



Livret pédagogique

Ce qu'il faut savoir
sur l'effet de serre



Livret réalisé avec le concours du CPIE Vallée de l'Orne



édito

Depuis une douzaine d'années, le changement climatique a

donné lieu à une prise de conscience planétaire, qui se traduit par des engagements internationaux et des législations nationales pour lutter contre l'intensification de l'effet de serre et éviter les graves conséquences qu'elle peut entraîner sur notre environnement.

L'effet de serre, phénomène naturel, est une condition indispensable à la vie sur terre. Cependant, une trop forte concentration des gaz responsables de l'effet de serre provoque des déséquilibres inquiétants : l'élévation du niveau de la mer, une plus grande différenciation des saisons, l'accélération de l'avancée des déserts, le recul des glaciers et les bouleversements écologiques en sont aujourd'hui les symptômes les plus marquants.

Avec le protocole de Kyoto (1997), la France s'est engagée à maintenir ses émissions de gaz à effet de serre durant la période 2008-2012, à la même hauteur que ceux de 1990. La maîtrise des consommations énergétiques est ainsi une des préoccupations actuelles et c'est aujourd'hui l'effet de serre qui se place au premier rang des problématiques énergétiques.

Objectifs

Le SDEC Energie a travaillé avec le Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement Vallée de l'Orne, pour réaliser ce dossier sur le thème de l'effet de serre. En milieu scolaire, on retrouve les thématiques de l'effet de serre et de l'énergie à plusieurs niveaux de classes dans des disciplines variées (sciences physiques, technologie, sciences de la Vie et de la Terre). Intégrant des savoirs propres à plusieurs disciplines, l'éducation à l'énergie est avant tout transversale et s'ouvre toujours, en raison de l'importance de notre responsabilité individuelle, sur une éducation à la citoyenneté.

Cette démarche se trouve confortée par la circulaire visant à la généralisation d'une éducation à l'environnement pour un développement durable (Bulletin Officiel n°28 du 15 juillet 2004) concernant tous les niveaux de classe, du primaire à la fin du secondaire. Cette circulaire positionne l'éducation à l'environnement pour un développement durable comme une composante importante de la formation initiale des élèves, qui doit leur permettre d'acquérir des connaissances et des méthodes nécessaires pour se situer dans leur environnement et y agir de manière responsable.

Ce dossier doit ainsi permettre aux enseignants des classes de cycle 3 de primaire (CE2, CM1, CM2) et de 6^{ème} et 5^{ème} du collège :

> de travailler sur les pré-requis nécessaires à une visite optimale de la Maison de l'Energie.

Ainsi le document n'a pas été conçu dans un souci d'exhaustivité mais avec le souci de fournir les explications indispensables à la compréhension du phénomène de l'effet de serre, de ses causes et de ses impacts pour notre environnement et nos sociétés et de sa relation avec l'énergie.

Les données chiffrées, si leurs origines n'ont pas été systématiquement mentionnées, sont issues d'organismes scientifiques et institutionnels garantissant leur véracité (Mission Interministérielle de l'Effet de Serre, Agence De

l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique...).

Le document ne cherche pas à développer la part d'incertitudes qui pèse encore sur un certain nombre de mécanismes mais s'appuie sur ce qui aujourd'hui est communément admis par la communauté scientifique.

Aller plus loin est toujours possible. Un certain nombre de sites internet sont répertoriés en fin de document et permettent d'accéder à des informations complémentaires.

> d'identifier et de nourrir des pistes de réflexion pour prolonger la visite de la Maison de l'Energie.

Cette brochure présente des exemples de thèmes à aborder, des pistes d'activités, des ressources complémentaires (lieux, outils pédagogiques, structures...). Les principales structures pouvant fournir une aide aux enseignants sont citées en fin d'ouvrage : aide au montage de projet, prêt de matériel et d'outils pédagogiques, animations complémentaires à la visite de la Maison de l'Energie...

Qu'est-ce que l'effet de serre ?

1

1.1	L'ATMOSPHÈRE DE LA TERRE	7
1.2	LES DIFFÉRENTS TYPES DE RAYONNEMENTS	9
1.3	LE PHÉNOMÈNE DE L'EFFET DE SERRE NATUREL ET ADDITIONNEL	9
1.4	LES GAZ À EFFET DE SERRE (GES)	12
1.5	CARACTÉRISTIQUES DES PRINCIPAUX GAZ RESPONSABLES DE L'EFFET DE SERRE ADDITIONNEL	12

Les conséquences de l'augmentation de l'effet de serre

2

2.1	LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	17
2.2	LES CONSÉQUENCES DU DÉRÈGLEMENT CLIMATIQUE	18

Energies et effet de serre

3.1	LES ÉNERGIES DITES FOSSILES	23
3.2	LES ÉNERGIES RENOUVELABLES	24

La responsabilité de l'homme

4

4.1	L'HOMME EST-IL VRAIMENT RESPONSABLE ?	27
4.2	LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE EN FRANCE PAR SECTEUR	27
4.3	LA RESPONSABILITÉ DE L'HOMME AU QUOTIDIEN	28

Pour aller plus loin

5

5.1	CONSTRUIRE UN PROJET PÉDAGOGIQUE	31
5.2	PISTES D'ACTIVITÉS À FAIRE EN CLASSE	32
5.3	RESSOURCES UTILISABLES PAR LES ENSEIGNANTS	33

Sommaire

3

1

Qu'est-ce que l'effet de serre ? ”

1.1	L'ATMOSPHERE DE LA TERRE	7
1.2	LES DIFFERENTS TYPES DE RAYONNEMENTS	9
1.3	LE PHENOMENE DE L'EFFET DE SERRE NATUREL ET ADDITIONNEL	9
1.4	LES GAZ A EFFET DE SERRE (GES)	12
1.5	CARACTERISTIQUES DES PRINCIPAUX GAZ RESPONSABLES DE L'EFFET DE SERRE ADDITIONNEL	12

Pour comprendre l'effet de serre, il faut d'abord s'intéresser à notre atmosphère, à ce qui la compose et aux rayonnements qui touchent notre planète.

1.1 L'ATMOSPHÈRE DE LA TERRE

La planète était autrefois inhospitalière. Il y a un peu plus de 4 milliards d'années, la terre était bombardée de météorites, parsemée de volcans actifs et entourée d'une atmosphère chargée de dioxyde de carbone, d'azote et de nuages lourds à cause des émanations de volcans. Hors de l'eau, la vie était alors impossible.

Progressivement des changements se sont opérés à la surface de la Terre. Des organismes primitifs qui vivaient dans l'eau (les cyanobactéries) ont produit de l'oxygène par photosynthèse en quantité suffisante pour créer de nouvelles zones de vie sur les terres émergées. Ce n'est que depuis 2 milliards d'années environ que l'air possède la composition que nous lui connaissons aujourd'hui et qui est remarquablement constante à la surface du globe : azote (79%), oxygène (20%), argon et autres gaz en toute petite quantité (1%).

expérience

> Qu'est-ce qu'un gaz ?

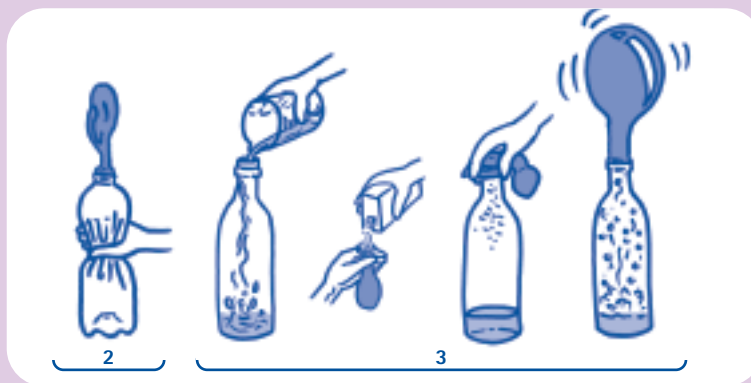
Un gaz est un ensemble d'atomes ou de molécules très faiblement liés. Un gaz n'a pas de forme propre et tend à occuper tout le volume disponible. On peut réaliser une expérience très simple pour mettre en évidence la notion de gaz.

Matériel :

- Ballon de baudruche
- Bouteille plastique
- Bicarbonate de soude
- Vinaigre

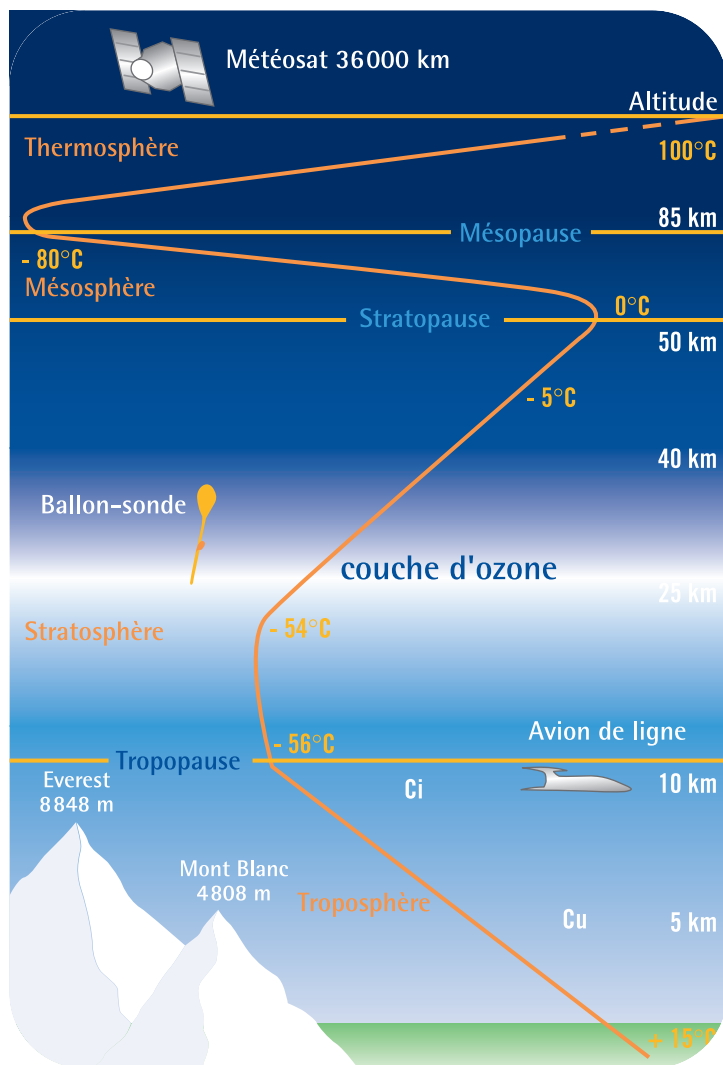
1/ Recouvrir le goulot de la bouteille en plastique par un ballon.

2/ Comprimer la bouteille, on observe que le ballon se gonfle. Cela s'explique par la présence d'un gaz invisible, l'air, qui est passé de la bouteille au ballon.



3/ On peut réaliser le même type d'expérience en mettant du vinaigre dans la bouteille et en remplissant le ballon de bicarbonate de soude. En fixant le ballon sur la bouteille, on fait tomber le bicarbonate dans le vinaigre. Il se produit alors une réaction qui produit du dioxyde de carbone. C'est ce gaz qui fait gonfler le ballon sans que l'on ait besoin de comprimer la bouteille.

Notre atmosphère ne présente pas pour autant un profil homogène. Elle est composée d'une succession de plusieurs couches.



- La couche atmosphérique la plus proche du sol terrestre est la **troposphère**. Elle concentre 75% des gaz dont les Gaz à Effet de Serre. Son épaisseur varie de 7 km de hauteur (au-dessus des pôles) à 18 km (au-dessus de l'équateur). C'est dans cette couche riche en vapeur d'eau et en nuages, qu'on retrouve la plus grande partie des phénomènes météorologiques. La température y décroît de façon régulière avec l'altitude.

- Ensuite vient la **stratosphère** (entre 13 et 50 km). On y trouve la couche d'ozone, essentielle à la vie sur Terre car elle absorbe la majorité des rayons solaires ultraviolets extrêmement nocifs pour tout être vivant. Cette absorption provoque un dégagement d'énergie sous forme de chaleur. C'est pourquoi la température augmente lorsqu'on s'élève dans la stratosphère. Elle contient 20% des gaz de l'atmosphère.

- Au-dessus se trouve la **mésosphère** (entre 50 et 80 km). Dans cette couche, la température recommence à décroître pour atteindre -80°C à une altitude d'environ 80 km. Les poussières et particules qui proviennent de l'espace (les météores) s'enflamment au contact de l'air

lorsqu'elles entrent dans la mésosphère. Ce phénomène nous apparaît sous la forme "d'étoiles filantes".

- La dernière couche est la **thermosphère** (entre 80 et 500 km). Dans cette couche, la température augmente avec l'altitude et peut atteindre 100°C. La thermosphère atteint des milliers de kilomètres d'altitude et disparaît progressivement dans l'espace. C'est dans cette zone que se forment les aurores boréales et australes. La pression y devient presque nulle et les molécules d'air sont très rares.

L'atmosphère sert de réservoir pour les substances naturelles mais aussi pour les émissions qui découlent de l'activité humaine : elle nous fournit l'air que nous respirons, ses gaz retiennent la chaleur dont bénéficie la Terre, et sa couche d'ozone protectrice nous sert d'écran contre le rayonnement solaire nocif.

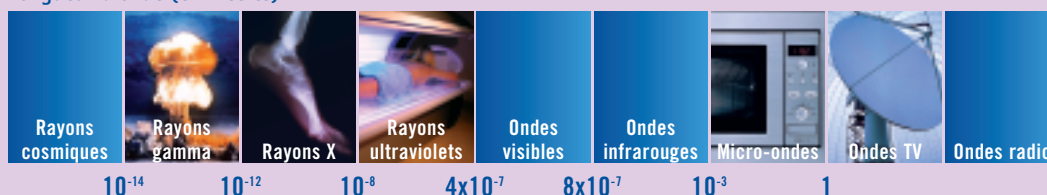
1.2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE RAYONNEMENTS

Quand on parle de rayonnement solaire, on pense à la lumière que l'on voit, mais c'est plus que cela. On distingue différents types de rayons :

- ceux qui appartiennent à la lumière visible qui nous apparaît blanche mais qui est en fait le mélange de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel ;
- ceux du domaine de la lumière invisible, que notre œil ne peut percevoir : les rayonnements infrarouges, ultraviolets...

> Les différents rayonnements du spectre lumineux

Longueur d'onde (en mètres) :



Le type de rayonnement émis par un corps est fonction de la température (tout corps dépassant le zéro absolu, soit $-273,15^{\circ}\text{C}$), émet un rayonnement. Sans passer en revue l'ensemble des rayonnements, on peut retenir que :

- Vers les -270°C , il n'émettra que des ondes radio : cas de certains objets dans l'espace.
- S'il est plus chaud, il émet aussi des infrarouges (notre corps par exemple émet des infrarouges qui permettent aux caméras à infrarouges de détecter notre présence). Les rayons infrarouges sont beaucoup utilisés dans notre vie quotidienne : télécommande de télévision...
- A partir de 700°C , il émettra aussi de la lumière visible, comme nous pouvons l'observer avec un morceau de métal chauffé "au rouge" ou avec un filament de métal d'une ampoule électrique, qui chauffé vers les 2700°C , émet de la lumière.
- S'il est encore plus chaud, il émettra aussi des ultraviolets, c'est le cas du soleil.

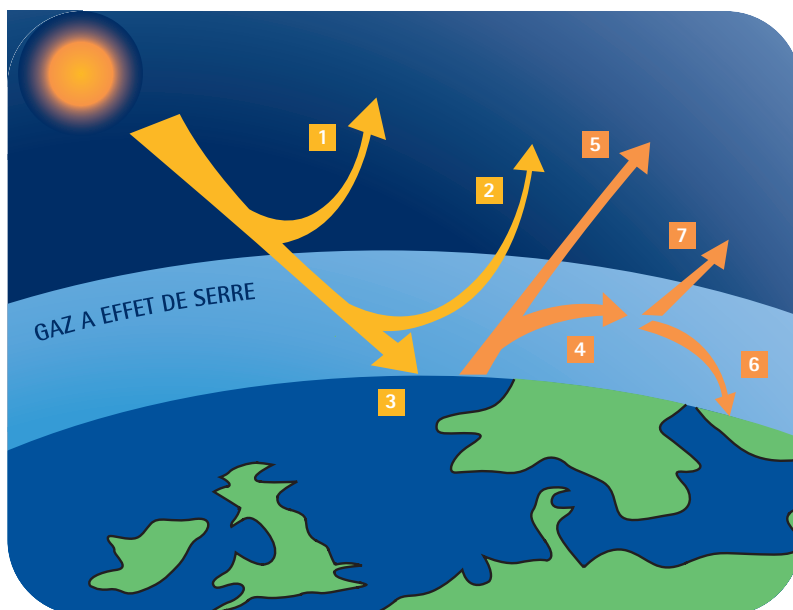
1.3 LE PHÉNOMÈNE DE L'EFFET DE SERRE NATUREL ET ADDITIONNEL

Lorsque les rayons du soleil atteignent la Terre, une partie est directement réfléchi (renvoyée vers l'espace), par l'air, les nuages (1) et la surface de la Terre (2) : **c'est l'albédo**. L'autre partie est absorbée par les différents composants de notre planète (3) et est convertie en chaleur.

La dissipation de l'énergie solaire absorbée par la Terre se fait par l'émission de **rayons infrarouges** (4). La présence en petite quantité de certains gaz, appelés gaz à effet de serre, que nous appellerons tout au long de ce présent document GES, dans la basse atmosphère permet de retenir une bonne moitié de ce rayonnement infrarouge qui, sinon repartirait totalement vers l'espace (5). Le rayonnement infrarouge absorbé par les GES va être renvoyé pour une part vers la surface de la Terre (6), tandis que l'autre part partira vers l'espace (7).

Légende

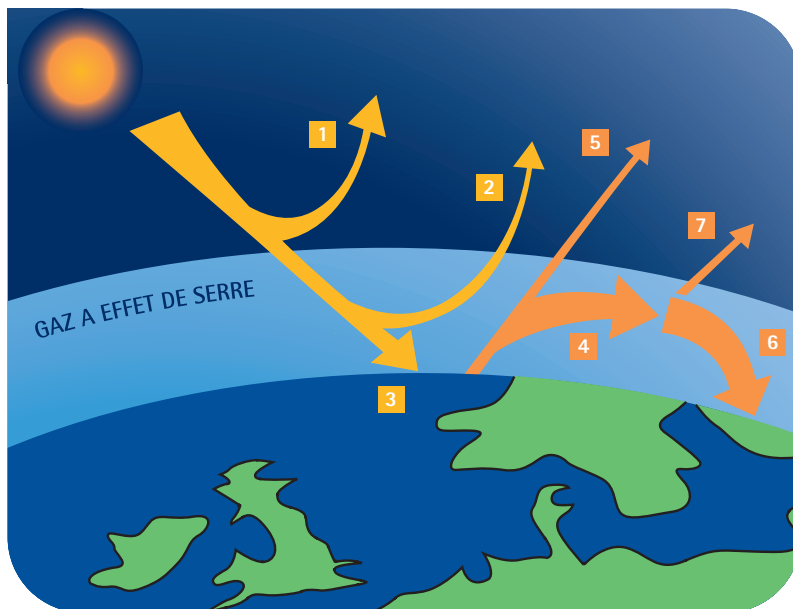
- 1** rayonnement solaire réfléchi par l'atmosphère vers l'espace
- 2** rayonnement solaire réfléchi par la surface de la Terre vers l'espace
- 3** rayonnement solaire absorbé par la surface de la Terre
- 4** rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre
- 5** rayonnement infrarouge émis vers l'espace
- 6** rayonnement infrarouge réémis vers la surface de la Terre
- 7** rayonnement infrarouge réémis vers l'espace



Grâce à cette interception de chaleur par les GES (**4**), la température moyenne de l'air à la surface de la terre est de 15°C. Ce phénomène appelé **effet de Serre** est donc **naturel** et nous permet de disposer d'une planète offrant des conditions de vie essentielles à notre existence. Sans ce thermostat naturel, si tout le rayonnement infrarouge émis par la terre repartait directement vers l'espace, la température serait alors de l'ordre de **-18°C**.

> L'effet de serre

Le terme d'effet de serre est utilisé en référence au phénomène observé dans les serres de jardinier. Le verre, transparent, laisse passer les rayons du soleil mais bloque une partie du rayonnement réémis par le sol. La capture de ces rayons est responsable de l'augmentation de la température. L'atmosphère de la Terre se comporte comme le verre.



Le problème qui se pose aujourd'hui est dû à l'accroissement du phénomène de l'effet de serre par la production de gaz supplémentaires issus de certaines activités humaines. L'augmentation de la concentration de ces gaz à effet de serre induit une absorption plus importante des rayonnements infrarouges émis par la Terre.

En conséquence, le rayonnement réémis vers l'espace est plus faible (**1**) et inversement, le rayonnement réémis vers la Terre est plus important (**2**), ce qui explique son réchauffement.

On parle ainsi d'**effet de serre additionnel** car il s'ajoute à l'**effet de serre naturel**. C'est cet effet de serre additionnel qui est responsable du dérèglement climatique. Bien que l'on assiste à une augmentation moyenne des températures, le terme dérèglement est préféré à celui de réchauffement dans la mesure où l'évolution du climat, loin d'être homogène, sera chaotique et jalonnée d'accidents climatiques.

> Qu'est-ce que l'effet de serre ?

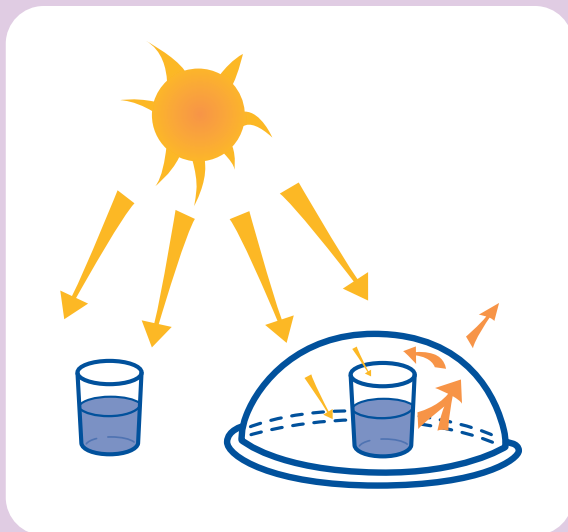
Le phénomène de l'effet de serre est facile à reproduire en classe, en faisant le montage suivant :

Matériel :

- gobelets
- eau
- saladier transparent
- thermomètre

- 1/ Prendre deux gobelets, les remplir d'eau et les poser au soleil.
- 2/ Sur l'un des deux gobelets poser un saladier en verre transparent.
- 3/ Au bout d'une heure, enlever le saladier et comparer à l'aide d'un thermomètre la température des deux gobelets.

Explications : L'eau du gobelet couvert par le saladier est la plus chaude. Le sol, le gobelet et l'eau renvoient la chaleur reçue par le rayonnement solaire. Le verre du saladier piège cette chaleur l'empêchant ainsi de se dissiper dans l'atmosphère. La chaleur reste donc sous le saladier et réchauffe l'eau. C'est ce que l'on appelle le phénomène de l'effet de serre.



> Couche d'ozone et effet de serre

Couche d'ozone et effet de serre sont souvent confondus. Bien qu'il existe des mécanismes liant les deux phénomènes, il faut distinguer le rôle de la couche d'ozone présente dans la stratosphère qui bloque les rayons ultraviolets du soleil, de la couche de gaz à effet de serre présente dans la troposphère (dans laquelle l'ozone est également présent). Le "trou" dans la couche d'ozone concerne l'ozone stratosphérique. Il a comme première conséquence de laisser passer les rayons ultraviolets néfastes pour la santé de l'homme.

> Albédo

L'albédo est la mesure de la capacité d'une surface à réfléchir la lumière. Il est défini par le rapport de la quantité de lumière réfléchie par un objet sur la quantité de lumière qu'il reçoit.

On l'exprime soit par un pourcentage, soit par un chiffre entre 0 et 1.

Un corps qui réfléchit la totalité de la lumière solaire a un albédo de 1 tandis qu'un corps qui l'absorbe à 100% a un albédo de 0.

L'albédo de la Lune qui réfléchit très peu la lumière du soleil est faible : 0,07. A l'inverse, la planète la plus brillante du système solaire, Vénus, a un albédo de 0,64.

La Terre a un albédo de 0,3 : elle réfléchit 30% de l'énergie solaire incidente reçue. 70% du rayonnement solaire est donc absorbé et transformé en chaleur. L'albédo de la Terre est l'un des éléments qui déterminent sa température de surface et son climat.

Cet albédo global est fonction de l'albédo des différents éléments qui composent sa surface et son atmosphère (nuages, déserts, glaciers, océans, forêts...).

L'albédo est donc un des paramètres qui influe sur l'amplitude de l'effet de serre. Ainsi le réchauffement de la planète fait fondre la calotte polaire, ce qui a pour effet de diminuer son albédo global et donc d'augmenter le réchauffement de la planète.

Eléments	Albédo
Forêt - océan	5 à 15%
Désert de sable	30%
Glacier	50%
Neige fraîche	80 à 98%

> GIEC

Le GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) est une organisation qui a été mise en place en 1988, par l'Organisation Météorologique Mondiale et par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

Le rôle du GIEC est "d'expertiser l'information scientifique, technique et socio-économique qui concerne le risque de changement climatique provoqué par l'homme".

1.4 LES GAZ À EFFET DE SERRE (GES)

L'effet de serre est provoqué par la présence dans l'atmosphère de gaz, dits à effet de serre, qui bloquent une partie du rayonnement infrarouge émis par la terre. Ces gaz peuvent avoir une origine naturelle (ils préexistaient à l'homme même si les activités humaines ont une influence sur leurs émissions) ou anthropique (leur présence dans l'atmosphère est liée à l'activité humaine).

Si plus d'une quarantaine de gaz à effet de serre a été recensée par le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Évolution du Climat, les principaux sont :

- la vapeur d'eau (H_2O),
- le dioxyde de carbone (CO_2)
- le méthane (CH_4)
- le protoxyde d'azote (N_2O)
- l'ozone (O_3)
- les composés halogénés du carbone (ou Halocarbures) : Hydrofluorocarbures (HFC), Perfluorocarbures (PFC), ainsi que l'Hexafluorure de soufre (SF_6).

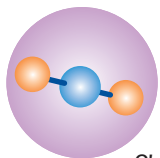
La vapeur d'eau, de par sa quantité (près de 75% des GES), est le gaz qui a le plus d'influence sur l'effet de serre. Les scientifiques considèrent cependant que sa part de responsabilité dans l'effet de serre additionnel est accessoire. L'action de l'homme, si elle peut perturber le cycle local de l'eau, ne modifie pas le cycle global et donc la teneur en eau de l'atmosphère.

Ceci n'est pas le cas des autres gaz à effet de serre. Stable pendant 8 000 ans, la teneur dans l'atmosphère des gaz à effet de serre s'est modifiée depuis l'avènement de l'ère industrielle avec l'utilisation sans cesse croissante de combustibles fossiles.

Ainsi depuis l'ère préindustrielle, la concentration du dioxyde de carbone a augmenté de 30% et celle du méthane de 150%. Ces hausses n'avaient jamais été observées auparavant. Par ailleurs, le GIEC estime que la contribution de facteurs naturels tels que le rayonnement solaire, les volcans... à la modification du climat a été faible depuis 1750.

1.5 CARACTÉRISTIQUES DES PRINCIPAUX GAZ RESPONSABLES DE L'EFFET DE SERRE ADDITIONNEL

Le protocole de Kyoto, par lequel la plupart des pays industrialisés se sont engagés à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre, concerne six gaz : le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), l'oxyde nitreux (N_2O), deux halocarbures (hydrofluorocarbure ou HFC et hydrocarbure perfluorés ou PFC) ainsi que l'hexafluorure de soufre ou SF_6 . La France s'est engagée à stabiliser ses émissions sur la période 2008-2012 au niveau de ceux de 1990.



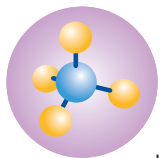
• Le dioxyde de carbone (gaz carbonique/CO₂)

C'est le principal gaz à effet de serre dû à l'activité humaine. C'est aussi le gaz de référence par rapport auquel sont mesurés tous les autres gaz à effet de serre, et qui a donc un potentiel de réchauffement global de 1 (PRG - voir encadré page 15).

C'est un gaz d'origine naturelle ou résultant de la combustion des combustibles fossiles et de la biomasse. Il est produit lorsque des composés carbonés sont brûlés et en présence d'oxygène.

Ses sources naturelles sont très nombreuses : éruptions volcaniques, respiration des plantes, des animaux et des hommes, incendies naturels de forêts, décomposition de la matière organique de plantes et d'animaux morts...

Les principales sources d'émission sont liées à la combustion d'énergie fossile (industrie, production énergétique, transports...) et à la déforestation. La consommation des ménages (cuisson, chauffage, électricité) contribue aussi significativement aux émissions de dioxyde de carbone.



• Le méthane (CH₄)

Le méthane est le constituant principal du gaz naturel, combustible d'origine fossile. Il est également libéré dans l'atmosphère quand la matière organique se décompose dans des environnements avec de faibles niveaux d'oxygène.

Il est majoritairement émis par l'élevage intensif des bovins (processus digestifs des ruminants), les déjections animales, les cultures (riz...), la fermentation des déchets organiques, les feux de forêts, l'utilisation du bois pour le chauffage et la cuisson, l'inondation de vallées lors de la mise en eau des barrages (avec la décomposition de la biomasse noyée) et lors du transport et de l'exploitation du gaz et du pétrole (fuites de grisou dans les mines de charbon, de gaz avec les gazoducs, torchères...).

• Les halocarbures

Les halocarbures sont des composés synthétiques qui contiennent des éléments appartenant à la famille des halogènes (brome, chlore et fluor) et du carbone issus en quasi-totalité des activités humaines.

Ils regroupent les substances appauvrissant la couche d'ozone, dont les chlorofluorocarbures (CFC), les hydrochlorofluorocarbures (HCFC), les bromofluorocarbures (aussi appelés halons), ainsi que les hydrofluorocarbures (HFC) et les perfluorocarbures (PFC).

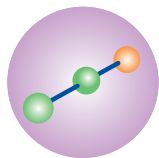
Cette famille de gaz est principalement utilisée comme :

- propulseur dans les bombes aérosols,
- liquide réfrigérant dans les systèmes de climatisation,
- agent de fabrication des mousses isolantes pour bâtiment.

Les halocarbures ont un pouvoir de réchauffement de 140 à 11 700 fois supérieur à celui du dioxyde de carbone et une très longue durée de vie. C'est pourquoi ils représentent un réel danger malgré leur modeste part dans les émissions totales de GES (16%).

Leurs émissions ne cessent d'augmenter en raison notamment de l'utilisation croissante de la climatisation. Ainsi la climatisation d'un véhicule de gamme moyenne est responsable d'une augmentation de 10 à 15% de ses rejets annuels de GES (source ADEME).

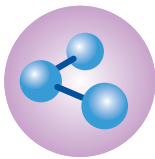
Ces substances sont très stables, ce qui leur permet de migrer vers la stratosphère où les conditions climatiques induisent des transformations chimiques complexes entraînant la destruction de l'ozone. Ainsi les halocarbures possèdent un double inconvénient : ce sont de puissants gaz à effet de serre et des destructeurs de la couche d'ozone.



• Le protoxyde d'azote ou oxyde nitreux (N₂O)

Le sol et les océans sont les principales sources naturelles de ce gaz, mais il est également produit par l'utilisation d'engrais azotés, la combustion de matière organique et de combustibles fossiles... En France, l'importance de l'agriculture contribue fortement aux émissions de N₂O par transformation des produits azotés (engrais, fumier, lisier). Il résulte également de procédés industriels chimiques et des aérosols notamment.

Le N₂O est un gaz incolore et ininflammable. Il intervient dans la destruction de l'ozone stratosphérique. Il est également appelé gaz hilarant.



• **Le cas de l'ozone**

Composé de trois atomes d'oxygène, l'ozone est un gaz dont 90% des molécules sont présentes dans la stratosphère et forment la couche d'ozone. Les 10% restant se situent dans la troposphère avec les autres gaz à effet de serre, ce qu'il est également. On distingue ainsi deux types d'ozone en fonction de l'altitude où il se trouve.

> **L'ozone de la stratosphère** où il forme la couche d'ozone. C'est celui que l'on qualifie de **"bon ozone"** car il absorbe les ultraviolets reçus du soleil. Cette propriété est vitale pour la vie sur terre. Les rayons UV sont responsables de l'apparition de tumeurs cancéreuses et réduisent la croissance de la végétation. Sans la couche d'ozone, la vie sur terre serait impossible.

Le trou dans la couche d'ozone est dû pour une large part aux halocarbures, vus précédemment et pour lesquels des mesures d'interdiction ont progressivement été prises. Ainsi en Europe, les CFC ne peuvent plus être mis sur le marché depuis le 1er octobre 2000 et doivent être impérativement récupérés et détruits depuis le 1er janvier 2002.

> **L'ozone troposphérique** est qualifié de **"mauvais ozone"**. L'ozone à cette altitude est non seulement un GES, mais il est aussi un oxydant puissant qui altère les muqueuses (oculaires et pulmonaires en particulier) et qui perturbe, dans certaines conditions, la fonction respiratoire. Il est donc néfaste pour la santé.

A la différence de l'ozone stratosphérique, formé à partir de molécules d'oxygène sous l'action du soleil, l'ozone troposphérique est produit par une réaction chimique entre le dioxyde d'azote (NO₂) et l'oxygène de l'air en présence de lumière. Ce dioxyde d'azote étant lui produit à partir du monoxyde d'azote (NO) rejeté par les automobiles. Ceci explique que les pics d'ozone se produisent quand un ensoleillement important se conjugue avec un trafic routier dense.

Pour résumer, il faut retenir que l'ozone stratosphérique est vital pour nous protéger des rayons ultraviolets du soleil, tandis que l'ozone troposphérique est à la fois un GES et un polluant responsable de problèmes de santé.

> **Part des différents gaz dans l'effet de serre additionnel (ou d'origine anthropique)**

Gaz	Part de responsabilité dans l'effet de serre additionnel	Durée de vie	PRG	Augmentation depuis 2 siècles
Dioxyde de Carbone CO ₂	60%	± 100 ans	1	30%
Méthane NH ₄	20%	12 ans	23	150%
Halocarbures (et SF ₆)	14%	> 100 ans (50 000 ans pour le SF ₆)	140 à 11 700 selon les gaz (23 900 ans pour le SF ₆)	N'existaient pas
Protoxyde d'azote N ₂ O	6%	120 ans	310	16%

Tableau de synthèse (source GIEC - 2001)

> Le Pouvoir de Réchauffement Global (PRG)

Les gaz n'ont pas tous le même comportement par rapport au rayonnement infrarouge. On dit qu'ils n'ont pas le même pouvoir de réchauffement global. Plutôt que de mesurer les émissions de chaque gaz, on utilise une unité commune : le pouvoir de réchauffement global (ou équivalent CO₂).

Le dioxyde de carbone sert de référence et a donc un PRG de 1.

Ainsi, lorsqu'on dit que le PRG à cent ans du méthane (CH₄) est de 23, cela signifie que l'émission dans l'atmosphère d'un kilogramme de méthane produira sensiblement le même effet de serre, au bout d'un siècle, que l'émission de 23 kilogrammes de dioxyde de carbone (CO₂).

On utilise également l'équivalent carbone qui, à la différence de l'équivalent CO₂, ne prend en compte que le carbone.

L'émission d'un kg de dioxyde de carbone (CO₂) vaut 0,2727 kg d'équivalent carbone. Pour les autres gaz, l'équivalent carbone est égal à son PRG multiplié par 0,2727.

Le saviez-vous ?

> Les puits de Carbone

Lorsqu'ils respirent, les êtres vivants rejettent du dioxyde de carbone. Celui-ci est ensuite absorbé par les plantes (c'est la photosynthèse) ou absorbé par l'eau. Il existe ainsi un cycle du carbone fondamental dans l'équilibre climatique de la planète en raison de la part occupée par le dioxyde de carbone dans l'effet de serre. L'eau des océans, les végétaux ou les sous-sols stockent ainsi une partie importante de ce dioxyde de carbone et sont considérés comme des "réservoirs" encore appelés "puits".

Les rapports des scientifiques présentent ainsi des quantités d'émissions qui incluent ou non ces puits de carbone.

Les forêts et les océans absorbent environ la moitié des émissions de carbone. Les océans constituent même un stockage durable pour ce carbone : tout excès de dioxyde de carbone qui se dissout en surface est entraîné par les courants marins vers les eaux profondes.

Les forêts quant à elles représentent des puits de carbone pendant les périodes de croissance du couvert végétal. En revanche, en régime de croisière, les forêts absorbent à peu près (par photosynthèse) la même quantité de dioxyde de carbone que ce qu'elles rejettent (par décomposition du bois), exception faite du bois transformé en bois d'œuvre.

Une incertitude pèse cependant sur l'évolution possible de ces réservoirs comme lieux de stockage. Ainsi un ralentissement ou un arrêt des courants marins (suite au réchauffement climatique) provoqueraient une augmentation du taux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère avec des conséquences qui relèvent du scénario catastrophe.



Le site de Jean-Marc JANCOVICI présente une explication plus détaillée de ce phénomène :

<http://www.manicore.com/documentation/serre/puits.html>

2

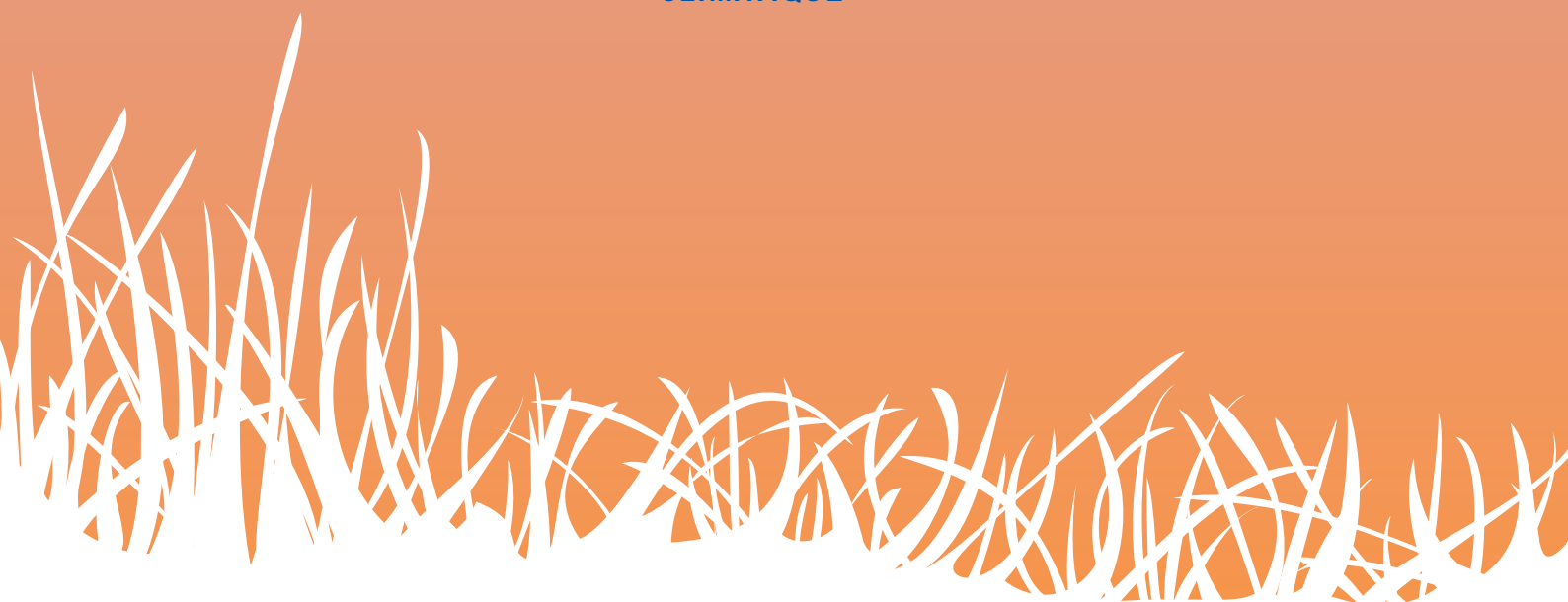
Les conséquences de l'augmentation de l'effet de serre ”

2.1 LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

17

2.2 LES CONSÉQUENCES DU DÉRÈGLEMENT CLIMATIQUE

18



2.1 LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

La hausse des températures moyennes à la surface du globe est la première conséquence des émissions massives de gaz à effet de serre. Même si ce réchauffement s'inscrit dans une évolution naturelle du climat, les activités humaines l'amplifient considérablement.

La température moyenne à la surface du globe a augmenté d'environ 0,6°C durant le XX^{ème} siècle, mais cette progression n'a pas été continue. Depuis 1976, la hausse s'est nettement accélérée, atteignant 0,18°C par décennie. La décennie 90 est ainsi la plus chaude qui ait été observée.

Le GIEC prévoit qu'en l'absence d'une réduction de grande ampleur des émissions de gaz à effet de serre découlant des activités humaines, l'augmentation moyenne de la température au sol sera de 1,4 à 5,8 °C d'ici à la fin du XXI^{ème} siècle.

Les relevés météorologiques confirment cette évolution.

L'année 2005 est la plus chaude jamais enregistrée depuis 1861, date de début des relevés météorologiques (Organisation météorologique mondiale), suivie de très près par 1998. L'année 2005 est également la plus coûteuse sur le plan des catastrophes naturelles météorologiques mondiales avec plus de 200 milliards de dollars de dégâts.

Aux pôles, les calottes glaciaires permanentes qui existent depuis des millions d'années sont victimes de changements spectaculaires. Les images obtenues par satellite de l'Agence Spatiale Européenne en août 2006 ont révélé que la mer de glace de l'Arctique est en train de fondre et de se briser. Pour la première fois, des ouvertures béantes dans la glace de mer permanente sont apparues. En 2005, la glace à la fin de l'été couvre moins de 5,5 millions de km², alors qu'elle couvrait environ 8 millions de km² au début des années 80. Ces changements sont largement imputés au réchauffement de la planète.

L'évolution climatique est difficile à appréhender et repose sur des simulations et des prévisions qui laissent une part d'incertitudes liées à des phénomènes non linéaires comme ceux de l'effet de seuil.

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

Notre système climatique comporte de tels phénomènes à effet de seuil, sans que l'on connaisse exactement les niveaux des seuils à partir desquels ils se produiront. C'est le cas 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.



Ouest France - juillet 2006
Libération - mai 2006



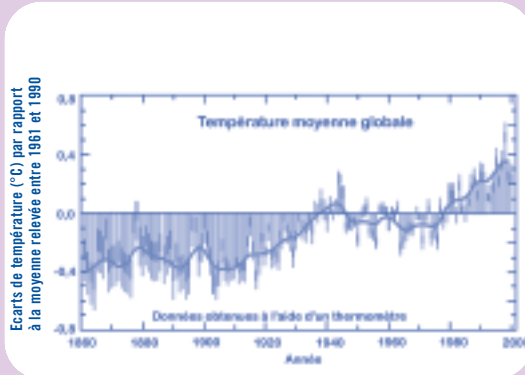
Le Monde - août 2006

> Variation rapide de température

Une variation de température de 5,8°C correspond à la durée qui sépare normalement une période glaciaire d'une période inter-glaciaire.

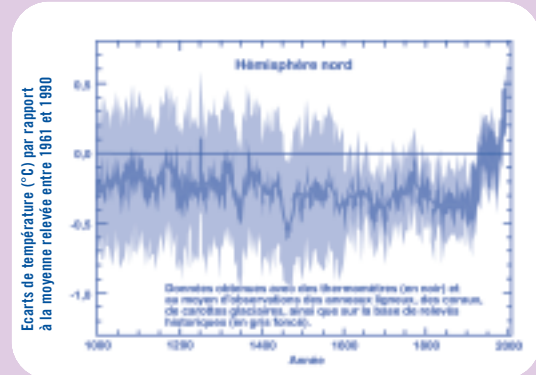
Dans la situation actuelle, cette variation aurait lieu en seulement 100 ans.

> Variations de la température à la surface de la terre au cours des 140 et 1000 dernières années



a) AU COURS DES 140 DERNIÈRES ANNÉES

La courbe de variation des températures depuis 1860, date des premiers relevés, montre une augmentation de la température moyenne globale de surface de $0,6^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,2^{\circ}\text{C}$).



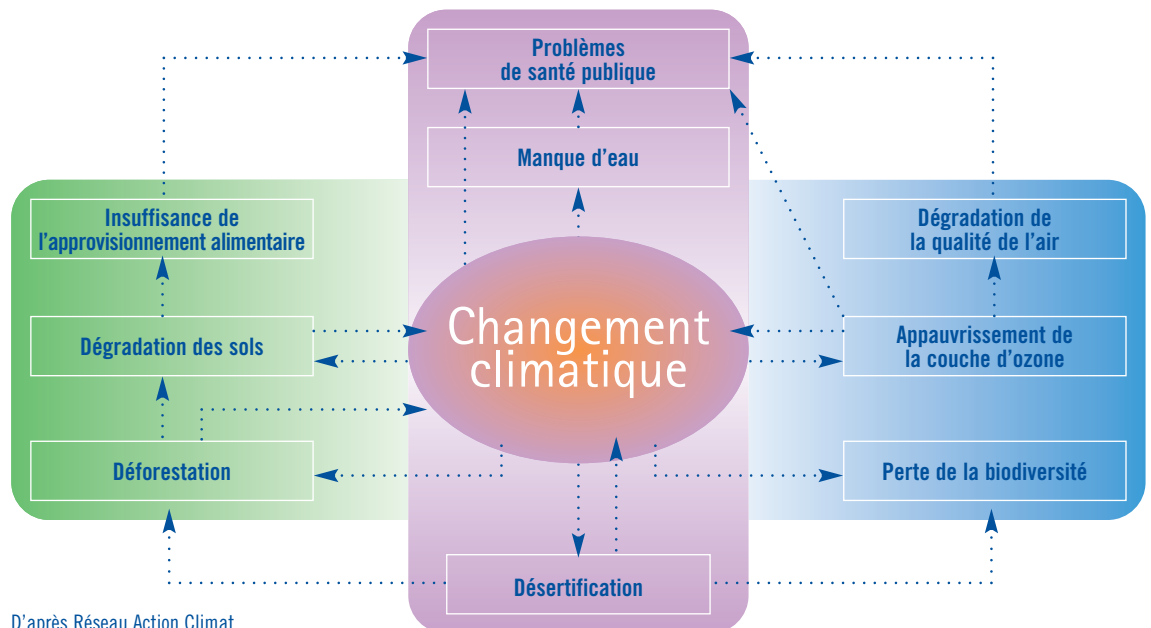
b) AU COURS DES 1000 DERNIÈRES ANNÉES

Si les incertitudes sont plus importantes sur les périodes passées (car reconstruites à partir de données indirectes), on note que la rapidité et la durée du réchauffement ont été beaucoup plus élevées au cours du XX^{e} siècle, qu'au cours de n'importe lequel des 9 siècles précédents.

(Tableau rapport GIEC - 2001)

2.2 LES CONSÉQUENCES DU DÉRÈGLEMENT CLIMATIQUE

Le schéma suivant montre les impacts environnementaux liés aux changements climatiques.



D'après Réseau Action Climat

• Le régime des précipitations

Le régime des pluies devrait être fortement modifié. On prévoit en France métropolitaine des risques de sécheresse en été dans le Sud ainsi que des pluies plus abondantes et des inondations en hiver dans le Nord. Ces modifications affecteront les ressources en eau.

Le GIEC estime qu'en 2080, les baisses significatives de ressources en eau affecteront jusqu'à 3 milliards de personnes de plus dans le monde.

• La santé

La canicule de l'été 2003 en France a posé la question de l'efficacité de la protection des personnes dans une situation qui, si elle est considérée aujourd'hui comme extrême, pourrait demain se révéler banale. Outre la multiplication des épisodes caniculaires, l'accroissement des maladies allergènes, respiratoires et circulatoires et la hausse des maladies propagées par les moustiques et autres insectes sont à envisager. Le paludisme pourrait toucher 300 millions de personnes de plus en 2080. Le virus "West-Nile", responsable d'une fièvre brutale, parfois aggravée de pathologies telles que des encéphalites, et pouvant être mortelle, est transporté d'Afrique en Europe par les oiseaux migrateurs (canards, flamants...) et transmis à l'homme ou aux animaux par les moustiques du genre Culex.

• La biodiversité

De très nombreuses espèces dans le monde pourraient disparaître d'ici le milieu du XXI^{ème} siècle. L'appauvrissement de la diversité animale et végétale ainsi que le déplacement d'espèces sont déjà des faits constatés. Cette perte de richesse réduit le potentiel des systèmes naturels à réagir aux impacts d'un changement climatique rapide. La mante religieuse a ainsi été observée dans le Finistère. Le front d'expansion de la chenille processionnaire dans le sud du Bassin Parisien s'est déplacé en moyenne de 87 km vers le Nord entre 1972 et 2004 en parallèle à une augmentation moyenne de la température hivernale de 1,1°C dans la même zone. La progression qui était relativement limitée entre 1972 et 1992 avec un rythme de 2,7 km/an, s'est notablement accélérée ensuite, avec un déplacement moyen de 5,5 km/an durant les 10 dernières années (source INRA - Zoologie Forestière Orléans).



Ouest France - avril 2006



Métro - mai 2006



Ouest France - août 2006



Le Figaro - juillet 2006



Ouest France - octobre 2006

• L'agriculture

L'accélération de la croissance de certains végétaux, la précocité de la floraison et de divers stades du cycle naturel chez la plupart des espèces, l'avancée du calendrier des pratiques culturales... sont déjà avérées. Les sécheresses estivales provoquent des baisses de rendement importantes. Selon la filière avicole, la canicule de l'été 2003 aurait décimé 3,3 milliers de volailles dans l'Ouest de la France.

• Les zones côtières et la mer

La fonte des glaciers et la dilatation des océans sous l'effet de la chaleur (l'eau chaude occupant plus de volume que l'eau froide) provoqueront une élévation du niveau de la mer. On estime que le niveau des mers a augmenté de 10 cm depuis 1890. Le niveau moyen des océans devrait augmenter de 9 à 88 cm au XXI^{ème} siècle.

De nombreuses régions côtières, sont déjà confrontées à des phénomènes de submersion, d'accélération de l'érosion, d'intrusion d'eau de mer dans les nappes d'eau douce, de tempêtes et de cyclones (pour les régions d'Outre-Mer) qui sont susceptibles de s'amplifier.

À l'ouest de Caen, le secteur occidental du cordon littoral entre Asnelles et Ver-sur-Mer pourrait, d'après une étude du Conservatoire du Littoral, reculer de 170 m d'ici 2100.

expérience

> Pourquoi le niveau de la mer monte avec le réchauffement du climat ?

Matériel

- de l'eau froide,
- de l'eau chaude,
- 1 bouteille en verre transparente,
- une paille,
- de la pâte à modeler,
- un saladier,
- un flacon de colorant alimentaire.

1/ Verser la moitié du flacon de colorant dans la bouteille puis la remplir presque jusqu'à ras bord avec de l'eau froide.

2/ Plonger la paille dans la bouteille et la fixer au goulot avec de la pâte à modeler. Il ne doit pas y avoir d'eau dans la partie de la paille qui dépasse de la bouteille. S'il y en a, recommencer en ôtant un tout petit peu d'eau.

3/ Verser de l'eau chaude dans le saladier et poser la bouteille au centre. Au bout de quelques minutes observer le niveau de l'eau dans la paille.

L'eau est montée dans la paille. L'eau chaude prend plus de place que l'eau froide. Au fur et à mesure que l'eau de la bouteille s'est réchauffée au contact de l'eau du saladier, elle a occupé plus de place, l'obligeant à monter dans la paille. Ce phénomène est appelé la dilatation de l'eau. Il se passe la même chose avec les océans. Réchauffés par le soleil, ils se dilatent et prennent plus de place.



20 Minutes - avril 2006

• Les zones de montagne

La réduction de la couverture neigeuse et la fonte des glaciers de montagne sont les signes les plus visibles du réchauffement climatique. Depuis 1958, la température a augmenté de 1 à 3 °C dans les Alpes françaises selon les massifs. Ce réchauffement est plus marqué que celui de l'ensemble du territoire français au cours du XX^{ème} siècle (de l'ordre de 1°C). Les impacts se poursuivront avec des effets de dégel, des modifications dans le débit des cours d'eau, des risques accrus de glissements de terrain, l'élévation de la limite des neiges éternelles. De nombreuses stations de sports d'hiver pourraient recourir à la neige artificielle. L'expansion de ces installations dans les prochaines années tend à renforcer l'inquiétude pesant sur les ressources en eau. Rien qu'au cours de l'été 2003, 10 % des glaciers alpins ont disparu (sources : Agence Européenne pour l'Environnement).

• La forêt

La forêt, qui joue un rôle bénéfique en absorbant dans sa croissance le dioxyde de carbone, est sensible aux événements extrêmes : tempêtes, sécheresses. D'autre part, l'accélération de la croissance des arbres, associée à l'augmentation de l'effet de serre, peut devenir incompatible avec les ressources en eau et la qualité des sols. Les épisodes de sécheresse renforcent les risques d'incendies de forêt. Dans le Finistère, les forestiers observent la progression du chêne-vert et le recul du hêtre.

• Des impacts qui pourraient se révéler plus importants que prévu

Bien que le prochain rapport du GIEC ne paraîtra qu'en 2007 (le dernier date de 2001), les études scientifiques récentes sont alarmantes. Le récent rapport réalisé sous l'égide de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques constate ainsi que ce sont les hypothèses les plus pessimistes qui sont les plus vraisemblables.



Libération - mai 2006



Le Monde - août 2006

Le méthane a un pouvoir d'effet de serre environ vingt fois supérieur à celui du gaz carbonique

3

Energies et effet de serre ”

3.1 LES ÉNERGIES DITES FOSSILES

23

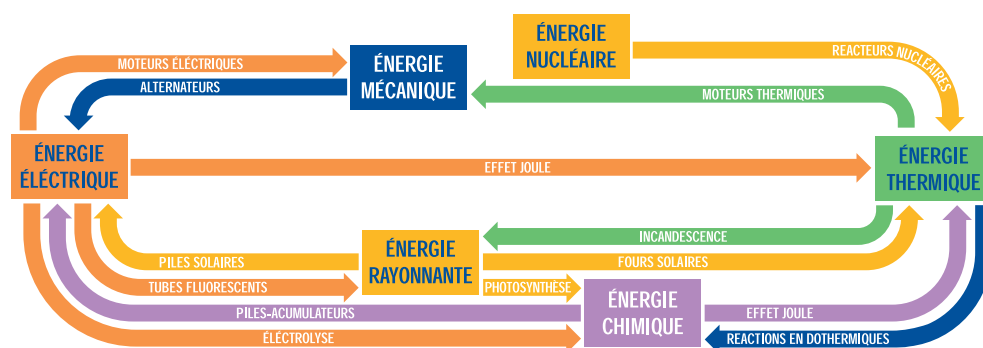
3.2 LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

24



Le recours à l'énergie est omniprésent dans nos modes de vie : à travers les transports, la consommation d'électricité, la consommation alimentaire... Cette consommation d'énergie est étroitement liée aux émissions de GES responsables de l'effet de serre additionnel.

Les sources d'énergie que l'on trouve dans la nature sont nombreuses (bois, charbon, pétrole, gaz, vent, rayonnement solaire...). A partir de ces sources, on peut produire différentes formes d'énergie (énergie mécanique, chimique, électrique....) qui peuvent se transformer de l'une en l'autre. Ainsi la chaleur dégagée par la combustion du charbon (ou de gaz, de pétrole...) dans une centrale thermique peut être transformée en énergie électrique qui fournira par exemple de la chaleur dans la maison.



Les sources d'énergie sont de deux types : les sources **d'énergies dites "fossiles"** (par définition non renouvelables et que l'on peut épuiser (même si en attendant des centaines de millions d'années on pourra à nouveau en disposer) et les sources **d'énergies renouvelables** (que l'on ne peut pas épuiser : par exemple le soleil, le vent, les marées).

3.1 LES ÉNERGIES DITES FOSSILES

Les énergies fossiles peuvent être classées en deux catégories : les hydrocarbures et les matériaux radioactifs. Ces ressources seront épuisées avant 300 ans. Elles fournissent 87% de l'énergie consommée dans le monde : pétrole (34%), gaz (21%), charbon (25%), uranium (7%) (source : Agence Internationale de l'Energie, 2004).

Les hydrocarbures sont issus de résidus d'êtres vivants accumulés dans le sous-sol au fil des ères géologiques. Ils sont principalement composés de carbone et d'hydrogène (d'où leur nom). On les trouve à l'état liquide (pétrole), solide (charbon, tourbe, houille) ou gazeux (gaz naturel). Leur combustion libère d'importantes quantités de dioxyde de carbone, principal gaz à effet de serre, ainsi que des fumées et d'autres gaz toxiques pour l'homme (oxyde d'azote, dioxyde de soufre...).

> Principaux hydrocarbures



• Le charbon

Il est issu de la décomposition anaérobie (sans air) de débris végétaux, pendant des centaines de millions d'années. La roche sédimentaire ainsi formée est constituée de carbone à hauteur de 60-90%. Il est encore utilisé directement dans des poêles pour chauffer les maisons ou dans les centrales pour produire de l'électricité.



• Le pétrole

C'est une roche liquide formée par la transformation de matières organiques mêlées à de la boue et du sable à l'abri de l'air sous l'effet de la chaleur. C'est un processus qui demande des dizaines de millions d'années. Ses dérivés utilisés comme sources d'énergie sont : le mazout, l'essence, le gasoil...



• Le gaz

Il résulte d'une prolongation du même processus qui produit le pétrole pendant des dizaines ou même des centaines de millions d'années mais se présente, comme son nom l'indique, sous forme gazeuse.

Il est inodore à l'origine, mais on y ajoute un produit pour en détecter les fuites.

Il est utilisé directement pour chauffer les habitations grâce à des chaudières et des radiateurs. Il sert également à faire fonctionner des turbines pour fabriquer de l'électricité.

A côté des hydrocarbures, le nucléaire fournit également une part prépondérante de l'énergie en France.

Il utilise l'énergie contenue dans le noyau des atomes de certains matériaux (uranium, plutonium...). Le procédé utilisé consiste à casser le noyau de certains atomes pour produire une importante quantité d'énergie principalement sous forme de chaleur, c'est la fission. Cette énergie est utilisée pour fabriquer de l'électricité.

Il est possible de produire de l'énergie en faisant se rencontrer des noyaux, c'est ce que l'on appelle la fusion nucléaire, mais ceci produirait une chaleur à laquelle aucun matériau ne résiste pour le moment.



3.2

LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Les sources renouvelables ne produisent que 13% de l'énergie consommée aujourd'hui dans le monde (*source : Agence Internationale de l'Energie, 2004*). En France, où le potentiel est important, ce taux n'a atteint que 12,7% en 2005 (*source Ministère de l'économie des finances et de l'industrie*).

A la différence des énergies précédentes, elles présentent deux avantages majeurs. Elles sont renouvelables et elles ne dégagent pas de gaz à effet de serre (à l'exception du bois, mais dont le bilan en dioxyde de carbone s'équilibre lorsqu'il est replanté).

En revanche si les énergies renouvelables peuvent contribuer efficacement à produire une partie de l'énergie dont nous avons besoin, certaines sont encore très éloignées de la compétitivité économique et d'autres ne peuvent pas être exploitées à grande échelle.

• L'énergie solaire

L'énergie solaire est à la base de la majorité des autres sources. On utilise l'énergie solaire de différentes manières :

- directement : comme dans le cas de fenêtres (double-vitrage côté sud et limitation de la surface des fenêtres dans les autres orientations), ou en convertissant directement la chaleur par l'intermédiaire de capteurs solaires thermiques qui vont chauffer de l'air ou de l'eau pour chauffer une habitation.
- indirectement : en transformant la lumière du soleil en électricité par l'intermédiaire de panneaux photovoltaïques. Il existe ainsi des centrales électriques solaires.

• L'énergie éolienne ou énergie du vent

Elle est le résultat des déplacements de l'air. Elle est utilisée depuis très longtemps pour faire avancer les bateaux ou encore faire tourner les moulins qui servaient à moulin le grain ou pomper l'eau. Elle est plus récemment utilisée dans la production d'énergie électrique.

La Basse-Normandie possède le deuxième potentiel éolien français, derrière la Bretagne.

• L'énergie géothermique

Elle est produite par l'exploitation de la chaleur qui se trouve à l'intérieur de la Terre. La chaleur pompée en profondeur sert, soit directement pour le chauffage de bâtiments, soit pour actionner des générateurs électriques. En France, les pompes à chaleur servent à la production d'eau chaude et au chauffage.

• L'énergie de la biomasse

C'est une forme d'énergie solaire captée par la végétation et exploitée sous forme de combustible.

- Le bois peut être incinéré de façon à produire de la vapeur qui sert à chauffer des habitations. On peut considérer le bois comme une énergie renouvelable, s'il est replanté après avoir été coupé.
- Le biogaz, issu de la fermentation de la matière organique provenant des déchets de l'agriculture, de l'industrie ou des ménages, est une source d'énergie en développement. La récupération du méthane, principal constituant du biogaz, permet une utilisation identique à celle du gaz naturel. Il est ainsi convertible sous pratiquement toutes les formes utiles d'énergie.

• L'énergie hydraulique

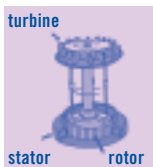
On peut produire de l'énergie grâce à l'eau de différentes manières :

- la force des rivières fait tourner des roues de moulin qui vont pouvoir effectuer un travail : moulin le blé par exemple.
- en retenant l'eau d'un fleuve de manière artificielle grâce à un barrage, celle-ci fera tourner une turbine qui produira de l'électricité,
- on peut récupérer l'énergie des marées (usine marémotrice de la Rance),
- il est même possible d'exploiter la force des vagues grâce à des appareils spéciaux qui transforment le balancement en rotation (expérience en Ecosse et en Norvège).



> L'électricité

L'électricité n'est pas une source d'énergie mais une forme d'énergie qui peut instantanément produire de la lumière, de la chaleur ou du mouvement. Elle peut être produite à partir de différentes sources telles que des sources non renouvelables et des sources renouvelables (le soleil, le vent, les marées...). En France, l'électricité est produite principalement à partir d'uranium (les centrales nucléaires produisent environ 80% de l'électricité en France) mais aussi de l'eau avec les centrales hydrauliques.



< Schéma d'un exemple de production d'électricité à partir d'une turbine

La rotation de la turbine fait tourner très vite un disque composé d'aimants (le rotor) autour d'un élément stable (le stator), qui crée un déplacement d'électrons et produit ainsi de l'électricité.

Quelques références bibliographiques sur ce thème :

- "L'électricité, une énergie à maîtriser" (encyclopédie pratique) : Hors-Série - Les Petits Débrouillards
- "L'électricité : Questions-Réponses" (livret) : Alain GREE - EDF
- "De l'électricité dans l'air" (livret) : Edition Caux Littoral - Grain de folie
- "Il court, il court, le courant..." (livret) : EDF-ASTRAPI
- "De l'énergie... à l'électricité" (malle pédagogique) : EDF
- "Une petite histoire de l'électricité, de l'antiquité à Volta" (livre) : Espace des Sciences, Rennes

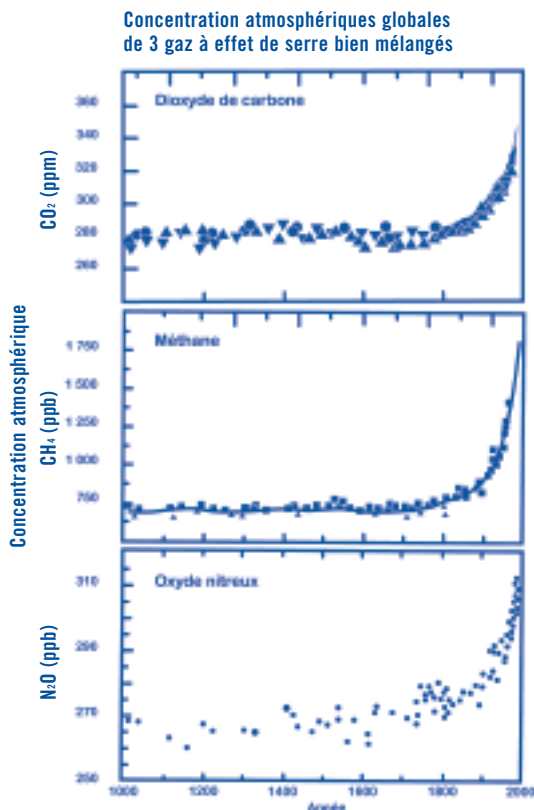
4

La responsabilité de l'homme ”

- 4.1 L'HOMME EST-IL VRAIMENT RESPONSABLE ? 27
- 4.2 LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE
EN FRANCE PAR SECTEUR 27
- 4.3 LA RESPONSABILITÉ DE L'HOMME
AU QUOTIDIEN 28

4.1 L'HOMME EST-IL VRAIMENT RESPONSABLE ?

On a vu précédemment quels étaient les gaz impliqués dans le phénomène d'effet de serre. Les courbes ci-contre représentent le rythme d'évolution et le niveau de concentration des principaux gaz à effet de serre depuis l'ère industrielle. Leur observation ne laisse pas de doute quant à la part de responsabilité de l'homme et de ses activités.



Légende

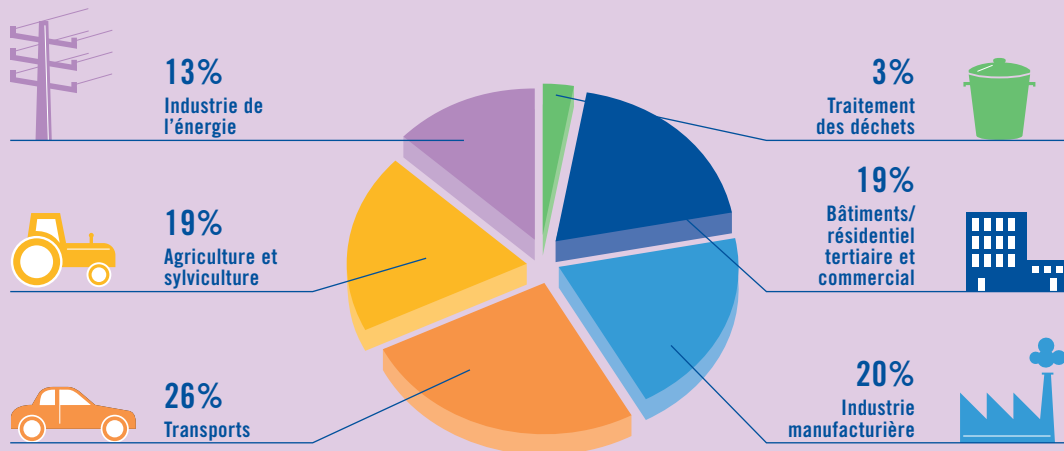
Les données obtenues (en utilisant les carottes de glace et les échantillons de névés complétés d'échantillons atmosphériques) sur plusieurs sites de l'Antarctique et du Groenland montrent une augmentation régulière des concentrations des gaz qui se renforce considérablement à partir de l'ère industrielle.

4.2 LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE EN FRANCE PAR SECTEUR

En France, le secteur des transports constitue toujours, avec 26%, la première source d'émissions de gaz à effet de serre malgré une relative stabilisation des émissions routières ces dernières années. Les autres secteurs se répartissent comme suit :

> Répartition des émissions de GES par secteurs d'activités en France

(chiffres 2004)



L'alerte des scientifiques du GIEC a engendré une réelle prise de conscience à l'échelle internationale. Depuis 1990, tous les secteurs en France ont réduit de manière significative leurs émissions de gaz à effet de serre, **à l'exception de deux d'entre eux**, très liés à notre vie quotidienne : le bâtiment (résidentiel tertiaire et habitat) et les transports. **Les transports affichent une hausse de 22,7%** de leur niveau d'émissions de dioxyde de carbone et **le bâtiment une hausse de 22,3%**.

A noter que la climatisation joue un rôle non négligeable dans ces deux augmentations. Les émissions des voitures particulières représentent 57% des émissions totales du transport routier, les véhicules utilitaires, 17%, et les poids lourds 26%.

La majeure partie de la réduction des émissions de GES, par rapport à 1990, provient du secteur industriel avec -21,6%, suivi de l'agriculture avec -10,5%, de la production énergétique avec -9,1%, et du traitement des déchets avec -8,5%.

> Les gaz émis par les différents secteurs : une prédominance du dioxyde de carbone

- Les transports émettent à 95% du dioxyde de carbone.
- Les activités manufacturières émettent du dioxyde de carbone (87%) et du protoxyde d'azote (8,5%).
- Les activités agricoles émettent du protoxyde d'azote (utilisation d'engrais) et du NH₃ (fermentation du bétail et déjections animales).
- Le secteur résidentiel/ tertiaire émet essentiellement du dioxyde de carbone (installations de chauffage, d'eau chaude et de climatisation).



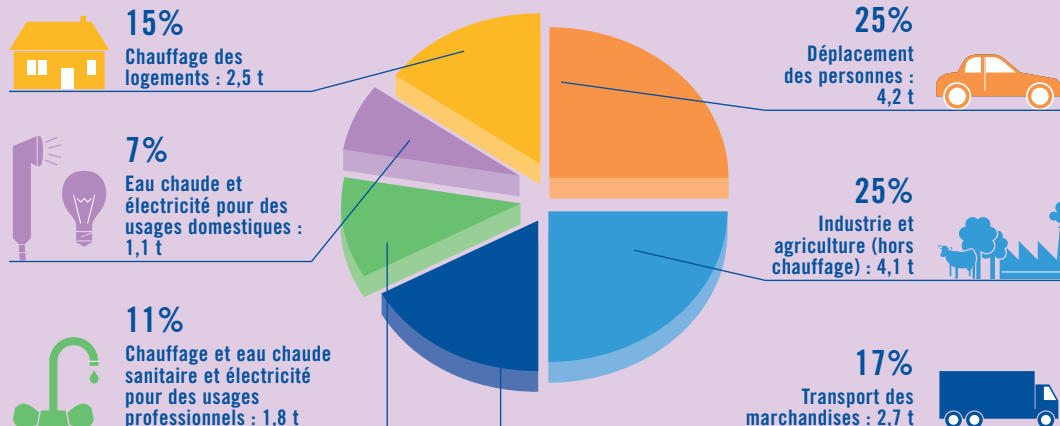
4.3

LA RESPONSABILITÉ DE L'HOMME AU QUOTIDIEN

Pour limiter notre émission de GES, deux axes sont à développer : recourir aux énergies propres et renouvelables que nous avons vues précédemment et mieux maîtriser notre consommation d'énergie. La moitié de l'énergie consommée en France et la moitié des émissions de gaz à effet de serre émis dans l'atmosphère dépendent de nos actes quotidiens. A l'heure actuelle, un ménage français consomme de l'ordre de 17 tonnes de dioxyde de carbone par an (ADEME), soit un équivalent carbone de 4,6 tonnes.

> Répartition des émissions de gaz carbonique par les ménages

(en tonnes/ménage/an)



> Que faire au quotidien pour limiter nos émissions de gaz à effet de serre ?

Avant d'avoir recours à des acquisitions ou des travaux importants (isolation de la maison, acquisition de matériel électroménager économe en énergie, choix de modes de chauffage comme l'installation de panneaux solaires...), nous pouvons déjà, par des gestes simples, réduire notre consommation énergétique.

• Dans nos déplacements quotidiens :

- **Eviter de prendre sa voiture pour les trajets courts**, surtout en ville où il existe des transports en commun : 15 000 km annuels en déplacement urbain engendrent l'émission d'1 tonne à 1,5 tonne de carbone, selon la puissance de la voiture. Préférez les transports en commun, et quand c'est possible la marche à pied ou le vélo. Pour les grands trajets, préférez le train à la voiture : un trajet Caen-Paris en voiture équivaut à 60 kg d'équivalent carbone rejeté dans l'atmosphère contre 1 kg par personne en train. Pour les trajets au quotidien, essayez le covoiturage, vous réduirez vos émissions de carbone et vos dépenses par le nombre de personnes transportées. Si vous prenez la voiture, adoptez une conduite souple et limitez la climatisation au strict minimum.

• Dans la maison :

- **Eviter de surchauffer** et s'assurer qu'elle possède une bonne isolation thermique (l'isolation des logements existants diminuerait notre consommation d'énergie de 10%). Chauffer une maison l'hiver correspond à peu près à l'émission de 1,25 tonne de carbone par an, un peu moins avec le gaz naturel. Si on baisse la température de 1°C, on économise 7% des consommations.
- **Eviter de laisser les appareils électriques en veille**. La veille d'un téléviseur peut consommer jusqu'à 70% de la consommation électrique totale de l'appareil !
- **Préférer les ampoules basse consommation**. Elles consomment 5 fois moins d'énergie que les ampoules classiques et durent 10 fois plus longtemps. Même si elles sont plus chères à l'achat, elles se révèlent plus économiques.
- **Eviter de consommer de l'eau chaude inutilement lors du brossage des dents ou de la vaisselle**.
- **Préférer la douche au bain, c'est utiliser 3 fois moins d'eau !**

• Dans le choix de notre alimentation :

- **Préférer les aliments frais et locaux** : ils demandent moins d'énergie que les conserves ou les produits congelés (moins de transports, d'emballages...). Le circuit de l'alimentation représente près du tiers des émissions françaises de GES. Ainsi, un fruit importé hors saison, consomme pour son transport 10 à 20 fois plus de pétrole que le même fruit produit localement et acheté en saison. Vous pouvez faire encore mieux en choisissant un produit issu de l'agriculture biologique n'utilisant aucun produit chimique de synthèse (engrais, pesticides, herbicides...).
- **Utiliser et générer moins de déchets (emballages...)** : Chaque français produit en moyenne 375 kg de déchets par an. Produire du plastique, du verre, du carton, de l'acier ou de l'aluminium (pour les canettes de boissons)... consomme beaucoup d'énergie. Tout ce qui permet de ne pas consommer d'emballage induit une économie d'énergie (éviter les produits frais emballés en barquettes plastiques, les canettes jetables...). 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.
- **Choisir des produits avec un écolabel** qui garantit un impact moindre sur l'environnement.

> L'empreinte écologique et le test CLIMACT

• L'EMPREINTE ÉCOLOGIQUE

C'est une mesure de la pression qu'exerce l'homme sur la nature. C'est un outil qui évalue la surface productive nécessaire à une population pour répondre à sa consommation de ressources et à ses besoins d'absorption de déchets.

A l'échelle d'une personne, l'empreinte écologique est une estimation de la superficie nécessaire pour répondre à l'ensemble de vos besoins en ressources naturelles.

Calculez votre empreinte sur le site : www.wwf.fr/s_informer/calculer_votre_empreinte_ecologique

• LE TEST CLIMACT

Développé dans le cadre de la campagne de l'ADEME "Faisons vite, ça chauffe", le petit test CLIMACT permet à chacun de prendre conscience des effets de son comportement sur le climat et de s'engager à le modifier.

Faites le test sur le site www.ademe.fr



Les écolabels

Ils garantissent un impact moindre sur l'environnement



5

Pour aller plus loin ”

- 5.1 **CONSTRUIRE UN PROJET PÉDAGOGIQUE** 31
- 5.2 **PISTES D'ACTIVITÉS À FAIRE EN CLASSE** 32
- 5.3 **RESSOURCES UTILISABLES PAR LES ENSEIGNANTS** 33

5.1 CONSTRUIRE UN PROJET PÉDAGOGIQUE

Aborder l'effet de serre, c'est s'inscrire dans une démarche scientifique au service de l'éducation à l'environnement, dont le déroulement peut s'inspirer du schéma suivant :

Faits et données

Qu'est-ce qu'une serre ? comment fonctionne t-elle ?

Quelles sont les solutions possibles ?

Raisons des activités humaines

Utilisation de ce que fournit la science

Mesurer, comparer, manipuler, expérimenter, se documenter, dessiner, observer, commenter
Comprendre et connaître le fonctionnement d'une serre - Recherche documentaire sur l'atmosphère...

Conclusion : plusieurs solutions envisageables

Ecocitoyenneté : limitation de la production des GES

Choix et décision

Action et communication autour de cette action

Source

D'après l'Atelier environnement, Université d'été - Les sciences à l'école, 2000.



Suite à la visite de la Maison de l'Energie, les pistes d'activités à faire en classe sont nombreuses et concernent différents thèmes :

- **L'énergie et l'habitat** : découvrir des techniques qui permettent de conserver l'énergie, tester différents matériaux d'isolation, expérimenter l'importance de l'orientation pour profiter des apports solaires...
- **Les énergies renouvelables** : fabriquer de l'électricité à partir de la force du vent et de l'eau, fabriquer un four ou un chauffe-eau solaire, obtenir du gaz à partir des déchets, visites de sites...
- On peut également aborder les thèmes **des déchets, de la gestion de l'eau, des transports...**

Références

De nombreuses références présentent des activités ou des expériences simples à faire en classe. En voici une sélection non exhaustive :

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Livrets :
 "L'expérience ôte le doute"
 <i>Energies Solaires Développement/2003</i>
 6 fascicules sur l'efficacité énergétique, l'habitat, l'électricité renouvelable, la concentration solaire, l'eau chaude solaire, le biogaz. • Livre :
 "Demain l'énergie. Eduquer à la maîtrise de l'énergie et aux énergies renouvelables"
 <i>Association Alisée</i> • Livret pédagogique :
 "Les énergies renouvelables"
 <i>ADEME - 2002</i> • Encyclopédie pratique :
 "Vivre de mille manières"
 <i>Les Petits Débrouillards</i>
 <i>Albin Michel Jeunesse - 1998</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Malle pédagogique :
 "1 degré de +"
 <i>Les Petits Débrouillards et l'ADEME</i>
 <i>Bioviva Editions - 2003</i> • DVD :
 "Attention planète fragile"
 <i>C'est pas sorcier</i>
 <i>France Télévisions - 2004</i> • DVD :
 "Déplacements : une affaire de choix"
 <i>ADEME - 2006</i> • Cd Rom :
 "Le Rallye de l'écomobile"
 <i>ADEME - 2004</i> |
|--|---|

5.3

RESSOURCES UTILISABLES PAR LES ENSEIGNANTS

> Sélection de sites internet

• www.ademe.fr

Le site de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie présente un dossier sur le changement climatique.

• www.cea.fr

Le site du Commissariat à l'Energie Atomique présente un dossier sur le climat et l'effet de serre.

• www.citepa.org

Le site du Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique. Nombreux rapports et données sur les émissions françaises.

• www.climatechange.gc.ca

Bien qu'indisponible au moment de la réalisation de ce document, les sites canadiens ont toujours soigné leur volet pédagogique.

• www.cnrs.fr

Le site du Centre National de la Recherche Scientifique. La page "climat" présente la recherche française sur le climat et offre des outils d'explication sur les problèmes climatiques ainsi que des images.

• www.ecologie.gouv.fr

Le site du ministère de l'écologie qui accueille l'observatoire national sur les effets du réchauffement climatique.

• www.edf.com

Le site d'Electricité de France présente des ressources pédagogiques ainsi que "L'atelier des Enseignants" avec des outils et des malles pédagogiques offerts aux établissements scolaires qui en font la demande.

• www.effet-de-serre.gouv.fr

Le site de la Mission Interministérielle de l'Effet de Serre chargée de coordonner l'action de la France. On y trouve de nombreuses informations.

• www.esa.fr

Le site de l'Agence Spatiale Européenne présente un dossier sur le réchauffement de la planète ainsi qu'un espace enfants (kids).

• www.ipcc.ch

Le site du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), qui rassemble les principales sources scientifiques sur l'effet de serre et l'évolution climatique.

• www.manicore.com

Le site de vulgarisation très complet de Jean-Marc JANCOVICI, Ingénieur Conseil spécialisé dans le changement climatique auteur de deux ouvrages :

- "L'avenir climatique : quel temps ferons-nous ?" aux Editions du Seuil, mars 2002
- "L'effet de serre, allons-nous changer le climat ?" avec Hervé Le Treut chez Flammarion, mars 2004.

• www.meteo.fr

Le site de Météo France qui donne accès à un certain nombre de dossiers et données sur le changement climatique.

• www.notre-planete.info

Site particulièrement bien documenté.

• www.rac-f.org

Le site de l'association Réseau Action Climat-France spécialisée sur le thème de l'effet de serre et du changement climatique : dossiers et outils pédagogiques.

• www.sdec-energie.fr

Le site du SDEC Energie présente des données sur l'énergie et les réseaux de distribution de l'électricité dans le Calvados ainsi que des informations concernant la Maison de l'Energie.

• www.wwf.fr

Le site du WWF présente différents sujets qui ont trait au développement durable et à la protection de la nature. Vous pouvez également sur ce site calculer votre empreinte écologique. Le WWF propose également un concours aux scolaires : "L'appel des enfants pour l'environnement".

> Sites à vocation pédagogique

- www.cite-sciences.fr
Le site de la Cité des Sciences donne accès à des informations ainsi qu'à des animations.
- www.curbain.be/fr
Le site du Centre Urbain et de l'Agence Bruxelloise de l'Energie propose un espace Education avec des brochures téléchargeables.
- www.cybersciences-junior.org
Les sites internet CyberSciences et CyberSciences Junior sont des émanations de Québec Science, magazine québécois consacré à la vulgarisation scientifique.
- www.eduscol.education.fr
Le site pédagogique du Ministère de l'Education Nationale
- www.fondation-nicolas-hulot.org
Le site de la Fondation Nicolas Hulot avec un espace "Planète Climat".
- www.lamap.fr
Pour favoriser l'enseignement des sciences à l'école primaire : activités à faire en classe, des documents scientifiques ou pédagogiques.
- www.reseau-idee.be
Le site du réseau belge des acteurs de l'Education à l'Environnement et au Développement Durable.



Structures ressources

Structure	Coordonnées	Descriptif
SDEC Energie Syndicat intercommunal d'énergies du Calvados	Esplanade Brillaud de Laujardière BP 7 5046 14077 CAEN Cedex 5 Tél 02 31 06 61 61 www.sdec-energie.fr maisonenergie@sdec-energie.fr	Le SDEC Energie est une collectivité locale qui dans le cadre de ses activités en matière d'énergie et d'environnement a mis en place un espace d'exposition "la Maison de l'Energie", et propose des animations à destination des scolaires. Il met également à disposition des enseignants un centre de ressources sur les thèmes des énergies, de l'électricité et plus généralement du développement durable.
ADEME Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie	Immeuble "le Pentacle" Avenue de Tsukuba – Citis 14209 Hérouville St Clair Tél 02 31 46 81 01 www.basse-normandie.ademe.fr huguette.bonne@ademe.fr Tél 02 31 46 81 04 (direct)	L'ADEME est une agence gouvernementale chargée de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, qui a pour mission notamment d'informer sur l'effet de serre et les changements climatiques. Elle a ouvert un centre régional de ressources pédagogiques sur le développement durable (répertoire téléchargeable en ligne). Les outils peuvent être mis à disposition gratuitement des enseignants.
Air COM Air Calvados Orne Manche	Immeuble "le Pentacle" Avenue de Tsukuba – Citis 14209 Hérouville St Clair Tél 02 31 53 10 11 www.air-com.asso.fr aircom@wanadoo.fr	Association agréée par le ministère de l'environnement, elle met à disposition des enseignants deux expositions différentes sur la qualité de l'air et l'atmosphère et peut intervenir en animation dans les classes sur ce thème.
CPIE Vallée de l'Orne Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement	Enceinte de l'Abbaye aux Hommes 14054 Caen cedex 4 Tél 02 31 30 43 27 accueil@cpienvdo.fr www.cpievdo.fr	Le CPIE est une association spécialisée dans l'éducation à l'environnement, agréée complémentaire de l'enseignement public. Elle gère un Centre de Ressources Pédagogiques et peut intervenir en animation dans les classes. Elle dispose d'un service éducatif pour le secondaire de la part du rectorat.
CPIE Vallée de l'Orne Centre de Ressources Environnement	37 rue Desmoueux 14000 CAEN Tél 02 31 50 10 59 cre@cpienvdo.fr	Plus de 6 000 références (livres, dossiers, matériels, malles, expositions...) pouvant être prêtées aux enseignants.
Association Les Petits Débrouillards Normandie	4, rue de Champagne 14000 Caen Tél 02 31 94 87 02 normandie@lespetitsdebrouillards.org	Association de diffusion de la culture scientifique et technique par une démarche expérimentale et ludique. Elle gère un Centre de ressources, des expositions et réalise des animations scientifiques. Elle dispose de l'agrément national d'éducation populaire.

La Maison de l'Energie est un projet réalisé en partenariat avec l'ADEME, le Conseil Général du Calvados et le Conseil Régional de Basse-Normandie.

Les enseignants qui souhaitent avoir des renseignements complémentaires sur les structures susceptibles de leur fournir un appui peuvent également contacter deux réseaux :

- Le Groupement Régional d'Animation et d'Initiation à la Nature et à l'Environnement (GRAINE) de Basse-Normandie
Tél/fax 02 31 95 30 64
grainebn@altern.org

- Relais'd Sciences
Tél 02 31 06 60 50
info@relaisdsciences.org

Vous pouvez également consulter le "Guide des structures et des outils pédagogiques d'éducation à l'environnement" en Basse-Normandie :
www.educenvir.org.

Avec la participation de : Sylvain Perriollat, ADEME

Rédaction et illustrations : Cécile Pourrat, SDEC Energie • Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement Vallée de l'Orne, avec la collaboration de Michaël Marion, service éducatif secondaire de l'Académie de Caen • Agence Bingo



Créé en 1938, le SDEC Energie, syndicat intercommunal d'énergies du Calvados, est un établissement public de coopération intercommunale, qui regroupe les 706 communes du Calvados et la commune de Guilberville dans la Manche. Il exerce une compétence fondatrice et fédératrice : l'organisation de la distribution publique d'électricité, et propose, à ses adhérents, des compétences à la carte (éclairage, signalisation tricolore, télécommunications, information géographique).

Le SDEC Energie apporte sa contribution à la diffusion de conseils pour la maîtrise des consommations d'énergies auprès des collectivités, des ménages et des usagers en difficulté. Depuis 2005, ces missions, ancrées dans le cœur de métier du syndicat, sont appuyées et illustrées par un outil à la vocation pédagogique : la Maison de l'Energie.

www.sdec-energie.fr



**Syndicat intercommunal d'énergies
et d'équipement du Calvados**

Esplanade Brillaud de la Laujardière
BP 7 5046 - 14077 CAEN CEDEX 5
Tél 02 31 06 61 61 - Fax 02 31 93 69 48
maisonenergie@sdec-energie.fr