouge passait à travers l'atmosphère sans être intercepté.

Quel est le lien avec les changements climatiques ?

Au premier ordre, ce mécanisme explique la température qui règne actuellement sur la terre. D'autres mécanismes plus compliqués doivent encore être pris en compte si on veut raffiner le modèle.

Par exemple, si l'atmosphère restait toujours parfaitement immobile, l'effet de serre conduirait à des températures moyennes de l'ordre de 60°C à la surface de la terre !!! En fait, il existe au sein de l'atmosphère et du système terrestre des mécanismes de régulations comme des brassages d'air à grande échelle entre les basses couches et les hautes couches ou l'évaporation qui permettent d'amener la température moyenne autour de 15°C à la surface...Les températures et le climat que nous observons actuellement sont le fruit d'un équilibre délicat, dont les moindres variations peuvent produire des effets non-négligeables.

Les modulations de l'énergie reçue par la terre :

- Modulation de l'énergie reçue du soleil

Il existe deux sources majeures de modulation de l'insolation:

1/ Celle liée à la modification de la position moyenne de la surface de la terre par rapport au soleil, comme le phénomène de précession des équinoxes (échelle = 21000 ans).

2/ celle liée à la variation de la luminosité solaire (échelle 11 à 80 ans). Par exemple, entre les années 1650 et 1700 on a observé une disparition des taches solaires (correspondant à une activité moindre). En Europe, cela correspond au "mini" âge glaciaire reporté dans les livres (on patinait sur les canaux en Hollande).

- Modification de l'albédo

On peut faire varier la quantité d'énergie reçue par le système terre en faisant varier sa capacité à réfléchir l'énergie solaire (un objet noir chauffe plus rapidement qu'un objet blanc). Deux grands types de processus entrent en jeu :

1/ les aérosols ou les nuages, c'est-à-dire la suspension dans l'air de gouttelettes ou de poussières. Ces aérosols en suspension empêchent la lumière de passer. Les plus importants sont les nuages (gouttelettes d'eau). Ils peuvent être naturels (volcans, écume de la mer, tempête de sable) ou d'origine anthropique (pollution).

L'échelle de temps va de quelques jours (tous les aérosols sauf les volcaniques) à quelques mois voir quelques années pour les aérosols volcaniques.

2/ les surfaces "nues": neige (80 % de réfléchissement) ou désert 35 %. Par comparaison, une forêt ne réfléchit que 15 % de la lumière du soleil.

- *Modification des circulations atmosphériques et océaniques*

Les circulations sont des mouvements à grande échelle dans l'océan ou dans l'atmosphère, qui produisent des "brassages" de température et de matériaux à la surface du globe. Par exemple, le *Gulf stream*, qui nous permet d'obtenir des températures hivernales autour de 0 °C, alors qu'au Canada ou à New York, à des latitudes équivalentes, nous avons des températures autour de -20 °C!

- *Modification de la composition de l'atmosphère*

L'augmentation de la concentration dans l'atmosphère des gaz à effet de serre, conduit, comme l'augmentation de la taille de la vitre de la serre, à une plus grande efficacité de l'effet de serre, et donc à une élévation de la température moyenne de la terre. Par des phénomènes de rétroactions subtils sur les autres composantes (par exemple génération de plus de nuages, plus de neige ou changement des courants océaniques qui sont très sensibles aux variations de température), cela peut induire des changements climatiques importants...

Quels sont les gaz à effet de serre?

Les deux principaux sont :

- la vapeur d'eau: produit 55 pour cent de l'effet de serre.
- le gaz carbonique: produit 39 pour cent de l'effet de serre.

Puis viennent les gaz d'origine "naturelle" comme :

- le méthane qui est le produit d'une putréfaction sans oxygène (au fond de l'eau ou dans la terre, comme dans les rivières!) ou de la digestion des ruminants.
- les halocarbures, gaz utilisés comme réfrigérants dans les climatisations ou dans les bombes aérosols (maintenant interdits) ou dans certains composants d'ordinateurs.

A part la vapeur d'eau, qui s'évacue en quelques jours, les autres gaz à effet de serre ont une durée de vie très longue.

Quelle est la part de l'homme ?

Parmi les gaz à effet de serre, plusieurs ont une origine à la fois naturelle et anthropique. Comment faire la part de l'homme dans tout cela ? En mesurant la concentration des gaz au cours des âges.

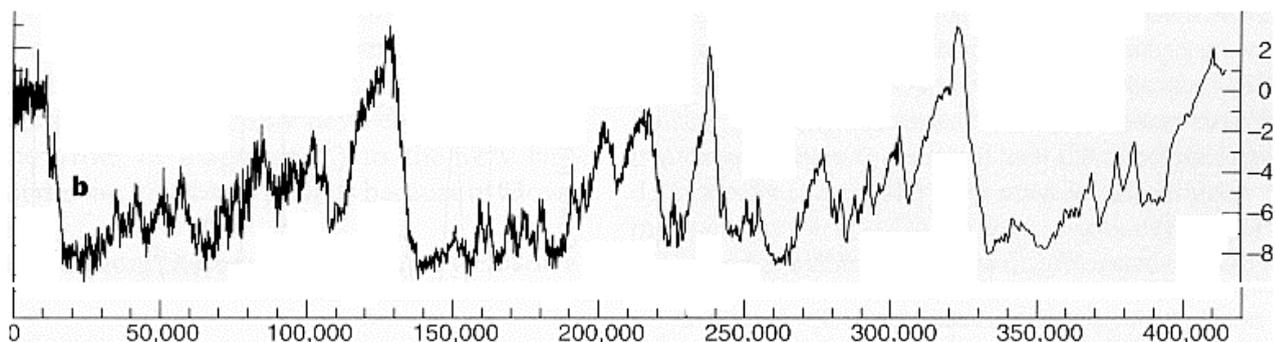


Figure 2 : la courbe de température au cours des âges .

Pour les courtes périodes (depuis les années 60), cela peut être fait par mesure directe (avec un capteur), dans un endroit pas trop perturbé par la présence d'une ville (grosse source d'émission).

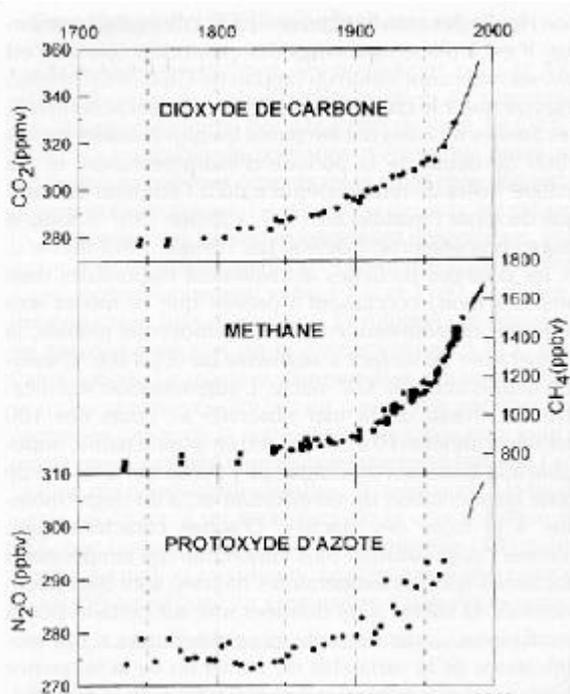
Pour les longues périodes, et pour être sûr que c'est bien l'homme responsable, il faut pouvoir regarder avant le début de l'ère industrielle *i.e.* 1750.

Nous avons la chance d'avoir, au pôle sud, un dispositif naturel d'archivage de la composition de l'air (Figure 3). Chaque année, il y tombe de la neige, qui finit par se transformer en glace, comme cela se passe avec les glaciers de nos Alpes. Au cours de cette transformation de neige en glace, l'air qui entoure les flocons de neige se retrouve emprisonné dans la glace, sous forme de petites bulles.



Ces bulles datent donc de l'époque où la neige est tombée. Par ailleurs, comme la température de l'antarctique est très basse et qu'il ne dégèle jamais, chaque année voit de nouvelles chutes de neige qui viennent recouvrir les précédentes. Le résultat de tout cela est que la calotte glaciaire de l'Antarctique se compose de glace qui est de plus en plus vieille au fur et à mesure que l'on creuse plus profond, et que, avec chaque couche de glace d'un âge donné, on trouve un peu d'air - sous forme de micro-bulles - qui date de la même époque que la glace.

Figure 3 : station de mesures en Antarctique.



Avec nos instruments et techniques modernes, nous savons creuser et extraire proprement (sans la contaminer avec de l'air ambiant) ce que nous appelons une "carotte" dans la glace, c'est à dire un grand cylindre d'une dizaine de centimètres de diamètre et dont la longueur est de quelques kilomètres (de la surface jusqu'au rocher). Puis nous datons la glace et nous analysons la composition des bulles d'air qui s'y trouvent tout le long de la carotte.

Sur des périodes plus longues, (jusqu'à - 400000 ans) on constate une oscillation de la concentration en dioxyde de carbone, mais qui

reste toujours plus basse que celle mesurée actuellement.

Au sein de cet ensemble, les émissions par pays sont très variables (Figure 5). Les pays "sous-développés" sont nettement moins émetteurs : en moyenne, l'émission par habitant est de l'ordre de 0,4 tonnes de carbone par an (soit un cinquième d'un Français, et 1/14 de ce que "fait" un américain !

Enfin la répartition par activité des émissions de gaz à effet de serre est très variable d'un pays à l'autre. Pour fixer les idées, on la donne ci-dessous pour la France (Figure 7). A cause du fait que nous produisons notre électricité essentiellement avec des procédés qui n'émettent pas de dioxyde de carbone (nucléaire pour 80%, et hydraulique pour 15%) la répartition chez nous n'est pas la même que dans d'autres pays développés comme les Etats Unis.

Figure 4 : analyse des gaz à effet de serre sur une période récente.

Pour le seul dioxyde de carbone ce sont les transports qui arrivent en tête (figure ci-dessous), suivis du poste "résidentiel - tertiaire", qui correspond à l'utilisation d'énergie dans les maisons et bâtiments (chauffage, eau chaude, cuisine, etc.).

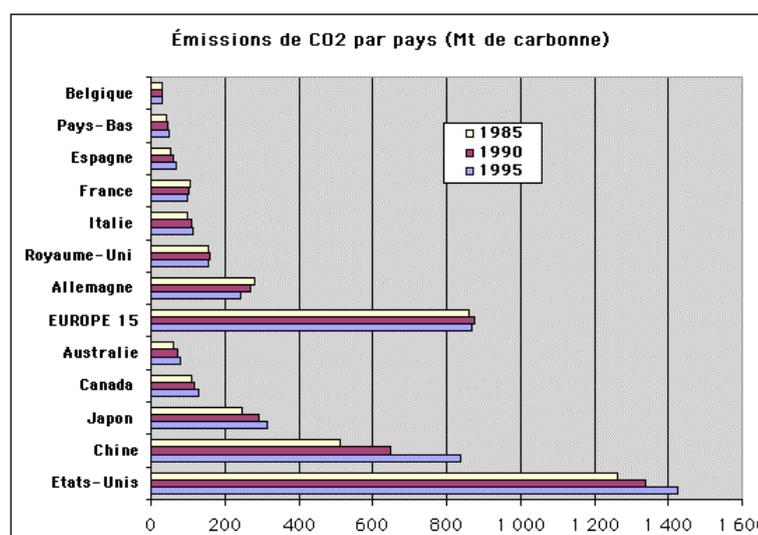


Figure 6 : répartition par pays des émissions de dioxyde de carbone.

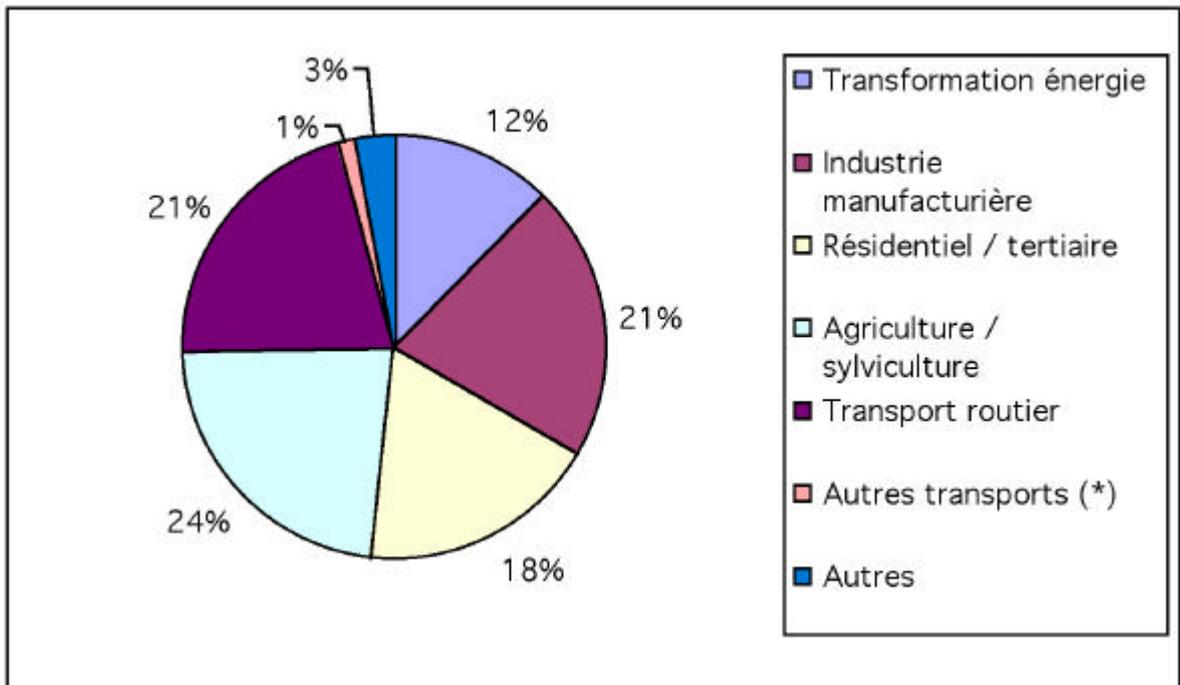


Figure 6 : % des émissions de carbone par activité (France) ;

Quels sont les indices de changement climatiques ?

* *l'augmentation de la température moyenne*

On dispose de thermomètres précis et fiables depuis 1860 : c'est donc depuis cette époque que l'on sait mesurer l'évolution des températures moyennes avec un bon degré de précision.

On constate que cette température moyenne de l'air au niveau du sol a augmenté de 0,5 °C environ depuis le début du siècle, et que les records de chaleur sont tous concentrés dans les années récentes (figure 7 ci-contre). Début 2001, l'augmentation du 20ème siècle est considérée comme faisant 0,6 °C.

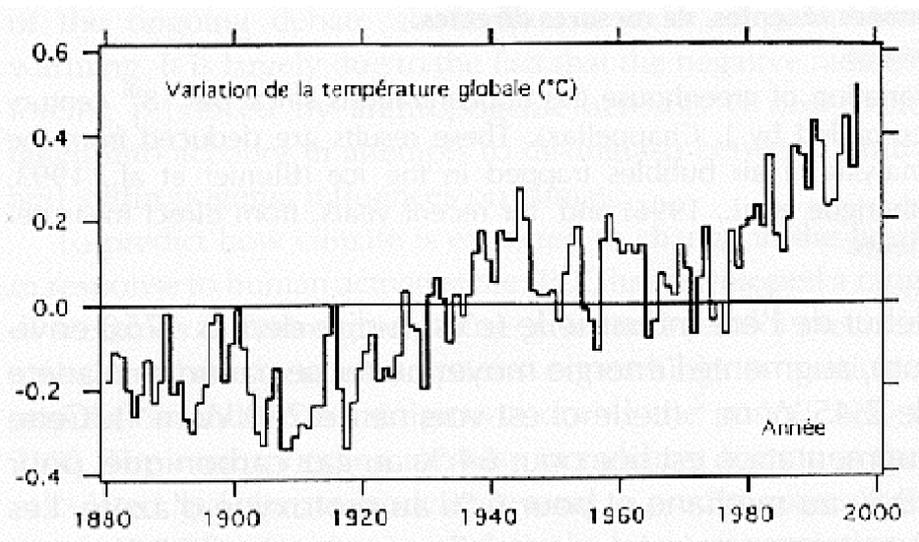


Figure 7 : variation des de la température globale de la planète .

* *la fonte des neiges*

Partout en Europe, on observe un net recul des glaciers.

** l'élévation du niveau de la mer de 10 cm*

L'élévation du niveau de la mer peut être due à deux phénomènes: la fonte des glaciers et la dilatation des océans sous l'effet de la chaleur (l'eau chaude occupe un peu plus de volume que l'eau froide). A l'heure actuelle on estime que le niveau des mers est monté de 10 cm depuis 1890.

** Les changements des écosystèmes*

Quelles sont les conséquences possibles?

Malheureusement, à l'heure actuelle, notre seul outil de prédiction concernant l'avenir et les impacts de l'augmentation des gaz à effet de serre sont les modèles numériques : on utilise l'ordinateur pour résoudre les équations qui régissent la dynamique de l'océan et de l'atmosphère. Les limites de la prévision concernent d'une part des limites technologiques : nos ordinateurs ne sont pas assez puissants pour résoudre les équations en un temps raisonnable et en incluant toutes les échelles de variation des mouvements, depuis l'échelle d'un continent jusqu'à celle du brin d'herbe ! D'autres limites viennent de notre ignorance de certains phénomènes : par exemple, à l'heure actuelle, on ne sait pas bien modéliser la naissance des nuages, ni leurs propriétés physiques. Or les nuages ont une très grande importance dans le cycle du climat, à cause de leur albédo (ils réfléchissent la lumière du soleil), et de leur rôle dans le cycle de l'eau (précipitations). On ne sait pas non plus bien modéliser l'influence des systèmes vivants comme la végétation ou les espèces vivantes, qui ont aussi leur rôle à jouer dans le cycle du carbone (absorption et émission du dioxyde de carbone).

On a quand même quelques certitudes sur le comportement du climat : par exemple, on sait que le climat est le fruit d'un équilibre délicat, et que de très petites variations des paramètres de cet équilibre peuvent induire des changements très brutaux.

Au sein de cet ensemble, il existe notamment des phénomènes à effets de seuil : tant que l'on est en dessous du seuil, une petite perturbation supplémentaire engendre un effet supplémentaire faible, mais si cette petite perturbation fait passer un seuil, alors il se passe des choses totalement disproportionnées avec la cause.

Un exemple de système à effet de seuil est l'élastique : On le tire un peu, il s'allonge. On le tire plus fort, et il s'allonge encore. On peut continuer, ainsi, à le tirer de plus en plus fort, et il s'allongera toujours un peu plus, jusqu'au moment où il cassera.

Ainsi, la dernière "perturbation", c'est à dire le fait de l'avoir tiré un peu plus que la tension que l'on exerçait juste avant, a eu un résultat qui n'était plus proportionnel à l'effet : l'élastique a cassé au lieu de s'allonger un peu plus.

Notre système climatique comporte de tels phénomènes à effet de seuil. Et nous ne savons pas grand chose des seuils auxquels une des composantes peut "casser". Il en va ainsi de la circulation océanique, des courants d'altitude, de la trajectoire des dépressions, de l'écoulement des glaciers. Les scientifiques restent donc très prudents quant à la prévision des conséquences, mais ils tirent la sonnette d'alarme au sujet de certains événements qui semblent très probables compte tenu des résultats des modèles et de nos connaissances actuelles.

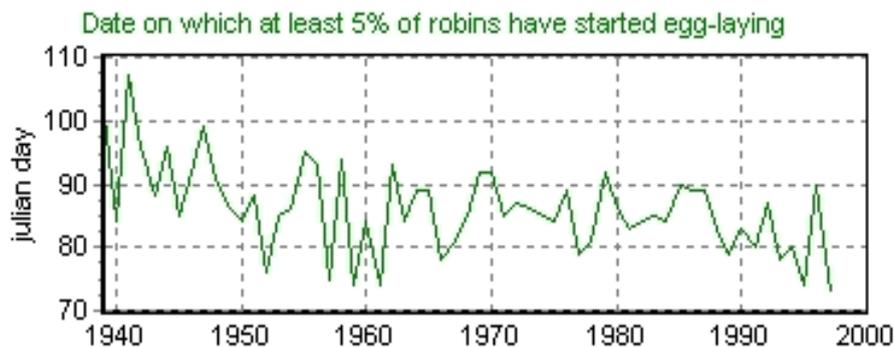
Tempête/sécheresse/inondation

Par exemple, on pense qu'une élévation de la température favorise la "variabilité" du climat en l'éloignant de son point d'équilibre. La variabilité est la mesure de la fréquence et de l'intensité avec lesquelles une valeur s'écarte de la moyenne. Dans le climat, cette variabilité peut concerner la vitesse des vents ou les précipitations. Si la vitesse des vents est un peu plus élevée que la moyenne, cela est une tempête. Si les précipitations sont en dessous des moyennes saisonnières, cela a fait une sécheresse, ou à l'inverse, des précipitations plus élevées que la moyenne font des inondations.

Les dégâts engendrés par ces variabilités "inhabituelles" sont amplifiés par le fait que notre environnement est "adapté" à un certain seuil de variabilité : Par exemple, nos constructions et nos arbres sont adaptés à des vents d'une certaine amplitude, mais se cassent quand le vent devient trop fort. D'où les dégâts occasionnés par la tempête de 1999. De même, nos rivières et la végétation autour de nous sont adaptées à absorber une certaine quantité de pluie au m². Si les précipitations dépassent ce seuil, plus rien ne peut les absorber et cela crée les inondations. Ce qui est grave, ce n'est pas le fait que la variabilité augmente, mais le fait que notre société et notre environnement ne soient pas adeptes à ces nouveaux extrêmes et ne peut pas les absorber, du moins s'ils se produisent sur un laps de temps trop court.

Changement de l'écosystème (végétation, espèces, ...)

Un autre exemple de ce type concerne les changements des écosystèmes :



Un changement climatique peut par exemple déplacer la région où il fait "bon vivre" pour un végétal. Si elle se déplace lentement ce n'est pas très grave : la population de végétaux se déplace aussi et survit. Si l'aire

favorable se déplace trop brusquement, la pop-

Figure 8 : décalage (mois de juillet) des couvaisons du rouge-gorge.

-ulation disparaît car elle n'a pas le temps de se reproduire et de migrer avant que les conditions ne cessent d'être favorables (figure 8).

Selon les espèces, les "vitesses de migration" maximales varient de 4 à 200 km par siècle. La vitesse limite de déplacement est d'autant plus faible que la plante vient à maturité tardivement et que... ses graines sont lourdes (donc ne peuvent pas aller naturellement très en dehors de la zone favorable du moment) ; les chênes (maturité à 50 ans, graines lourdes) sont un exemple typique d'espèce à vitesse de migration lente.



Or selon les modèles un réchauffement de 3° équivaut, pour les zones tempérées, à un déplacement d'aire favorable vers le Nord de 500 km environ. 3° en un siècle - évolution médiane de la fourchette de 1 à 6°C actuellement prévue - engendre donc une vitesse de déplacement bien supérieure aux 200 km maximaux indiqués plus haut. En outre il est

probable que les continents, qui n'ont pas la capacité d'amortissement thermique des océans, connaîtront des augmentations de température plus rapides. De nombreuses espèces naturelles - dont les arbres, et les écosystèmes forestiers attachés - pourraient donc dépérir en cas de modification climatique brutale. Il semblerait d'ores et déjà que certaines zones forestières boréales soient menacées.

Comme cas particuliers de cause de ces changements d'écosystèmes, on peut citer :

- un temps devenant trop sec (risque de désertification ; il y a 8.000 ans le Sahara était un endroit couvert d'une abondante végétation; des modifications de grande ampleur existent donc) et cela sans action anthropique.



- l'absence d'hiver : la vernalisation (exposition au froid pendant l'hiver) est indispensable à certaines plantes des moyennes latitudes pour pouvoir germer et se reproduire, et par ailleurs l'hiver est aussi fort utile à beaucoup de végétaux des mêmes latitudes pour se protéger des insectes ravageurs, tués par le froid, et qui prolifèrent sinon. Ce phénomène fait aussi que plantations difficiles autrefois sont maintenant intensivement entreprises (figure 9).

- un temps devenant trop riche en phénomènes extrêmes, qui détruisent physiquement les végétaux et dégradent le sol.

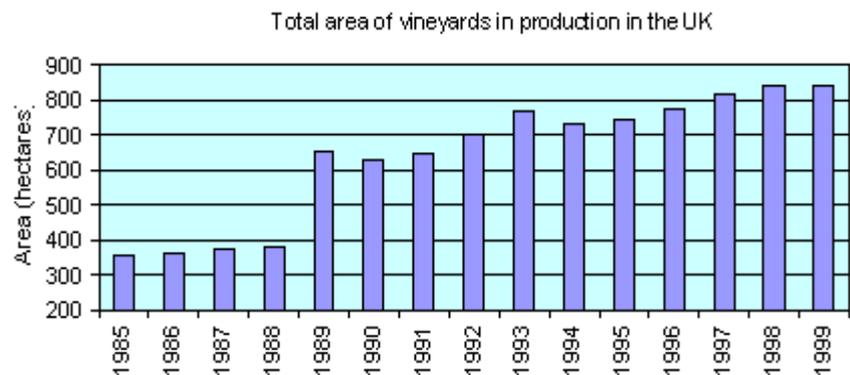


Figure 9 : augmentation du nombre d'hectare de vignes plantées (Royaume uni).

Elévation du niveau de la mer / Inondations

L'élévation du niveau de la mer peut être due à deux phénomènes: la fonte des glaciers et la dilatation des océans sous l'effet de la chaleur (l'eau chaude occupe un peu plus de volume que l'eau froide) Pour donner un ordre de grandeur, une fonte totale des glaces de terre ferait monter le niveau total des mers de 80 m (dont 70 dus seulement à la calotte antarctique). [Attention, personne n'imagine que ce soit une hypothèse crédible dans un avenir raisonnable. On pense même que le volume de la calotte glaciaire pourrait augmenter car il va y avoir plus de précipitations.]

Quant à l'effet de "dilatation des océans", c'est un phénomène pernicieux car il se produit sur des échelles de temps très longues: L'océan met plusieurs dizaines d'années à répercuter un changement de température à sa surface dans ses régions profondes. Par exemple, même si on arrêtait l'augmentation de la température aujourd'hui, l'océan continuerait à se dilater pendant encore plus de 30 ans... A l'heure actuelle, on estime que le niveau des mers pourrait s'élever d'environ 1m d'ici à l'horizon 2100. Pour les pays développés, cette échelle de temps n'est pas

catastrophique: elle laisse le temps de construire des digues. Mais pour les pays sous développés concernés, comme le Bangladesh, cela poserait d'énormes problèmes.

Changement des courants marins (Arrêt du gulf stream, catastrophe écologique)

Les courants marins sont des composantes essentielles du système Terre dans son ensemble, aussi bien du point de vue climatique que biologique: par exemple, certains scientifiques envisagent même l'arrêt du Gulf stream, ce qui rendrait les températures moyennes en Europe occidentale beaucoup moins clémentes!!!

Un changement des courants marins pourrait induire des changements biologiques: en effet, Les planctons, qui sont au bas de la chaîne alimentaire marine, sont nourris par les sels minéraux remontés des profondeurs par les courants verticaux. Ces courants sont très sensibles aux variations de température et de salinité de l'eau. Ils pourraient donc être modifiés d'une part par l'élévation de la température de surface, et d'autre part par les variations de salinités induites par la fonte massive des calottes glaciaires.

Si les courants venaient à s'affaiblir fortement, cela pourrait mettre en péril toute la chaîne alimentaire des milieux marins du large. C'est exactement ce qui se passe à l'échelle locale pour El Niño, période pendant laquelle des eaux habituellement poissonneuses au large du Pérou deviennent désertées par la faune, à cause d'une modification du courant thermoclin local.

Impact sur la santé humaine

Un changement climatique peut déplacer - et rendre plus favorables - les zones propices à la propagation des maladies à parasites transportés par les moustiques : un réchauffement - dans certaines limites - de la température favorise par exemple le développement rapide - et donc le potentiel épidémique - du paludisme, qui est déjà l'une des premières causes de mortalité de l'homme sur la planète. Mais les moustiques sont aussi les vecteurs d'autres maladies : dengue, fièvre jaune... dont les conséquences possibles sur des populations nouvellement concernées (donc n'ayant pas un bon système de défense) pourraient être très importantes.

Il est possible - les études démarrent tout juste - que l'augmentation de la température globale, en chauffant le vaste bouillon de culture que représente notre planète, favorise les mutations plus rapides des micro-organismes et, partant, augmentent la probabilité de voir apparaître des virus ou microbes pathogènes nouveaux.

Emballlement non-linéaire

Enfin, on ne peut pas exclure l'emballement du système via des effets catastrophiques. Par exemple on a découvert il n'y a pas très longtemps l'existence d'un nouveau stock de carbone fossile : l'hydrate de méthane. Il s'agit d'un composé qui ressemble à de la glace et qui se forme quand du méthane (composant principal du gaz naturel, et par ailleurs gaz à effet de serre) et de l'eau sont réunis à basse température et haute pression.

Sur Terre, il y a deux endroits où les conditions favorables à sa formation sont naturellement réunies :

- dans l'océan arctique, à grande profondeur (il fait froid et il y a des hautes pressions), à cause du méthane dégagé par les bactéries présentes sur place,

- sous le pergélisol, qui est le sol gelé en permanence des hautes latitudes (Nord de la Russie, du Canada), car on y trouve aussi des bactéries, des hautes pressions et du froid.

On soupçonne qu'il existe de grosses quantités de ce composé dans les profondeurs des hautes latitudes, voire des quantités considérables : l'United States Geological Survey (USGS) estime que l'hydrate de méthane pourrait représenter un stock de l'ordre de 2 fois le cumul de toutes les autres formes de combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz).

Or on se rappellera que le réchauffement sera plus prononcé au pôle Nord qu'ailleurs. Si, par suite de ce réchauffement, le pergélisol dégèle (ce qui est parfaitement possible), les conditions peuvent devenir instables pour l'hydrate de méthane (d'une part le "couvercle", à savoir le sol gelé, disparaît, et d'autre part il se met à faire trop chaud dans le sol pour que l'hydrate de méthane reste stable), et il pourrait se décomposer en libérant des quantités massives de méthane dans l'atmosphère.

Par les libérations massives de gaz à effet de serre que cette catastrophe produirait, on pourrait ainsi observer un emballement du système climatique, et nul ne sait quelles deviendraient les températures d'équilibre à la surface de la Terre dans un tel scénario...

Que pouvons nous faire ?

La Terre dans son ensemble est capable d'absorber une certaine quantité de carbone par an, via des "puits naturels".

Par l'océan via deux effets: dissolution du CO₂ dans l'eau, et d'autre part, fixation du carbone sur les animaux morts, qui sont ensuite entraînés vers le fond par les courants ou la sédimentation.

Par la biomasse terrestre, via le carbone qui se fixe sur la végétation. Mais attention, ceci ne crée un puits de carbone que pendant les périodes de croissance du couvert végétal : en régime de croisière les forêts absorbent à peu près (par photosynthèse) ce qu'elles rejettent (par décomposition du bois), exception faite du bois d'œuvre,

On a ainsi calculé que la capacité d'absorption du système était d'environ 3 milliards de tonnes de carbone par an. A l'heure actuelle, l'homme en rejette 6 milliards de façon directe, en brûlant les combustibles fossiles (charbon, pétrole) et 1 milliard via la déforestation.

Est-il envisageable de réduire notre émission au niveau de ce que la planète peut absorber ?

Si nous tablons sur 6 milliards d'habitants, la capacité de l'atmosphère nous laisse 0.5 tonnes par habitant et par an.

(Rappel: à l'heure actuelle, un français dépense 1.9 tonnes, et un américain 5.6 tonnes, alors qu'un habitant des pays sous développé est juste en dessous de cette limite, avec 0.4 tonnes.)

Que faire pour se limiter à 0,5 tonnes d'émissions de carbone par an ?

Éviter de voyager en avion, ou ne le faire que pour une période assez importante : un aller et retour Europe-États Unis libère 0,9 tonnes de carbone.

Ne plus prendre sa voiture, pour les trajets courts, surtout en ville ou il existe des transports en commun. 15 000 km annuels en déplacement urbain engendre 1,5 tonnes de carbone.

Ne plus surchauffer sa maison et s'assurer quelle possède une bonne isolation thermique. Chauffer une maison l'hiver coûte à peu près 1,25 tonnes de carbone, un peu moins avec le gaz naturel. Si on baisse la température moyenne de quelques degrés (en passant de 22 à 19 °C) on peut gagner 0,4 tonnes !

Préférer le poisson et les volailles à la viande de bœuf ? La production d'une tonne de blé engendre environ 110 kg d'équivalent carbone (provenant pour 25% des nitrates issu des engrais et pour 75% du dioxyde de carbone issu du carburant du tracteur).

La production d'une tonne de bœuf engendre jusqu'à 6 tonnes d'équivalent carbone (provenant pour partie du méthane engendré par la digestion et pour partie de l'énergie dépensée pour cultiver les céréales et fourrages pour le nourrir, sachant qu'en France l'essentiel de la culture céréalière sert à nourrir des animaux). Pour une tonne de viande de volaille, 0,5 à 1 tonne d'équivalent carbone.

Utiliser et générer moins de déchets (emballages, etc.) : fabriquer 1 kg d'acier ou 1 kg de verre engendre 500 g à 1 kg de carbone, 1 kg d'aluminium engendre 3 kg à 5 kg de carbone. Produire du plastique, du verre, du carton, de l'acier ou de l'aluminium (pour les canettes de boissons) etc. consomme beaucoup d'énergie : en France, 4/5 de l'énergie consommée par l'industrie le sont dans la production de matériaux de base (métaux, plastique, etc.). Tout ce qui permet de ne pas consommer d'emballage (éviter les produits frais emballés en barquettes plastique, les canettes jetables, etc.) induit une économie d'énergie.

Nous, européens, pouvons améliorer la quantité moyenne de carbone émise en informant les pays en voie de développement du problème de l'effet de serre, en montrant l'exemple de la nécessité de ne pas dépenser trop d'énergie, en conseillant de faire les bons choix énergétiques (centrales thermiques ou nucléaires, nouvelles technologies [solaire, géothermique, éoliennes]). Il y aura là des décisions politiques à prendre.

Ceci ne semble pas très réaliste, et pourtant, il faut absolument réussir à diminuer de moitié nos émissions totales, afin que les concentrations en dioxyde de carbone (et la température) se stabilisent. De plus, si on veut que cette stabilisation se produise à un niveau acceptable, il faut réagir sans tarder (plus on attend, plus le niveau atteint sera grand). Des négociations internationales sont en cours pour réaliser cet objectif (sommet de Rio, protocole de Kyoto). Pour l'instant, le but est très modeste: diminuer de 8 % l'émission en gaz carbonique en 8 ans, en espérant revenir au niveau des émissions de 1990. Avec la croissance, qui engendre une augmentation substantielle des émissions, on sait déjà que l'objectif ne sera pas atteint. De plus, les grands pays (développés!) traînent les pieds. On est encore très loin du but!

Clairement, il faudra une prise de conscience politique des problèmes, et une pression des citoyens pour faire bouger les choses. L'avenir qui s'offre devant nous n'est pas tout rose : chacun a compris que des sacrifices seront nécessaires. Il nous faudra accepter de voyager moins, de porter un pull dans la maison, de changer nos habitudes alimentaires, d'habiter plus près du lieu de travail, dans des appartements en ville plutôt qu'à la campagne...Mais c'est peut-être le prix à payer pour ne pas spolier les générations futures !